

EXPLORAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REDUÇÃO ASSOCIADA A
FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA NA VULNERABILIDADE HÍDRICA NO
NORDESTE BRASILEIRO: O CASO DO PROGRAMA ÁGUA DOCE NO RIO
GRANDE DO NORTE.

Roberto Gomes Cavalcante Júnior

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Planejamento Energético,
COPPE, da Universidade Federal do Rio de
Janeiro, como parte dos requisitos necessários à
obtenção do título de Doutor em Planejamento
Energético.

Orientadores: Marcos Aurélio Vasconcelos Freitas
Neilton Fidelis da Silva

Rio de Janeiro

Março de 2021

EXPLORAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ASSOCIADA A FONTES
RENOVÁVEIS DE ENERGIA NA REDUÇÃO DA VULNERABILIDADE
HÍDRICA NO NORDESTE BRASILEIRO: O CASO DO PROGRAMA ÁGUA
DOCE NO RIO GRANDE DO NORTE.

Roberto Gomes Cavalcante Júnior

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Orientadores: Marcos Aurélio Vasconcelos Freitas

Neilton Fidelis da Silva

Aprovada por: Prof. Marcos Aurélio Vasconcelos Freitas

Prof. Neilton Fidelis da Silva

Prof. David Alves Castelo Branco

Prof. Valdenildo Pedro da Silva

Dr. Luciano Basto Oliveira

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2021

Cavalcante Júnior, Roberto Gomes

Exploração de águas subterrâneas associada a fontes renováveis de energia na redução da vulnerabilidade hídrica no Nordeste brasileiro: o caso do Programa Água Doce no Rio Grande do Norte / Roberto Gomes Cavalcante Júnior. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2021.

XIV, 161 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Marcos Aurélio Vasconcelos Freitas

Neilton Fidelis da Silva

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2021.

Referências Bibliográficas: p. 148-161.

1. Semiárido. 2. Vulnerabilidade hídrica. 3. Águas subterrâneas. 4. Dessalinização. 5. Energia solar
I. Freitas, Marcos Aurélio Vasconcelos *et al.*
II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

*Ao meu pai e à minha mãe,
primeiros incentivadores dos meus estudos.*

*À minha querida esposa,
sempre parceira.*

*À minha filha,
meu amor.*

AGRADECIMENTOS

Aproveito esse espaço para, sem formalidades acadêmicas, exercer a gratidão e agradecer a todos que contribuíram na minha jornada, apoios e incentivos foram essenciais na caminhada.

Agradeço àqueles que direta ou indiretamente contribuíram com fornecimento de dados, com suas opiniões, críticas e sugestões que certamente foram consideradas na elaboração deste trabalho.

Aos professores Marcos Freitas e Neilton Fidelis, pela orientação do trabalho e dedicação em todo o caminho do doutorado.

Aos meus colegas de doutorado pelo companheirismo ao longo dessa nossa trajetória, em especial à amiga Maria Luiza.

Ao coordenador do DINTER, professor Renato Samuel, pelo apoio e incentivo durante todas as fases do doutorado.

Aos Professores do Programa de Planejamento Energético, em particular, cito os Professores Pinguelli e Marcos Freitas, pela contribuição para a realização do DINTER. Agradeço à SEMARH-RN e à equipe do Programa Água Doce no Rio Grande do Norte pelas informações repassadas sobre o programa no Estado.

Agradeço aos moradores das comunidades rurais Maria da Paz e Caatinga Grande pela atenção e disponibilização dos dados sobre os sistemas de dessalinização.

Lembro-me de meus colegas de profissão e colegas de sala e lhes agradeço pelo incentivo e apoio para a continuidade da pesquisa.

Um agradecimento especial ao Professor Neilton Fidelis, por sua dedicação, disponibilidade e envolvimento no desenvolvimento deste trabalho.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

EXPLORAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ASSOCIADA A FONTES
RENOVÁVEIS DE ENERGIA NA REDUÇÃO DA VULNERABILIDADE HÍDRICA
NO NORDESTE BRASILEIRO: O CASO DO PROGRAMA ÁGUA DOCE NO RIO
GRANDE DO NORTE.

Roberto Gomes Cavalcante Júnior

Março/2021

Orientadores: Marcos Aurélio Vasconcelos Freitas

Neilton Fidelis da Silva

Programa: Planejamento Energético

A Região Nordeste tem cerca de 65% do seu território em área semiárida, onde se registra déficit hídrico. Essa condição dificulta o atendimento da demanda por água, pressionando a gestão pública a buscar alternativas que reduzam a vulnerabilidade hídrica relatada. Nesse contexto, ganham importância o aproveitamento das águas subterrâneas presentes no semiárido, estimadas em 250 milhões m³. O estudo está centrado no emprego de processo de dessalinização, baseada na técnica Osmose Inversa de águas subterrâneas associado ao uso da energia solar fotovoltaica na redução da vulnerabilidade hídrica do semiárido norte-rio-grandense. Ganham atenção o exame da correta destinação e o aproveitamento do resíduo gerado dessa exploração. Em seus resultados, a pesquisa mostra ser significativo o potencial para o emprego da energia solar fotovoltaica e apresenta o dimensionamento da potência total dos Sistemas Solares Fotovoltaicos necessário ao suprimento da demanda de energia elétrica dos Sistemas de Dessalinização, empregados em 68 comunidades beneficiadas pelo Programa Água Doce. Comparado a outras estratégias de fornecimento de água, a exemplo do caminhão com tanque, a alternativa avaliada apresenta melhor adaptação às condições naturais locais.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science degree (D.Sc.)

UNDERGROUND WATER EXPLORATION ASSOCIATED WITH
RENEWABLE ENERGY SOURCES IN REDUCING WATER VULNERABILITY IN
NORTHEAST BRAZIL: THE CASE OF THE FRESH WATER PROGRAM IN RIO
GRANDE DO NORTE.

Roberto Gomes Cavalcante Júnior

March/2021

Advisors: Marcos Aurélio Vasconcelos Freitas

Neilton Fidelis da Silva

Department: Energy Planning

The Northeast Region has about 65% of its territory in a semi-arid area, where there is a water deficit. This condition creates obstacles to meeting the demand for water in the region, putting pressure on public management to seek alternatives that reduce the reported water vulnerability. In this context, groundwater found in a vast area of the semiarid, estimate at 250 million m³, is gaining importance. The study is centered on the use of a desalination process, based on the Reverse Osmosis technique of groundwater associated with photovoltaic solar energy to reduce the water vulnerability of the semi-arid region of Rio Grande do Norte. Attention is paid to examining of the correct destination and use of the waste generated from this exploration. In its results, the research shows that the potential for the use of solar photovoltaic energy in desalination systems is significant and presents the dimensioning of the total power of the Photovoltaic Solar Systems necessary to supply the electric energy demand of the Desalination Systems, employed in 68 communities benefited by the Fresh Water Program. Compared to other water supply strategies, such as a tank truck, the evaluated alternative is better adapted to local natural conditions.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE TABELAS.....	XII
LISTA DE SIGLAS.....	XIII
INTRODUÇÃO GERAL	15
SEÇÃO 2 - PERCURSO METODOLÓGICO	23
SEÇÃO 3 - RECURSOS HÍDRICOS NO NORDESTE: ESCASSEZ E ABUNDÂNCIA.....	30
3.1. INTRODUÇÃO.....	30
3.2. CLIMA SEMIÁRIDO E O NORDESTE BRASILEIRO	32
3.2.1. <i>A Região do Semiárido Brasileiro</i>	37
3.2.2. <i>O Nordeste Brasileiro</i>	41
3.3. VULNERABILIDADE NO NORDESTE BRASILEIRO – A SECA E SUA BASE ESTRUTURAL	45
3.4. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	56
3.5. ATRATIVO ENERGÉTICO LOCAL.....	59
SEÇÃO 4 - GOVERNANÇA DOS RECURSOS HÍDRICOS NO RIO GRANDE DO NORTE.....	64
4.1. INTRODUÇÃO.....	64
4.2. GESTÃO DAS ÁGUAS NO BRASIL	64
4.3. O RIO GRANDE DO NORTE E A SUA ESTRUTURA DE GESTÃO DAS ÁGUAS.....	69
4.4. CONDICIONANTES DE DEMANDA E OFERTA HÍDRICA NO RIO GRANDE DO NORTE.	76
4.4.1. <i>Políticas Públicas e Projetos para Garantia da Segurança Hídrica.</i>	82
4.4.1.1. Transporte de Água através de Caminhões com Tanque	83
4.4.1.2. Transposição de águas entre bacias hidrográficas.....	84
4.4.1.3. Uso de Tecnologias Sociais como Cisternas e Sistemas de Dessalinização....	84
4.5. PROGRAMA ÁGUA DOCE (PAD) NO RIO GRANDE DO NORTE.....	86
4.5.1. <i>Índice de Condição de Acesso à Água para seleção de Localidades e Mobilização Social</i>	87
4.5.2. <i>Destinação do Resíduo Oriundo do Sistema de Dessalinização</i>	96
4.5.3. <i>O Uso da Energia Solar na Promoção do Acesso à Água.</i>	100
4.5.4. <i>Avaliação de Custos</i>	104
SEÇÃO 5 - TECNOLOGIAS DE DESSALINIZAÇÃO E FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL.....	108
5.1. TÉCNICAS DE DESSALINIZAÇÃO	109
5.1.1. <i>Principais processos térmicos de dessalinização</i>	111
5.1.2. <i>Principais processos de dessalinização baseados em membranas</i>	113
5.2. USO DE FONTES RENOVÁVEIS NO SUPRIMENTO DA DEMANDA ELÉTRICA NO SISTEMA DESSALINIZAÇÃO	117
5.2.1. <i>Uso da Fonte Solar em Plantas de Dessalinização por Osmose Inversa</i>	120
5.3. DESTINAÇÃO DO RESÍDUO DO PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO	123

5.3.1. <i>A água salobra na Região Semiárida e Suas Possibilidades de Usos</i>	125
SEÇÃO 6 - APROVEITAMENTO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REDUÇÃO DA VULNERABILIDADE HÍDRICA NO RIO GRANDE DO NORTE	128
6.1. POTENCIAL SOLAR FOTOVOLTAICO DO RIO GRANDE DO NORTE...	128
6.2. DEMANDAS DO PROGRAMA ÁGUA DOCE	130
6.2.1. <i>Demanda Hídrica</i>	131
6.2.2. <i>Demanda de Eletricidade</i>	133
6.3. ESTIMATIVA DA POTÊNCIA INSTALADA DOS SISTEMAS SOLAR FOTOVOLTAICO.....	135
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	144
REFERÊNCIAS	148

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Regiões semiáridas no mundo, conforme classificação climática Köppen-Geiger	33
Figura 2 – PIB Per capita de 2017 de países com área semiárida em parte do seu território.	38
Figura 3 – Distribuição do PIB per capita em 2017 dos municípios brasileiros em oito faixas de valores.	40
Figura 4 - Evolução do PIB per capita em US \$ ¹ do Brasil e da Região Nordeste entre 2006 e 2018.	44
Figura 5 - Incidência do grau de severidade da seca no Nordeste brasileiro entre julho de 2014 e maio de 2020.....	48
Figura 6- Reservatório Equivalente do Nordeste ¹ entre 2011 e 2020.	50
Figura 7 - Mapa da irradiação solar direta no Brasil, com destaque para a Região do Semiárido Brasileiro.	62
Figura 8 – Divisão Hidrográfica Nacional por Unidades da Federação.....	67
Figura 9 - Zonas climáticas do Rio Grande do Norte.....	78
Figura 10 - Área de suscetibilidade à seca no Rio Grande do Norte.....	79
Figura 11 - Infraestrutura hídrica de açudes, adutoras e bacias hidrográficas no Rio Grande do Norte.	81
Figura 12 - Reservatório Equivalente do Estado do Rio Grande do Norte entre 2012 e 2017.	82
Figura 13 - Composição do Índice de Condição de Acesso à Água adotado pelo Programa Água Doce.	88
Figura 14 – PIB per capita 2017 em US \$ dos municípios do Rio Grande do Norte....	92
Figura 15 – Etapas para a implantação de sistema produtivo para integração aos sistemas de dessalinização proposto no âmbito do Programa Água Doce.	98
Figura 16 - Projeto piloto com arranjo fotovoltaico associado ao sistema de dessalinização implementado pelo Programa Água Doce na comunidade Maria da Paz.	103
Figura 17- Capacidade global instalada de plantas de dessalinização por fonte de água de alimentação em 2012.	109
Figura 18 - Principais processos de dessalinização, divididos em processos térmicos e processos de membranas.	110

Figura 19 - Participação na capacidade de dessalinização das principais técnicas de produção.	111
Figura 20 - Resumo da técnica Osmose Inversa de um estágio.	114
Figura 21 - Sistema de dessalinização de águas subterrâneas salobras ou salinas com destinação ambientalmente indicada das águas residuais do processo.....	124
Figura 22 - Espécies vegetais com potencial para a agricultura bioessalina.....	126
Figura 23 – Irradiação Solar Direta Normal e localização das comunidades com sistemas de dessalinização em operação no Rio Grande do Norte.	129
Figura 25 - Potência instalada e a irradiação solar direta normal local nas comunidades beneficiadas pelo Programa Água Doce no Rio Grande do Norte.....	139
Figura 26 - Relação entre a potência instalada (KWp) estimada para atender ao sistema de dessalinização e a irradiação solar direta normal (em KWh.m ²), nas comunidades beneficiadas pelo Programa Água Doce no Rio Grande do Norte.....	140

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Percentual dos municípios com desenvolvimento humano baixo entre 1991 e 2010, divididos por regiões do Brasil.	43
Tabela 2. Percentual de domicílios particulares com acesso a rede geral de água entre 2004 e 2015, por região do Brasil.	44
Tabela 3. Classificação de Severidade da Seca adotado pelo Monitor de Secas.....	48
Tabela 4. Evolução de medidas de combate e de convivência com a seca no semiárido.	51
Tabela 5. Total de potência outorgada (kW) das usinas fotovoltaicas localizadas no Rio Grande do Norte, Região Nordeste e Brasil.	61
Tabela 6. Localização e quantidade de famílias das 68 comunidades beneficiados pelo Programa Água Doce no Rio Grande do Norte até março de 2020.	90
Tabela 7. Dados da Unidade Demonstrativa de Produção implementada pelo Programa Água Doce na comunidade Caatinga.....	99
Tabela 8. Arranjo fotovoltaico associado ao sistema de dessalinização instalados pelo Programa Água Doce na comunidade Maria da Paz.	101
Tabela 9. Custos estimados ¹ pelo Programa Água Doce para implantação do Sistema de dessalinização e Unidade Produtiva.	104
Tabela 10. Expectativas de custos em US \$ ² para sistemas de dessalinização no Programa Água Doce para o Rio Grande do Norte.....	106
Tabela 11. Vantagens e desvantagens dos principais processos de dessalinização.....	116
Tabela 12. Custos de água a partir de diferentes tecnologias de dessalinização associadas e energia solar em diferentes capacidades de produção.	120
Tabela 13. Demanda hídrica estimada por comunidade beneficiada pelo Programa Água Doce no Rio Grande do Norte.	132
Tabela 14. Consumo de energia elétrico adotado no presente estudo para o dimensionamento da potência instalada para os arranjos fotovoltaicos.	133
Tabela 15. Demanda de energia elétrica estimada por comunidade beneficiada pelo Programa Água Doce no Rio Grande do Norte.	134
Tabela 16. Dados sobre a temperatura nos módulos fotovoltaicos considerados pela Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte.	136
Tabela 17. Potência instalada e quantidade de módulos para compor Sistema Solar Fotovoltaico.	137

LISTA DE SIGLAS

AIEA - International Atomic Energy Agency
ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
ANDB – Atlas Nacional Digital do Brasil
ED - Eletrodialise
EMPRABA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GEE - Gases de Efeito Estufa
GWh - Giga Watt hora
ICAA - Índice de Condição de Acesso a Água
IDA – Associação Internacional de Dessalinização
IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte
IDH-M - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IGARN - Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INSA – Instituto Nacional do Semiárido
IPCC - Intergovernmental Painel on Climate Change
kWp - Kilo Watt Pico
kWh - Kilo Watt hora
LABREN - Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia
mm – milímetros
m² - Metro quadrado
m³ - Metro cúbico
MDR – Ministério de Desenvolvimento Regional
MMA - Ministério do Meio Ambiente
MSF - Destilação Flash de Múltiplos Estágios
MED - Destilação por Múltiplo Efeito
MWp - Mega Watt Pico
OSI – Osmose Inversa
OCP – Operação Carro-pipa
PAD – Programa Água Doce
PIB - Produto Interno Bruto

PISF – Projeto de Integração do Rio São Francisco

ppm – Partes por mil

PV-OSI – Sistema integrado entre energia solar fotovoltaica e técnica de dessalinização

Osmose Inversa

SEMARH – Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte

TDS – Total de Sólidos Dissolvidos

TWh - Tera Watt hora

UDP – Unidade Demonstrativa de produção

INTRODUÇÃO GERAL

Com a estimativa de um aumento da população global para 9,7 bilhões em 2050, são esperados acréscimos significativos nas demandas de água, energia e alimentos (UN WATER, 2015, p. 2; UN, 2015, p.2). Em contrapartida, a quantidade disponível total de água no planeta permanecerá constante em cerca de 1,4 bilhões de km³, com menos de 1% desse volume disponível na forma de água doce para consumo humano (ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2020a). Destaca-se ainda que os recursos de água doce acessíveis sofrem impactos negativos advindos das ações antropogênicas, bem como danos sobrevindos de eventos climáticos extremos, os quais se espera serem potencialmente agravados pela mudança global do clima. Ela está definida como uma mudança no estado do clima que pode ser identificada por mudanças na média e/ou na variabilidade de suas propriedades, persistindo por um período prolongado, normalmente décadas ou mais. Tem sua causa creditada a processos internos naturais ou forças externas, como modulações dos ciclos solares, erupções vulcânicas e mudanças antropogênicas persistentes na composição da atmosfera ou no uso do solo, evidenciando uma distinção entre mudança climática atribuível a atividades humanas que altera a composição atmosférica e variabilidade climática atribuível a causas naturais (IPCC, 2014, p. 5).

Nesse contexto, segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change*¹(IPCC), as médias de todos os cenários de mudanças climáticas, observando o papel do crescimento demográfico, sugerem que possivelmente até 1 bilhão de pessoas viverá em cidades com escassez perene de água até 2050 (IPCC, 2014, p. 555), especialmente em áreas áridas e semiáridas, as quais compreendem cerca de 36% da superfície terrestre do globo (YANG; WILLIAMS, 2015, p.1).

No Brasil, 94% de sua área semiárida se apresentam suscetíveis à desertificação, e aproximadamente, 50% dessa área foram degradados devido às frequentes e prolongadas secas e ao desmatamento para a agricultura (IPCC, 2019). A expansão potencial dessas terras áridas implica menor sequestro de carbono e maior risco de desertificação, com impactos graves na usabilidade do solo e ameaças à segurança alimentar. A expectativa é que os riscos da desertificação aumentem devido às mudanças

¹ O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas é uma organização científico-política vinculada à Organização das Nações Unidas, criada a partir da iniciativa do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e da Organização Meteorológica Mundial.

globais do clima reduzindo a saúde do ecossistema, incluindo perdas na biodiversidade.

Estima-se que, no Brasil, a vazão média de água seja de cerca de 260.000 m³/s e a disponibilidade hídrica superficial em torno de 78.600m³/s, 30% da vazão média. Desse total, a região amazônica concentra cerca de 80% da vazão média nacional e contribui com 83% de toda disponibilidade hídrica superficial. Essa região apresenta o menor adensamento populacional brasileiro, sendo ocupada por apenas 8,72% da população e, por conseguinte, registra a menor demanda de água.

Em situação oposta a Região Nordeste (NE) possui 3,52%, da vazão média, e 2,65%, da disponibilidade hídrica superficial, abrigando uma área semiárida que ocupa cerca de 65% do seu território, demandando atenção especial no tocante à oferta de água, situação bem distinta das outras regiões do país (ANA, 2017, p. 27).

O Semiárido Brasileiro apresenta usualmente um período seco mais crítico e prolongado em relação a outras regiões do país. Caracteriza-se também por altas temperaturas, baixas amplitudes térmicas, forte insolação e altas taxas de evapotranspiração, além de baixos índices pluviométricos, que resultam em rios com baixa disponibilidade hídrica (ANA, 2015, p. 54).

Não se trata, portanto, de uma situação recentemente identificada, a escassez de água nessa região é uma característica permanente, tão marcante que a literatura enfatiza a seca e a miséria de sua população - sertaneja² - como consequência do clima “adverso”, em que a natureza do Semiárido impulsiona a vida do sertanejo a acompanhar esse ciclo natural, limitando alternativas econômicas que sejam dependentes do regime anual de chuvas (BURITI; AGUIAR, 2009). Entretanto, essa situação socioeconômica desfavorável não deve ser associada, exclusivamente, ao ambiente natural da população sertaneja, assim como, a natureza do semiárido não deve ser analisada exclusivamente sob uma perspectiva de escassez de recursos.

As características naturais, fatores históricos e investimentos desiguais entre as regiões contribuíram para que a economia local não se estruturasse a partir de atividades sustentáveis, dessa forma, o grau de desenvolvimento do Semiárido Brasileiro resultou inferior ao encontrado em outras regiões do país (ARAÚJO, 2011, p. 1). Em 2017 o Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* dessa região esteve abaixo de US \$ 4.000,00, valor inferior a cerca de duas vezes e meia do PIB *per capita* brasileiro, que superou, nesse

² O presente trabalho associa o sertanejo à população residente na área delimitada da Região do Semiárido Brasileiro, resultante da interação entre diversas raças, a exemplo de colonizadores europeus, povos indígenas e afrodescendentes.

mesmo ano, US \$ 9.925,00 (IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2019a; BANCO MUNDIAL, 2020)³.

As mesmas características naturais, que contribuem para escassez hídrica, também contribuem para o elevado potencial energético de fontes renováveis de energia no semiárido, nomeadamente as fontes eólica e solar. Esse potencial pode ser utilizado para mitigar danos decorrentes das condições de vulnerabilidade hídrica registradas na região os empregando na geração de eletricidade para suporte ao desenvolvimento econômico da região, e, de forma específica no bombeamento de água, em programas de irrigação e dessalinização. Essas fontes ganham proeminência quando avaliados os cenários que apontam um agravamento das condições climáticas face à denominada mudança global do clima, a qual tem potencial de intensificar e tornar mais frequentes os ciclos hidrológicos já desfavoráveis. Esse cenário tende a ampliar as condições de aridez na Região Nordeste, de forma mais ressaltada na sua área semiárida.

Garantir a disponibilidade de recursos hídricos de forma regular e o uso de água de boa qualidade para todos, sem ameaça à saúde pública, continuarão sendo um desafio abrangente no Semiárido Brasileiro, especialmente para comunidades difusas dos grandes centros, não contempladas com uma infraestrutura hídrica adequada. Esses obstáculos se estendem a outras regiões semiáridas do planeta, onde a escassez de água é uma realidade.

Pensar em soluções socioambientalmente equilibradas e promover o acesso a tecnologias de adaptação à variabilidade climática para pessoas assentadas em regiões críticas, em termos de vulnerabilidade hídrica, estão de acordo com as metas preconizadas na Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, no compromisso centrado em “Não deixar ninguém para trás” (UN WATER, 2019, p. 40), o qual:

[...] visa permitir que todas as pessoas em todos os países se beneficiem do desenvolvimento socioeconômico e alcancem a plena realização dos direitos humanos, sem discriminação social, econômico ou político. O cumprimento dessa Agenda requer uma abordagem integrada entre as dimensões social, econômica e ambiental do desenvolvimento sustentável, em parceria com todos os atores interessados” (UN WATER, 2019, p. 40).

Dessa forma, promover o acesso à água potável a parte da população que está à margem de grandes centros e/ou não tem acesso à rede regular de abastecimento é uma forma prioritária de inclusão social.

No caso da Região Nordeste do Brasil, em especial o semiárido, onde o desequilíbrio entre oferta e demanda de água é mais crítico, o contexto geológico,

³ A consulta para encontrar o PIB *per capita* considerou o indicador PIB per capita (US \$ atual) (NY.GDP.PCAP.CD).

formado por rochas ígneas e metamórficas, com baixa permeabilidade, favorece a formação de solos pouco profundos e a existência de lençóis freáticos não expressivos, com elevada concentração salina, em função dos sais solúveis liberados pelas rochas, que estão permanentemente em contato com elas. Estimativas contabilizam uma capacidade de extração de água subterrânea na ordem 250 milhões de metros cúbicos (PORTO *et al.*, 2019, p. 8 e 9). Essas características promovem a existência de águas subterrâneas salobras na região, que podem servir para aumentar a sua oferta hídrica através do uso de tecnologia e tratamento adequados.

Nesse sentido, no intento de associar a dimensão tecnológica da energia aos aspectos político, econômico, social e ambiental, o presente estudo tem seu objeto centrado no atrativo energético local no que concerne a exploração de águas subterrâneas salobras e salinas na redução da vulnerabilidade hídrica na Região Nordeste, incluindo a mitigação de seus possíveis impactos ambientais.

Alternativas que considerem uma relação equilibrada e harmoniosa com o meio ambiente contribuem para gerar reflexos positivos à gestão da água (UN WATER, 2018), assim, a implantação de tecnologias que amenizem os efeitos da seca, a exemplo do emprego da tecnologia de dessalinização nos sistemas de abastecimento de água, considerando o uso de recursos energéticos renováveis, estabelece uma relação que valoriza os potenciais locais na conexão entre a oferta de água e a energia necessária a esta, melhorando, portanto, as relações ambientais que se estabelecem nesse contexto (FRANCHINI; PERDICHIZZI; , 2014; NAIR *et al.*, 2014).

O processo de dessalinização consiste na remoção de sais dissolvidos na água do mar ou salobra, sendo capaz de reduzir a salinidade em muitas fontes e produzir água (CDWR, 2013, p. 13). Importante para locais com baixa disponibilidade de água doce, a adoção de estratégias que utilizem fontes renováveis de energia nas tecnologias de tratamento de água, voltadas à promoção sustentabilidade em seus espectro social, econômico e ambiental, tornou-se tema destacado de pesquisa e desenvolvimento em recursos hídricos (MIRIAM BALABAN, 2017; SHATAT; WORALL; RIFFAT, 2013).

Nesse contexto, esta tese advoga que o emprego da tecnologia de dessalinização para exploração de águas subterrâneas salobras ou salinas, integrada ao aproveitamento dos recursos energéticos solares, é uma alternativa sócio ambientalmente indicada para desenvolver estratégias de abastecimento de água, a partir de fontes hídricas não convencionais.

Tem-se como **pressuposto** que uma gestão integrada dos recursos hídricos

como parte de uma política pública, o emprego da tecnologia de dessalinização Osmose Inversa (OSI) associada ao uso de recursos energéticos renováveis - garantindo um descarte ambientalmente indicado do resíduo do processo - conformam-se em uma alternativa viável e sustentável na redução da vulnerabilidade hídrica em comunidades rurais, localizadas na Região Nordeste do Brasil.

Considerando as medidas de adaptação às mudanças climáticas, à luz da política pública brasileira, a pesquisa **objetiva** avaliar a aptidão da exploração de águas subterrâneas, sob o enfoque tecnológico, ambiental e socioeconômico, no âmbito do denominado Programa Água Doce, como estratégia de abastecimento de água para comunidades rurais no Semiárido Brasileiro, tendo como delimitação espacial o Estado do Rio Grande do Norte.

Em seus objetivos específicos, o estudo visa:

- i. Avaliar as determinantes que configuram a condição de vulnerabilidade na Região Nordeste quanto à formação político-econômica;
- ii. Avaliar o atrativo energético renovável do Semiárido Brasileiro e as condicionantes da oferta e demanda hídrica no Estado do Rio Grande do Norte, mapeando a disponibilidade desse recurso e seus usos consuntivos;
- iii. Apresentar as principais tecnologias empregadas no processo de dessalinização, indicadas para o aproveitamento de águas subterrâneas salobras ou salinas em produção distribuída de água doce em pequena escala;
- iv. Avaliar arranjos de abastecimento de água para comunidades rurais no semiárido brasileiro que contemplem a utilização do processo de dessalinização de águas subterrâneas, associado ao uso de recursos de fontes renováveis, com destinação sócio ambientalmente indicada da exploração do resíduo (concentrado).

Como contribuição para estudos centrados na avaliação de alternativas que promovam o aumento na oferta hídrica, a tese insere fonte renováveis de energia como um componente-chave a ser associado ao processo de dessalinização de águas subterrâneas do semiárido norte-rio-grandense para fazer frente à vulnerabilidade hídrica.

Em seu percurso metodológico, o objeto de estudo se dá em um recorte espacial e temporal. O primeiro recorte baliza o local da observação, considerando neste, comunidades rurais distantes de grandes centros, localizadas na região do semiárido no Estado do Rio Grande do Norte, que não possuem acesso à rede geral de distribuição de

água da concessionária estadual ou sistemas autônomos municipais de abastecimento de água. No segundo recorte, trata-se o Estado brasileiro em relação à concentração de sua área territorial inserida na região semiárida e que, entre 2017 e 2019, teve decretado estado de emergência devido à situação de seca em 90% de suas cidades. Já o recorte temporal delimita períodos em que a observação estudada foi circunscrita:

- a) Recua no tempo, a partir do século passado, para analisar a formação política e estrutural da Região Nordeste, bem como para entender a condição de desenvolvimento socioeconômico e a vulnerabilidade hídrica;
- b) Recorre ao tempo presente visando compreender as características naturais que explicam a variabilidade climática no Semiárido Brasileiro, bem como a necessária convivência com o fenômeno natural “seca”;
- c) Avança no tempo para apresentar cenários com impactos no setor hídrico da região em detrimento da mudança global do clima.

O percurso metodológico adotado segue o delineamento de uma pesquisa de abordagem qualitativa e a quantitativa. Os procedimentos metodológicos consistem em pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa de campo e observações, que forneceram material para a análise dos resultados. A pesquisa se caracteriza como exploratória-descritiva, visando proporcionar maior familiaridade com o problema e a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado, assim como a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis (GIL, 2002, p. 41-42).

Na abordagem qualitativa, os procedimentos metodológicos forneceram material para delinear: 1) as determinantes que configuram a condição de vulnerabilidade ambiental, econômica e social na Região Nordeste, em um contexto de mudança global do clima e seus possíveis impactos; ii) a gestão dos recursos hídricos no Rio Grande do Norte e iii) a associação indicada entre as técnicas de dessalinização e as fontes renováveis de energia visando à redução da vulnerabilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Norte, região com características naturais desfavoráveis para a disponibilidade de água superficiais e favoráveis para o aproveitamento de águas subterrâneas e recursos energéticos renováveis.

A abordagem quantitativa foi conduzida com base na hipótese e objetivou a análise descritiva dos dados coletados sobre as comunidades rurais no Rio Grande do Norte, beneficiadas pelo Programa Água Doce, que fazem uso de sistema de dessalinização, e estimar a potência instalada necessária de sistema fotovoltaico para

suprir a demanda elétrica dos sistemas de dessalinização instalados pelo Programa Água Doce e em operação no Estado do Rio Grande do Norte.

Para o alcance dos objetivos nomeados, esta tese se encontra estruturada em seis seções, além de uma seção de caráter introdutório, assim descritas:

A **Seção II** apresenta o percurso metodológico adotado para alcançar os objetivos propostos da presente Tese. A **Seção III** analisa a classificação climática de áreas semiáridas e as características político-econômico-sociais que envolvem o Semiárido Brasileiro, e a relação entre Região Nordeste e o fenômeno da seca e sua vulnerabilidade hídrica. Realidade marcada pela escassez da água superficial para usos consuntivos.

Além disso, apresenta possíveis impactos futuros sobre o setor hídrico como consequência da mudança global do clima. Para tanto, explora a existência de águas subterrâneas salobras ou salinas como uma fonte hídrica não convencional com potencial de uso na gestão de águas. Expõe ainda o potencial energético local em recursos renováveis – energia solar e eólica –, os quais apresentam o atrativo de contribuir na promoção ou manutenção da segurança hídrica⁴.

A **Seção IV** apresenta as características gerais do Rio Grande do Norte, em seguida descreve e avalia a estrutura da gestão de seus recursos hídricos, infraestrutura, condicionantes de oferta e demanda, e as opções de abastecimento consideradas no Estado.

Discute sobre o aproveitamento sustentável de águas subterrâneas como uma estratégia de abastecimento de água potável à população na redução da vulnerabilidade hídrica na área semiárida do Rio Grande do Norte. Para isso, faz uso, da política pública permanente do Governo Federal, que tem como estratégia o uso da dessalinização de águas subterrâneas – o Programa Água Doce (PAD) – no abastecimento de água de pequenas comunidades. A tese adiciona a essa estratégia (PAD) o uso da energia solar fotovoltaica para atender à demanda de energia elétrica dos sistemas de dessalinização, além da destinação da água concentrada do processo como resíduo para a aplicação agropecuária bioessalina⁵, com possibilidade de exploração em sistemas produtivos ou

⁴ A Segurança Hídrica existe quando há disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para o atendimento às necessidades humanas, à prática das atividades econômicas e à conservação dos ecossistemas aquáticos, acompanhada de um nível aceitável de risco relacionado a secas e cheias, devendo ser consideradas as suas quatro dimensões como balizadoras do planejamento da oferta e do uso da água em um país (ANA, 2019b, p. 13)

⁵ Uso de águas com determinados teores de sais.

voltado para a recuperação do solo.

A **Seção V** discute o processo de dessalinização e técnicas existentes, contemplando tecnologias, curva de aprendizado e experiências bem-sucedidas em outros países, especialmente em áreas semiáridas, com características e condições climáticas semelhantes ao Semiárido Brasileiro. Apresenta estudos que avaliam o uso de águas subterrâneas através da técnica de Osmose Inversa associados ao aproveitamento da fonte solar fotovoltaica para suprir a demanda elétrica do processo de dessalinização, além de possibilidades para um descarte indicado da água concentrada oriunda do processo de dessalinização, seja como resíduo com potencial de reaproveitamento, seja como rejeito.

Já a **Seção VI** analisa a relação que valoriza o nexo entre o abastecimento de água e a energia necessária e disponível para a redução da vulnerabilidade hídrica em comunidades rurais do Rio Grande do Norte, beneficiadas pelo Programa Água Doce. A seção dimensiona a potência instalada necessária de sistemas solares fotovoltaicos para atender a demanda elétrica estimada dos sistemas de dessalinização gerenciados pelo Programa Água Doce para o aproveitamento e tratamento de água subterrânea salobra, aderindo às medidas de adaptação à mudança global do clima à luz de uma política pública brasileira.

Finalmente, na **Seção VII**, são tecidas as considerações finais do trabalho, assim como recomendações de novos estudos relacionados ao presente trabalho.

Destarte, espera-se que essa exposição estrutural das seções proporcione ao leitor uma compreensão exata do trabalho científico proposto.

SEÇÃO 2 - PERCURSO METODOLÓGICO

A pesquisa almeja explorar conhecimentos para aplicação prática na solução de problemas considerados, configurando-se uma pesquisa de natureza aplicada. O percurso metodológico adotado segue o delineamento de uma pesquisa de abordagem quali-quantitativa.

Para Prodanov e Freitas (2013, p. 70 e 71), a abordagem qualitativa tem o ambiente como fonte direta dos dados. O pesquisador mantém contato direto com o ambiente e o objeto de estudo em questão, necessitando de um trabalho intensivo de campo, em que os dados coletados nessas pesquisas são descritivos, retratando o maior número possível de elementos existentes na realidade estudada. A abordagem quantitativa considera traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las e pode ser empregada em vários tipos de pesquisas, inclusive nas descritivas, principalmente quando buscam a relação causa-efeito entre os fenômenos e também pela facilidade de poder descrever a complexidade da hipótese ou de um problema.

A pesquisa objetiva ser exploratória e descritiva, uma vez que está orientada a proporcionar uma maior familiaridade com o problema, objeto de investigação, além de expor características que o envolvem.

Para Prodanov e Freitas (2013, p. 52) a pesquisa exploratória tem como finalidade proporcionar mais informações sobre o assunto investigado, possibilitando sua definição e seu delineamento, isto é, facilitar a delimitação do tema da pesquisa; orientar a fixação dos objetivos e a formulação das hipóteses ou descobrir um novo tipo de enfoque para o assunto. Gil (2002, p. 41) entende que a pesquisa exploratória possui menor rigidez e tem como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores. Sua descritiva adota como objetivo primordial a exposição das características de determinada população ou fenômeno.

Os procedimentos técnicos utilizados nesta pesquisa são: pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa de campo e observações. A pesquisa bibliográfica conduziu a fundamentação teórica e, intrínsecos ao estudo, as pesquisas documental, de campo e experimental conciliaram os resultados empíricos.

A revisão bibliográfica e a construção de um referencial teórico conformam o percurso metodológico inicial. Após a escolha do objeto a ser estudado,

[...] o pesquisador deve iniciar amplo levantamento das fontes teóricas, com o objetivo de elaborar a contextualização da pesquisa e seu embasamento teórico, o qual fará parte do referencial da pesquisa na forma de uma revisão bibliográfica, buscando identificar o alcance dessas fontes. Essas providências mostrarão até que ponto esse tema já foi estudado e discutido na literatura pertinente. Convém estabelecer um marco teórico de referência e sua abrangência em termos temporais (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 131).

O referencial teórico fornece sentido à proposta de pesquisa, além de servir de base para entender o processo de dessalinização, visando ao abastecimento de água potável em comunidades rurais, como uma medida de adaptação à realidade e a possíveis consequências relacionadas à mudança global do clima, além de apresentar as justificativas pela opção da técnica de dessalinização baseada em membrana Osmose Inversa, com a aplicação da energia solar fotovoltaica para integrarem a estratégia de aproveitamento de águas subterrâneas e salobras no Semiárido Brasileiro

Dessa forma, embasa a interpretação dos dados e fatos levantados ao longo da investigação, conferindo a qualidade acadêmica do estudo que, antes de tudo, se reveste de acuidade epistemológica, ou seja, da apreensão do conhecimento e da captação da realidade. Gil (2002, p. 41) argumenta que o produto final desse processo passa a ser um problema mais esclarecido, passível de investigação, mediante procedimentos mais sistematizados, ou seja, uma maior familiaridade com o problema ao torná-lo mais explícito e compreensivo quanto à construção de hipóteses. A revisão bibliográfica também assumiu a forma de pesquisas bibliográfica e documental, proporcionando uma visão geral acerca do problema estudado e regula as principais conclusões alcançadas por outros autores, através das contribuições das pesquisas realizadas.

Para Gil (2002, p. 44), a pesquisa bibliográfica é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos, e a principal vantagem reside no fato de permitir ao investigador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla. Já a pesquisa documental, que segue os mesmos passos da pesquisa bibliográfica, precisa, primeiramente, explorar fontes documentais que não receberam tratamento analítico.

Dessa maneira, o levantamento bibliográfico e documental sobre recursos hídricos e vulnerabilidade setorial à mudança do clima no Brasil apresentado permite identificar os determinantes que configuram vulnerabilidades – ambiental, social e econômica – no semiárido brasileiro quanto à formação político-econômica da Região Nordeste e identificar os impactos dos cenários advindos da mudança climática sobre o sistema hídrico na região. Tal levantamento é fundamental ao processo de construção da

tese, por meio das abordagens dos autores pesquisados e da realidade constatada, a partir do objeto de estudo.

Júnior (2015) destaca que, mesmo contendo pontos de vistas diversificados, a revisão bibliográfica se torna insuficiente para verificar o estado do problema, sendo necessária a construção do referencial teórico, visto que este corresponde em profundidade e extensão o tratamento científico que está sendo realizado. Para tanto, bibliotecas digitais foram visitadas e as publicações do interstício 2017-2019 foram consideradas, tendo em vista o aumento da participação da fonte solar na matriz energética mundial e seu crescimento regional. Dados secundários foram coletados, a partir das publicações e dos periódicos nacionais e internacionais, considerados importantes para a comunicação científica, dada a sua complexidade, a exemplo da: i) *United Nations Water (UN-WATER)*; ii) *International Renewable Energy Agency (IRENA)*; iii) de revistas internacionais, de bases de pesquisa como a *Elsevier* e *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*; iv) Programa de Planejamento Energético vinculado à Universidade Federal do Rio de Janeiro; v) Agência reguladoras, como a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico e a Agência Nacional de Energia Elétrica e; vi) Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações.

Nessa perspectiva, o referencial teórico contribui para a robustez da pesquisa, servindo de base para entender as principais tecnologias empregadas no processo de dessalinização, destacando a experiência de países que já utilizam a dessalinização de água salobra como fonte alternativa consolidada para o abastecimento e as experiências associadas a recursos energéticos renováveis.

Para proceder com os problemas relacionados ao recorte espacial dessa tese – a vulnerabilidade hídrica no Nordeste Brasileiro e o uso de tecnologias de dessalinização – foram delimitados, como espaço de observação, as comunidades rurais distantes de grandes centros, localizadas na região do semiárido no Estado do Rio Grande do Norte que não possuem acesso à rede geral de distribuição de água da concessionária estadual ou sistemas autônomos municipais de abastecimento de água.

Para entender o atual grau de desenvolvimento socioeconômico, a condição de vulnerabilidade hídrica no Nordeste brasileiro e possíveis impactos no setor hídrico da região em detrimento da mudança global do clima, o presente estudo realizou recorte temporal delimitando períodos diferentes para a observação estudada.

Recua ao século passado para entender a condição de desenvolvimento socioeconômico e a vulnerabilidade hídrica da Região Nordeste, a partir da sua formação

política e estrutural. Investiga, no tempo presente, as características naturais associadas à Região do Semiárido Brasileiro e a sua relação com a seca, compreendida no presente estudo como um fenômeno climático recorrente para a Região. Avança no tempo para expor expectativas, relacionando o setor hídrico da região e a possível mudança global do clima, a partir de cenários.

A pesquisa de campo envolveu o amplo estudo do objeto, permitindo o conhecimento da realidade estudada, através da análise das características geográficas, ambientais e tecnológicas do espaço investigado, com a finalidade de fornecer dados para a verificação da hipótese. Para Prodanov e Freitas, (2013, p. 59), a pesquisa de campo permite extrair informações e conhecimentos acerca de um problema ou de uma hipótese. Consiste na observação de fatos e fenômenos, na coleta de dados e no registro de variáveis que presumimos relevantes para analisá-los.

A pesquisa de campo objetivou a interlocução com instituições-chave que desempenham papel importante no planejamento de ações voltadas ao desenvolvimento do semiárido no Estado do Rio Grande do Norte, a saber: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SEMARH); Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte (IGARN); Coordenação Estadual de dessalinização do Programa Água Doce (PAD) vinculado ao Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR); comunidades Morada da Paz, localizada no município de João Câmara /RN, e Caatinga Grande, localizada no município de São José do Seridó/RN; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e empresas que prestaram serviço de instalação de sistemas de dessalinização para o Programa Água Doce.

A observação direta do ambiente real do estudo empírico permitiu avaliar as políticas públicas para abastecimento de água em comunidades rurais. O instrumento de observação, não obtido através das pesquisas teórica e documental, permitiu o alcance de elementos que revelam informações baseadas na experiência cotidiana e nos depoimentos individuais, além de suscitar ampla variedade de descobertas e aprendizagens (LAVILLE; DIONNE, 1999).

A observação orientada a obtenção de dados e mapeamento da realidade foi a sistemática, recurso este utilizado com frequência em pesquisas que têm como objetivo o teste de hipóteses (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 104). Na observação, os objetos norteadores estavam centrados nas comunidades rurais beneficiadas pelo programa Água Doce no Rio Grande do Norte, em termos:

- i. Técnicos e tecnológicos, que versam sobre o sistema de dessalinização baseado

na técnica Osmose Inversa e o sistema para aproveitamento da energia solar fotovoltaica;

- ii. Ambientais, econômicos e sociais, que repercutem sobre as famílias, os benefícios advindos do acesso à água de qualidade e formas de mitigação do impacto ambiental causado pela exploração das águas subterrâneas.

O processo de observação considerou também a participação em Encontros Nacionais e estaduais do Programa Água Doce em 2018 e 2019, Seminário técnico do dia Mundial da água em 2017, Fórum Nacional Eólico 2017 e 2018.

Na abordagem qualitativa, os procedimentos metodológicos forneceram material para delinear as determinantes que configuram a condição de vulnerabilidade hídrica na Região Nordeste, a gestão de recursos hídricos no Rio Grande do Norte e as técnicas de dessalinização com possibilidade de associação a fontes renováveis de energia, expandido a análise para o contexto da mudança global do clima. Destarte, investiga-se os seus possíveis impactos e medidas adaptativas, considerando na análise uma melhoria nas relações entre o aproveitamento dos recursos hídricos, energia e meio ambiente, promovendo, dessa forma, à redução da vulnerabilidade hídrica na região objeto de estudo.

A abordagem quantitativa, conduzida com base na hipótese, objetivou a análise descritiva dos dados coletados sobre as comunidades rurais no Rio Grande do Norte, beneficiadas pelo Programa Água Doce que fazem uso de sistema de dessalinização, através de informações como:

- i. Dados populacionais;
- ii. Irradiação solar direta normal local;
- iii. Análise físico-química das águas subterrâneas;
- iv. Demanda hídrica e;
- v. Demanda de eletricidade.

Os dados levantados, a partir de um tratamento com números e sua análise, permitiram estimar a potência instalada necessária de sistema fotovoltaico para suprir a demanda elétrica dos sistemas de dessalinização instalados pelo Programa Água Doce e em operação no Estado do Rio Grande do Norte. Essa estimativa de potência, visando atender à demanda elétrica para o atendimento do funcionamento dos sistemas de dessalinização, foi calculada com base nas equações a seguir.

Inicialmente foram levantadas as demandas de energia elétrica em Wh, expressa como:

$$Wh = D \times k, \quad (1)$$

Onde:

Wh consiste na soma do consumo de energia elétrica.

D consiste na demanda de água em metro cúbico (m³).

k consiste no consumo de energia elétrica em Watt-hora por metro cúbico (Wh/m³).

Em seguida, foi dimensionada a potência de saída (Ppv) do módulo fotovoltaico, conforme equação de (GHENAI *et al.*, 2018, p. 174) sendo expressa como:

$$P_{pv} = PPV,STC f_{PV} \left(\frac{G}{G_{STC}} \right) [1 + \alpha_p (T_c - T_{c,STC})], \quad (2)$$

Onde:

Ppv consiste na Potência de saída do módulo.

PPV, STC consiste na Saída de energia sob condições de teste padrão (STC).

f_{PV} consiste no fator de redução de módulo.

G consiste na irradiação solar direta normal no local.

G_{STC} consiste na irradiação sob condições de teste padrão (STC).

α_p consiste no coeficiente de temperatura para potência máxima

T_c consiste na temperatura nominal de operação do módulo fotovoltaico.

$T_{c,STC}$ consiste na temperatura do módulo sob condições de teste padrão (STC).

Para a presente tese, o cálculo da potência de saída do módulo adotou, como referência para a potência Watt-pico (Wp) do módulo, o valor de 320 Wp, potência disponível no mercado de energia solar no Brasil. O cálculo das quantidades de módulos necessários é expresso como:

$$NP = \frac{Wh}{P_{pv}}, \quad (3)$$

Onde:

NP consiste na quantidade de módulos necessários.

Outra técnica utilizada para o alcance dos objetivos propostos na presente Tese foi o georreferenciamento. Segundo Ritter, Rosa e Flores (2013, p. 2524), a referida técnica é definida como o processo de associação do dado a um mapa, em que os Sistemas

de Informação Georreferenciados trabalham com dados agregados por área, assim, diferentes níveis de taxa podem ser expressos por cores diferentes e níveis semelhantes. Desse modo, constituem-se em um instrumento prático para evidenciar as desigualdades existentes num dado território.

Hastings e Hill (2009) destacam que, na maioria dos registros, as descrições das localidades são textuais e, portanto, um processo interpretativo é necessário para atribuir coordenadas geoespaciais. Nesse sentido, o conhecimento do território é uma das estratégias utilizadas para o diagnóstico e planejamento das ações em gestão de recursos hídricos, pois possibilita a descrição de usuários em uma base territorial. O conhecimento do território somado ao conhecimento da disponibilidade de água, dos usos consuntivos e das determinantes que configuram a vulnerabilidade hídrica, se traduzem em grande quantidade de informações e dados a respeito do espaço, sendo necessária uma ferramenta mais adequada para armazená-los e visualizá-los no sentido de subsidiar a proposição de soluções.

A técnica de georreferenciamento é utilizada na construção de Figuras com Mapas para representar a presença do clima semiárido no mundo, o PIB *per capita* dos municípios da Região do Semiárido Brasileiro e para os condicionantes de demanda e oferta hídrica no Rio Grande do Norte.

Os dados de irradiação solar direta normal, base de informação para se estimar o aproveitamento de energia solar disponível nas localidades, bem como a estimativa da potência instalada para os módulos fotovoltaicos, estão apresentados através de mapas e figuras, que, para sua determinação, também fazem uso da técnica de georreferenciamento.

O georreferenciamento de soluções foram processados no *software ArcGis – ArcMap 10.5*, a partir de dados extraídos das seguintes fontes: Sistema de Gestão da Informação e do Conhecimento do Semiárido Brasileiro (SIGSAB), vinculado ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA); Monitor de Secas e Sistema de Acompanhamento de Reservatórios, vinculados à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA); Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN), vinculado ao Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); Programa Água Doce (PAD), vinculado ao Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR); Atlas Nacional Digital do Brasil (ANDB) e Sistema Cidades@, vinculados ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e; Banco de dados do Banco Mundial.

SEÇÃO 3 - RECURSOS HÍDRICOS NO NORDESTE: ESCASSEZ E ABUNDÂNCIA

3.1. INTRODUÇÃO

Todo recurso hídrico é água, mas nem toda água é recurso hídrico. A água, enquanto elemento natural, está associada à manutenção da vida, porém, sem obrigatoriedade de vínculo a qualquer uso. A água, enquanto recurso hídrico, é proveniente da superfície ou subsolo, podendo ser atribuída a um determinado uso ou atividade (EMBRAPA, 2020). A Política Nacional de Recursos Hídricos compreende a água como um recurso natural, limitado e dotado de valor econômico. A Região Nordeste, em especial o Semiárido Brasileiro, em comparação com outras Regiões do país, possui maior criticidade em relação ao balanço hídrico, onde a magnitude das perdas de água por evaporação do solo ou de corpos hídricos superficiais e pela transpiração das plantas é maior que a precipitação pluvial, levando à ocorrência de déficit hídrico. Requer, portanto, uma gestão dos recursos hídricos que compreenda melhor os condicionantes de oferta e demanda de água.

No Brasil, a água é um recurso desigualmente distribuído em seu território, o que adiciona desafios à gestão de seus recursos hídricos, hoje e no futuro. A assimetria no acesso à água no Brasil ganha contorno ainda mais dramático na região Nordeste, uma vez que essa região abriga a quase totalidade do território semiárido do país. Área em que se acrescenta a sua menor disponibilidade hídrica para usos consuntivos, o registro de um baixo desenvolvimento socioeconômico e maior suscetibilidade a eventos extremos, como a seca e as estiagens.

Nessa perspectiva, o compartilhamento de recursos hídricos, entre diferentes usuários, necessita ainda mais de uma boa governança, pois a alocação da água depende de uma coordenação entre vários níveis envolvidos, desde o governo federal, passando pelos governos estaduais e municipais, até comitês de bacias hidrográficas. Uma gestão eficiente do recursos hídrico deve, portanto, garantir o fortalecimento da capacidade de governança em nível subnacional (OECD, 2015, p. 19). No caso do território semiárido no Brasil, onde uma parte da população local reside fora da zona urbana, a gestão dos recursos hídricos deve considerar a participação das lideranças das comunidades rurais na região, no curso do planejamento, implantação e acompanhamento das políticas públicas dirigidas ao aproveitamento, ao abastecimento e ao uso dos recursos hídrico para

região semiárida.

Ao abordar o Nordeste e o Semiárido Brasileiro como objeto de estudo, é importante compreender e diferenciar seus espaços:

- i. A Região Nordeste se refere a uma divisão do Brasil elaborada pelo IBGE, resulta do agrupamento de Estados e Municípios em sua delimitação territorial para fins de levantamento de dados estatísticos, bem como da implantação e gestão de políticas públicas e investimentos orientados a sua realidade (IBGE, 2017);
- ii. O Semiárido Brasileiro é uma delimitação geográfica do território nacional, promovida pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), no qual são consideradas as características climáticas como precipitação pluviométrica e condições de aridez.

É comum associar o semiárido brasileiro à Região Nordeste, e, pela dimensão que o mesmo ocupa na região, essa associação é justificável e representativa. No entanto, é importante assinalar que nem todo território da Região Nordeste está localizado na delimitação do Semiárido Brasileiro, assim como nem todo o território da Região do Semiárido Brasileiro está localizado no Nordeste Brasileiro. Isto é, 89% da área ocupada pelo semiárido se encontram na Região Nordeste (SUDENE, 2017).

Nesse capítulo, é feita a caracterização da Região Nordeste e do Semiárido Brasileiro, trazendo ao contexto as condicionantes e os fatores climáticos utilizados para classificar e delimitar áreas características semiáridas.

Para tanto, analisa: i) a presença de áreas semiáridas em outros continentes; ii) as características naturais permanentes da Região do Semiárido Brasileiro; iii) a formação político-econômica do Nordeste; iv) a existência de manancial subterrâneo com potencial de aproveitamento para a redução da vulnerabilidade hídrica na Região e; v) a compreensão dos efeitos decorrentes de fenômenos climáticos que atingem a região, como é o caso da variabilidade climática, incluindo aí a ocorrência de seca e estiagens, fenômenos recorrentes e frequentemente utilizados como justificativa usual para a intensificação/naturalização das desigualdades socioeconômicas entre as regiões brasileiras, argumento refutado neste trabalho.

Entender o passado relacionado à formação político-estrutural do Nordeste Brasileiro contribui para compreender os motivadores do estabelecimento de um processo inferior de desenvolvimento econômico da região, bem como os determinantes do estresse hídrico vivenciados. Dessa forma, avaliar as oportunidades e potencialidades dos recursos naturais da região, incluindo, nessa avaliação, as reservas de água subterrânea e

os atrativos energéticos renováveis, abundantemente presentes, contribui na busca de soluções sustentáveis para a convivência com o Semiárido Brasileiro.

3.2. CLIMA SEMIÁRIDO E O NORDESTE BRASILEIRO

Segundo Rolim *et al.* (2007, p. 712), a classificação climática analisa e define o conjunto de condições registradas na atmosfera que diferenciam as regiões, pela ação que exercem sobre as condições da vida animal e vegetal no planeta. Ela leva, em consideração, vários elementos climáticos ao mesmo tempo, facilitando a troca de informações e análises posteriores para diferentes objetivos. Visa, portanto, identificar em uma grande área ou região, zonas com características climáticas e biogeográficas relativamente homogêneas, fornecendo indicações valiosas sobre as condições ecológicas, suas potencialidades agrícolas e condições do meio ambiente.

Dentre os sistemas de classificação climática, destacam-se a classificação de *Köppen-Geiger* e o de *Thornthwaite*. O primeiro se configura no sistema de maior utilização no Brasil, em virtude de se preocupar unicamente com as grandes divisões da vegetação, bem como apresentar menor rigidez para determinação do período que apresenta menor rigidez para determinação do período de maior e menor fluxo de chuva – úmido e seco. Nele, a classificação é baseada no pressuposto originário da fitossociologia e ecologia, o qual assinala que a vegetação natural de cada grande região da Terra é essencialmente uma expressão do clima que nela prevalece. Assim, as regiões climáticas são caracterizadas para corresponder às áreas de predominância de cada tipo de vegetação, no entanto, essa classificação, em certos casos, não distingue regiões com biomas distintos.

A classificação climática *Köppen-Geiger* divide o Clima Semiárido entre quente e frio. Alguns países possuem a presença destes dois tipos de Climas Semiáridos como os Estados Unidos, Austrália e Argentina. No Brasil, é registrado O Clima Semiárido quente, majoritariamente na Região Nordeste. Na Figura 1 é possível observar as regiões semiáridas em diferentes partes do mundo, de acordo com a classificação climática *Köppen-Geiger*.

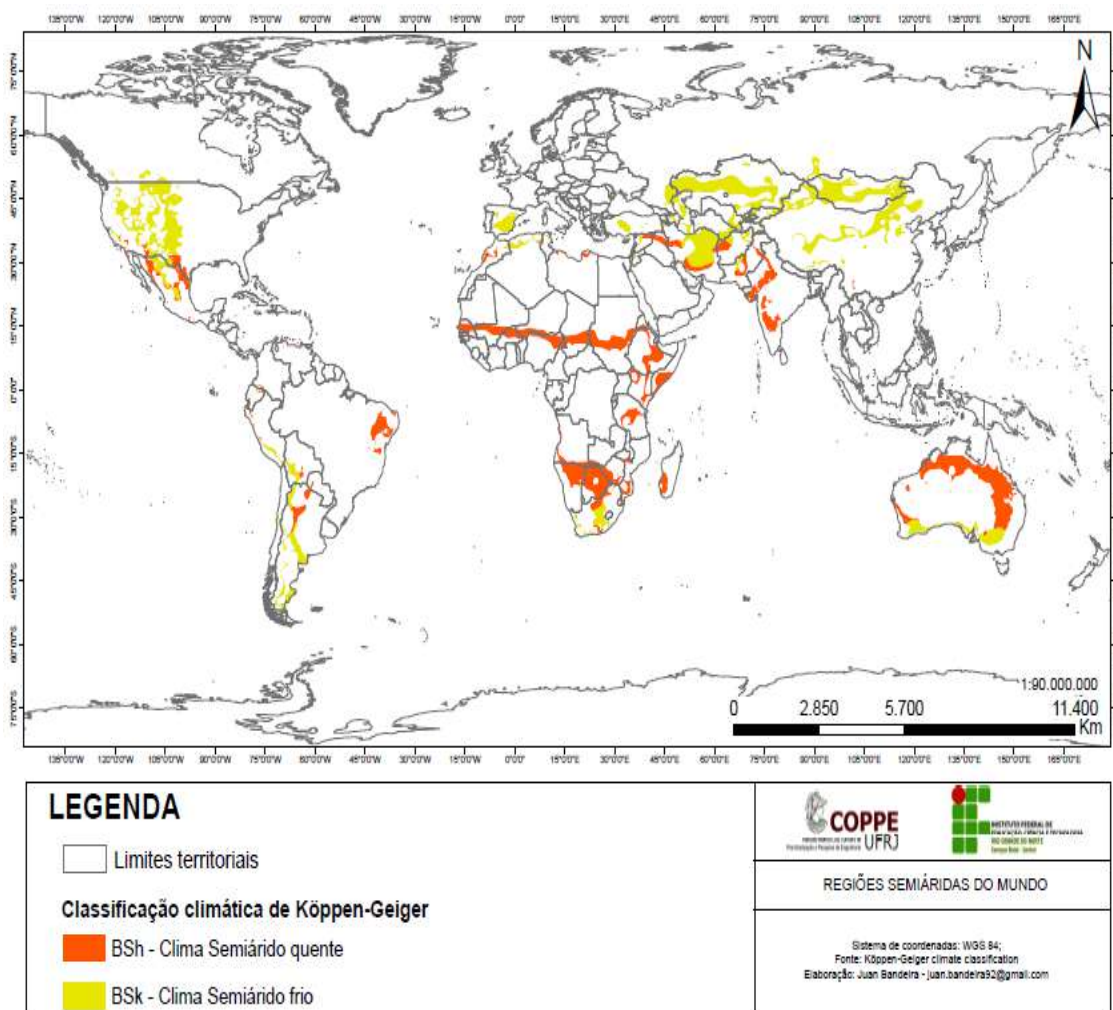


Figura 1 – Regiões semiáridas no mundo, conforme classificação climática Köppen-Geiger

Fonte: Elaboração própria a partir da classificação climática de *Köppen-Geiger* (LUCIONI, 2019).

A classificação climática de *Thornthwaite* deu uma grande contribuição ao introduzir a evapotranspiração potencial como elemento de classificação climática, além da precipitação pluviométrica e temperatura do ar, o que se constituiu em um aspecto inovador e construtivo para a classificação climática. Essa classificação se apoia em duas grandezas principais que são funções diretas da evapotranspiração potencial: o índice efetivo de umidade e o índice de eficiência térmica (FRANCISCO; SANTOS, 2018, p. 1-2).

A *United Nations* (2011, P. 27) focaliza a importância de se pôr, na agenda global, atenção com regiões que apresentam insuficiência de precipitações pluviométricas, bem como suas relações com outros problemas de natureza global e/ou regional, onde se incluem as mudanças climáticas, a segurança alimentar e os assentamentos humanos. Utiliza, portanto, a razão entre a precipitação média anual e a

evapotranspiração potencial total anual para classificar terras secas, tendo como características receber quantidades baixas de precipitação na forma de chuva ou neve. Essa métrica resulta na seguinte classificação:

- i) desertos hiperáridos ($<0,05$ índice de aridez);
- ii) regiões áridas (índice de aridez de 0,05 a 0,20);
- iii) regiões semiáridas (índice de aridez de 0,20 a 0,50);
- iv) regiões subúmidas secas (índice de aridez de 0,50 a 0,65).

No que concerne a regiões semiáridas, Verhey (2009, p.9) ressalta a características de variabilidade interanual relativamente baixa da precipitação média anual dessas áreas: entre 300-400 milímetros (mm), no regime de chuvas de inverno, e; 700-800 mm, no regime de precipitação de verão.

Já Bizikova *et al.* (2015, p.1) destacam que áreas semiáridas estão presentes em cinco dos seis continentes do mundo, com exceção da Antártida, e são identificadas em diversos países e regiões da África, da Ásia Central e da América Latina, as quais concentram aproximadamente 15% da população mundial e cerca de 15% da área terrestre do planeta. Essas regiões se caracterizam pelas diversidades ecológica e cultural, pela variabilidade climática e pela dependência de atividades tradicionais de subsistência. Em muitas dessas áreas, a população é pobre e marginalizada, altamente dependente dos meios de subsistência, derivados da base natural de seus recursos, principalmente, através da produção vegetal e da pecuária. Isso resulta em inter-relações estreitas entre os seres humanos e o ambiente natural.

Na Ásia, a área semiárida do norte da China é responsável por 11% das terras aráveis (ZHANG *et al.*, 2015, p. 2), no Irã mais de 50% do território se localiza em áreas áridas e semiáridas que levam à baixa densidade de carbono orgânico no solo, devido à falta de umidade e a processos evolutivos lentos (MALEKI *et al.*, 2017, p.221). Em Israel, parte do semiárido é marcado por oscilações sazonais relativamente previsíveis, porém, um estado climático rápido e imprevisível, mutável e fortemente dependente da direção dominante dos ventos, soprados dos desertos vizinhos e acompanhados por variações acentuadas no estado meteorológico e no transporte de grandes volumes de ar do deserto. Uma brisa moderada da tarde flui do Mar Mediterrâneo quase todos os dias do ano. Uma característica da massa de ar do leste e do Mar Vermelho é o aumento da pressão na camada superior do ar, impedindo a transferência vertical dos poluentes e forçando-os a permanecer perto do solo, situação essa extremamente prejudicial para as pessoas com problemas respiratórios e cardíacos (YACKERSON *et al.*, 2011, p. 404).

No continente europeu, a Espanha é o país de maior área semiárida, com constantes conflitos regionais sobre o acesso e aproveitamento de seus recursos hídricos (LOPEZ-GUNN *et al.*, 2012, p.83). A parte central da Península Ibérica apresenta clima semiárido, com uma precipitação média anual de 586 mm ano e a maioria dos eventos de chuva concentrados na primavera e outono; a diferença, nas precipitações entre os anos, pode ser alta com os anos mais secos, aproximadamente 300 mm ano e os anos mais úmidos, aproximadamente 900 mm ano (BALUGANI *et al.*, 2017, p.56).

No continente africano, as regiões semiáridas e áridas ocupam quase dois terços da África do Sul. Os padrões anuais de precipitação podem ser considerados intermitentes, com uma variabilidade espacial significativa, devido aos sistemas sinóticos inverno/verão únicos que se manifestam em países mais ao sul do continente. Os eventos de chuvas de verão indicam que períodos de chuvas episódicos, que consistem em até 8 dias consecutivos, podem conter quedas que contribuem com quase 45% a 60% da precipitação anual total de uma área; associados a taxas de chuva relativamente mais altas. Os padrões de chuva, nas regiões semiáridas desse continente, se manifestam como eventos intermitentes, separados por longos períodos de chuvas abaixo da média, referenciados como períodos de seca. Os padrões sinóticos, especialmente para as regiões de chuvas de verão, são altamente irregulares, devido aos diversos controles atmosféricos e geomorfológicos sobre o subcontinente mais ao sul da África. Além disso, as variações orográficas e de temperatura da superfície do solo desempenham um papel importante na distribuição espacial e nas intensidades dos eventos pluviométricos, bem como nas altas perdas de evapotranspiração das superfícies terrestres superaquecidas ($> 50^{\circ}\text{C}$) típico de ambientes semiáridos e áridos (VAN WYK; VAN TONDER; VERMEULEN, 2012, p. 747-748).

Ainda sobre o continente africano, as projeções relativas às mudanças climáticas para o sul do continente sugerem que as áreas secas se tornarão ainda mais secas e as chuvas mais erráticas, onde a produção de alimentos, em ambientes semiáridos, poderá ser afetada diante da mudança global do clima, especialmente para o milho. O milho é a cultura básica da região, apesar de sua necessidade de água relativamente alta e regular, esse cultivo está substituindo cada vez mais o sorgo e o milheto, culturas que estão melhor adaptados às condições da África Austral. O aumento da variabilidade das chuvas no continente não apenas diminuirá a produção geral de alimentos, mas provavelmente exacerbará os efeitos negativos dos padrões sazonais de insegurança alimentar.

Grande parte mais ao sul da África já sofre de escassez de alimentos entre o final

dos estoques de alimentos da colheita do ano anterior e a próxima colheita. O padrão de períodos sazonais de fome foi reconhecido como um dos principais determinantes da pobreza, porque limita as escolhas sobre educação e trabalho, força a venda de ativos para comprar alimentos e tem graves consequências para a saúde e nutrição. Os períodos de fome tendem a coincidir com picos nos preços dos alimentos e com o período de alta prevalência de doenças como malária e diarreia, registrado no período chuvoso antes da colheita. A combinação entre uma crise global de alimentos e os efeitos das mudanças climáticas na produção agrícola torna importante o entendimento da dinâmica da sazonalidade e de como a produção de alimentos pode ser melhorada para a segurança alimentar no continente (MILGROOM; GILLER, 2013, p.91).

Na América do Norte, as condições severas de seca, no sul do Texas, causaram o esgotamento dos recursos de água doce e aumentaram o teor de salinidade nas águas e aquíferos superficiais. Laguna Madre, um ecossistema costeiro naturalmente hipersalino, localizado na área, é uma das três grandes lagoas hipersalinas do mundo. Isso se deve a fluxos insignificantes de água doce e pouca conexão com o Golfo, levando a altas taxas de acumulação de sal durante eventos de alta evaporação. A maioria dos estudos, no sul do Texas, mostra que as vias navegáveis prejudicadas são o resultado de altos níveis de bactérias ou outros micróbios, depleção de oxigênio dissolvido e aumento dos níveis de salinidade. As taxas médias anuais de precipitação e evaporação são, em média, 74 centímetros ao ano e 90 a 115 centímetros ao ano, respectivamente. No entanto, as taxas de evaporação podem chegar a 150 cm/ano durante os períodos de seca, quando a perda líquida anual de umidade é de aproximadamente 31 cm/ano (BIGHASH; MURGULET, 2015, p. 689-690).

Na América do Sul, a bacia aluvial do rio Salí, situada no noroeste da Argentina, possui vasta área (acima de 1×10^6 km²), que se estende da fronteira do Paraguai, no norte do país, ao platô da Patagônia, no Sul. Sua parte central é a região das cidades mais importantes do país. Um dos maiores obstáculos para o desenvolvimento socioeconômico da bacia é a qualidade dos recursos hídricos disponíveis para a população rural. A alta salinidade e/ou dureza das águas subterrâneas, únicos recursos hídricos presentes em grandes partes de suas áreas, limitam seu uso ao consumo humano. A temperatura média anual na região é de 14 a 18 ° C; em janeiro a temperatura varia entre 19 e 34 ° C. (NICOLLI *et al.*, 2010, p. 5589-5590).

3.2.1. A Região do Semiárido Brasileiro

No Brasil, o termo “semiárido” remete tanto ao Clima quanto à Região (MARIN; SANTOS, 2013, p. 9). O país abriga a maior região semiárida contínua do mundo, sendo também a mais populosa. A região do Semiárido brasileira possui uma área de 1,1 milhão de km², cerca de 13 % da área do país, onde vivem aproximadamente 27 milhões de pessoas (13% da população do Brasil). Essa população supera o total de habitantes de países com clima semiárido semelhante em parte do seu território, a exemplo de Israel, com 9 milhões de habitantes⁶ e Austrália, com 25 milhões de habitantes⁷ (ABS, 2020; CBS, 2020; SUDENE, 2017).

Para delimitação de sua área semiárida, o Brasil considera os seguintes critérios técnicos e científicos: i) precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm; ii) Índice de Aridez igual ou inferior a 0,50; iii) percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano (SUDENE, 2017).

Além dos baixos índices pluviométricos, o semiárido brasileiro se caracteriza por apresentar temperaturas elevadas durante todo ano, baixas amplitudes térmicas, forte insolação e altas taxas de evapotranspiração, que ultrapassam os 2.000 milímetros por ano, superando os totais pluviométricos irregulares, configurando taxas negativas no balanço hídrico (ANA, 2016, p. 28). Esse descompasso entre volume de chuva e evaporação cria um déficit hídrico que perdura em muitos municípios durante o ano inteiro. Além disso, existe a característica de má distribuição das chuvas no tempo e no espaço geográfico. Mesmo nos períodos chuvosos, existe irregularidade espacial entre os locais. Porém, de fato, não existe ano sem chuva. Nos anos mais secos, é incomum precipitação média abaixo de 200 milímetros por ano.

A respeito das regiões semiáridas no mundo, elas não só apresentam características climáticas e biogeográficas relativamente homogêneas, o que pode facilitar a troca de informações e análise para diversos objetivos, mas também características peculiares pertinentes à sua localidade, como distintos níveis de desenvolvimento econômico.

O PIB *per capita* de 2017, atualizado em dólares americanos, disponibilizado pelo Banco Mundial ⁸(BANCO MUNDIAL, 2020), revela diferentes níveis de

⁶ Consulta atualizada em setembro de 2020.

⁷ Consulta atualizada em março de 2020

⁸A consulta para encontrar o PIB *per capita* considerou o indicador PIB per capita (US \$ atual) (NY.GDP.PCAP.CD).

desenvolvimento econômico entre países com parte do território em área semiárida, conforme pode ser observado nas Figura 2.

Nela se verifica o PIB *per capita* de países sob influência de clima semiárido. Ao considerar apenas o PIB *per capita*⁹ registrado na Região do Semiárido Brasileiro, verifica-se que ele se encontra em valor abaixo do registrado em países com baixo desenvolvimento econômico, a exemplo do Iraque, do Irã, do Turquemenistão, da Namíbia e da Argélia.

Essa situação se justifica pela alta concentração de municípios com PIB *per capita* inferior a US \$ 4.000 na Região do Semiárido Brasileiro. Em 2017, o Brasil registrou PIB *per capita* de US \$ 9.925, valor 258% maior do que o registrado para a Região do Semiárido Brasileiro, US \$ 3.850, nesse mesmo ano.

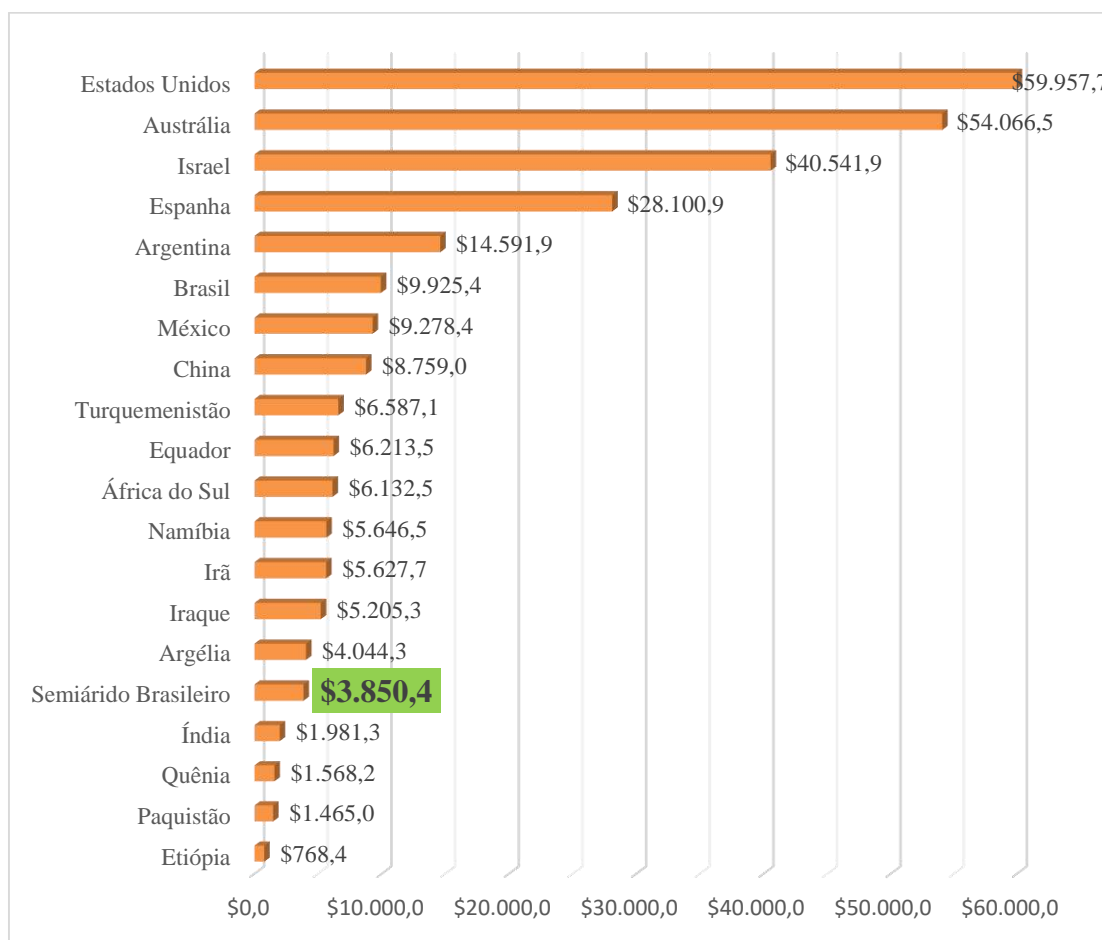


Figura 2 – PIB *Per capita* de 2017 de países com área semiárida em parte do seu território.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do (WORLD BANK, 2020).

⁹O Valor do PIB *per capita* 2017 para a Região do Semiárido considerou como câmbio a razão entre o valor do PIB *per capita* 2017 do Brasil informado pelo IBGE em reais (R\$) com o valor informado em dólares americanos (US \$) informado pelo (WORLD BANK, 2020) ($R\$ 31.833,50 \div US \$ 9.925,4 = 3,207$, $R\$ 12.349,23/3,207 = US \$ 3.850,4$).

A diferença entre o grau de desenvolvimento econômico no território brasileiro fica mais evidente ao analisar a Figura 3, na qual se encontra apresentado o PIB *per capita*, no ano de 2017, valores incorporados aos polígonos de acordo com o levantamento feito pelo IBGE dos municípios brasileiros. Esses valores se encontram distribuídos em oito intervalos, a partir de dados disponíveis no Atlas Nacional Digital do Brasil (ANDB) do IBGE e a delimitação da região semiárida (IBGE, 2019a; INSA, 2019).

Percebe-se, a partir da Figura 3, que, para na Região do Semiárido Brasileiro, as cores laranja são predominantes, por consequência um registro de PIB *per capita* inferiores. Já a parte central e sul do país apresenta a maior concentração de cores verdes, região de maior PIB *per capita*. No geral, os municípios do centro-sul apresentam um maior desenvolvimento econômico, de forma oposta ao verificado do norte e nordeste do país, revelando um comportamento assimétrico do processo de desenvolvimento nacional, bem como da apropriação de seus benefícios.

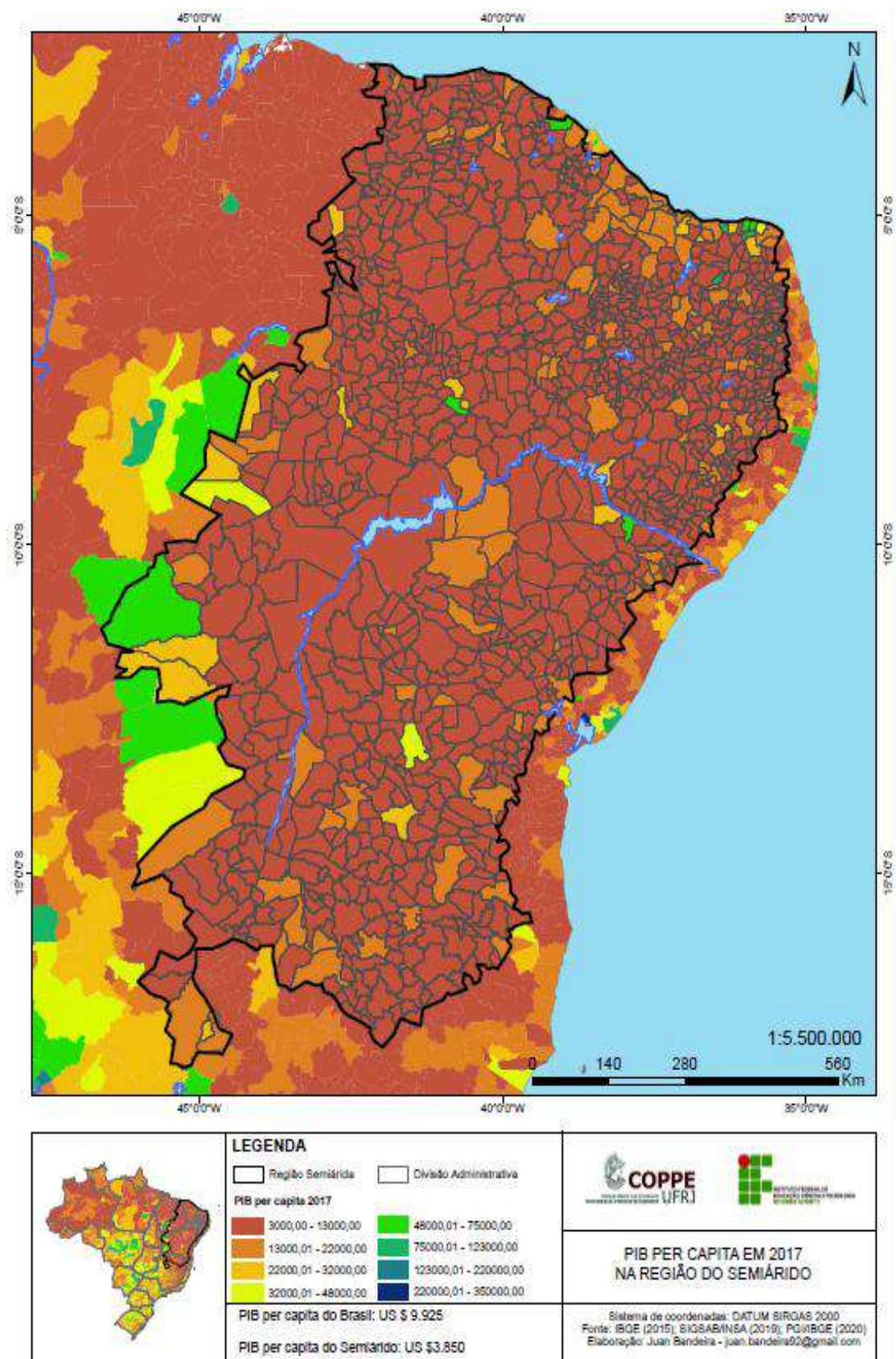


Figura 3 – Distribuição do PIB *per capita* em 2017 dos municípios brasileiros em oito faixas de valores.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do (IBGE, 2019)

No Brasil, a localização da região semiárida abrange o território de 10 Estados, abrigando 1.262 cidades, sendo 85 localizados na região Sudeste (norte do Estado de Minas Gerais) e o restante, 1.171 municípios – 93% das cidades brasileiras localizadas na região semiárida – distribuídas em todos os Estados da região Nordeste. Região que abriga 89% dos 1.128.697 km² correspondentes à área do semiárido brasileiro. O Semiárido Brasileiro está vinculado à Região Nordeste e vice-versa.

3.2.2. O Nordeste Brasileiro

O Nordeste é uma das cinco regiões brasileiras, dividida segundo aspectos naturais, sociais, culturais e econômicos. É a região com mais Estados, nove (09) no total, ocupando o terceiro maior território do país, 1.544.291 km², cerca de 18% da área do Brasil (IBGE, 2020a). Estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019b) mostram que em julho de 2019, a região contabilizava uma população de 57.071.654, o esquivamente a 27% de toda a população brasileira. Esse número coloca o Nordeste como a segunda região mais populosa do país, atrás apenas da região Sudeste, com 88.371.433 habitantes.

Entre 1970 e 2010, a população brasileira quadruplicou no intervalo, a nordestina triplicou, sendo fruto de diferenciais entre as taxas de crescimento. Isso pode ser creditado a componentes da dinâmica demográfica, como: fecundidade, mortalidade e migração. A redução dos níveis de fecundidade regional é expressiva e fez com que a região passasse da condição de níveis de fecundidade extremamente altos para níveis nos quais não há crescimento de médio e longo prazo na população, porquanto os nascimentos gerados pelas mulheres nordestinas permitem apenas que a população seja reposta a cada momento do tempo e redução absoluta de população em futuro próximo. A taxa de mortalidade infantil da Região Nordeste foi a maior, assim como, a distribuição de pessoas nascidas com residência fora de sua Região de nascimento, no período considerado (MOREIRA; FUSCO, 2015).

Entre 2011 e 2019, a região Nordeste apresentou percentual de estimativa de crescimento populacional de 6,67%, enquanto o Brasil registrou uma estimativa no crescimento do número de habitantes de 9,24% (IBGE, 2020b). Um dos motivos para o menor percentual de estimativa de crescimento populacional está associado a programas do Governo Federal de transferência de renda. A Região Nordeste foi a mais favorecida

com o auxílio do Programa Bolsa Família¹⁰. Os diferenciais de renda influenciam os índices de fecundidade, e a ordem de proporção dos recebimentos desse auxílio pelas Grandes Regiões brasileiras combina com as proporções de queda da fecundidade nas localidades. Essa constatação pode indicar que a transferência de renda por intermédio do programa, mesmo não sendo referente a altas somas de valores, pode impactar na fecundidade (CARMO; CAMARGO, 2018, p. 23).

Para Esteves, Bernardo e Junior (2018, p. 6), a expectativa é que ,até 2040, a população da Região Nordeste deverá crescer para 60 milhões de habitantes, caindo até atingir, em 2060, 57 milhões. Antes de 2048, oito dos nove Estados deverão ter redução no número de habitantes, sendo resultado da queda da taxa de fecundidade e do saldo migratório negativo. No Brasil, a taxa de fecundidade total para 2018 foi de 1,77 filho por mulher. Em 2060, o número médio de filhos por mulher poderá cair para 1,66. No Nordeste, a estimativa para 2018 foi de 1,75 filho por mulher, enquanto as projeções para 2060 apontam para 1,66 filho por mulher

Essa dinâmica demográfica do Nordeste está acompanhada de indicadores que justificam um grau de desenvolvimento inferior para essa Região em relação as demais, como: i) menor Índice de Desenvolvimento Humano Municipal; ii) menor PIB *per capita* e; iii) menor percentual de domicílios particulares com acesso à rede geral de água.

De acordo com publicação do PNUD, IPEA e FJP (2016), que analisa Desenvolvimento humano nas macrorregiões brasileiras, nas últimas três décadas, a região Nordeste foi a que menos reduziu a quantidade de municípios nas faixas de desenvolvimento humano baixo ou muito baixo, considerando os resultados do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM)¹¹. Em 1991, todos os municípios nordestinos estavam na faixa de baixo ou muito baixo Desenvolvimento Humano. Passada uma década, a situação permaneceu quase inalterada, apenas 1% de seus municípios avançaram no IDHM. Essa realidade mudou a partir de 2010, quando 38% dos municípios da região Nordeste deixaram essa na faixa de Baixo Desenvolvimento Humano, uma redução significava, porém, a menor quando comparada com as outras regiões do país.

¹⁰ O Programa Bolsa Família é uma transferência condicionada de renda, no qual são realizadas transferências em dinheiro para famílias, de forma focalizada e condicionada (as famílias devem cumprir compromissos, em geral em saúde e educação, para receberem seus benefícios) (SOUZA *et al.*, 2019, p. 7).

¹¹ É importante destacar que mesmo ao consultar o site do IBGE no exercício corrente, os dados sobre o IDHM mais atualizados consideram como referência o ano de 2010.

Ao considerar os indicadores que compõem o IDHM, a saber: Longevidade (esperança de vida ao nascer), educação e renda. A longevidade e a renda *per capita* contribuíram para a melhora na faixa de desenvolvimento humano de municípios do Nordeste Brasileiro, isso pode ser creditado à redução na taxa de mortalidade e a programa de transferência de renda como Bolsa Família. A Tabela 1 apresenta o percentual dos municípios com baixo desenvolvimento humano por região brasileira para aos anos de 1991, 2000 e 2010.

Tabela 1. Percentual dos municípios com Desenvolvimento Humano baixo entre 1991 e 2010, divididos por regiões do Brasil.

ANO	1991		2000		2010		Δ
REGIÃO	Municípios	%	Municípios	%	Municípios	%	%
Norte	449	100%	439	97,8%	198	44,0%	-55,9%
Nordeste	1794	100%	1777	99,0%	1113	62,0%	-38,0%
Sudeste	1641	98,4%	833	49,9%	768	46,1%	-53,2%
Sul	1174	98,8%	542	45,7%	405	44,1%	-65,5%
Centro-oeste	464	99,6%	389	83,5%	275	59,0%	-40,7%

Fonte: Elaboração própria a partir de dados extraídos do (PNUD; IPEA, 2016)

Em relação ao desenvolvimento econômico, o PIB *per capita* da Região Nordeste acompanha o baixo índice de desenvolvimento humano. Para esse indicador econômico, entre 2006 e 2018, o PIB *per capita* brasileiro foi aproximadamente o dobro do registrado para a Região Nordeste, conforme Figura 4, onde é possível observar a situação de desigualdade entre o PIB *per capita* do Nordeste e o país. Enquanto o PIB *per capita* do Brasil cresceu de US \$ 5.947 para US \$ 8.972, no nordeste brasileiro, este registrou um crescimento de US \$ 2.778 para US \$ 4.395, mantendo PIB *per capita* abaixo da metade do país. No período considerado, a moeda americana (US \$) valorizou 68% em relação ao real (R\$), nesse período o Brasil apresentou uma tendência de alta do PIB *per capita* a partir de 2006, atingindo o seu maior valor em 2011, passando de 1,1 para 2,6 bilhões de dólares, seguido de um período de estabilidade entre 2012 e 2014 com o PIB em aproximadamente 2,4 bilhões de dólares, depois, registrou uma significativa redução em 2015 de 27% (em relação 2014), passando para 1,8 bilhões de dólares, em seguida oscilou em 2016 e 2017 somando 1,7 e 2 bilhões dólares, respectivamente, por fim, voltou a ter redução em 2018, somando 1,8 bilhões em 2018, redução de 9% (em relação a 2017). Entre 2014 e 2016, a moeda americana valorizou 48% em relação à moeda brasileira (IPEA, 2020; WORLD BANK, 2020).

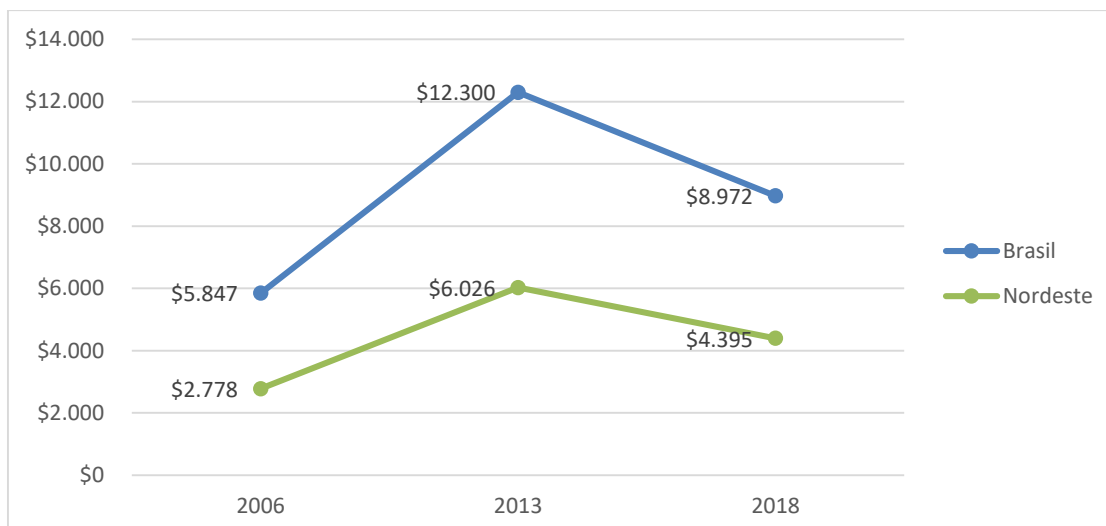


Figura 4 - Evolução do PIB *per capita* em US \$¹ do Brasil e da Região Nordeste entre 2006 e 2018.

¹Os valores foram convertidos com base na média anual do câmbio do dólar americano (IPEA, 2020)

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do (IBGE, 2020b).

Além do baixo Índice de Desenvolvimento Humano e PIB *per capita*, a Região Nordeste apresenta um desenvolvimento inferior em relação ao país, no que concerne à infraestrutura hídrica para abastecimento regular de água. O percentual de domicílios particulares permanentes, adequados para moradia com acesso à rede geral de água, é o segundo menor. A partir da Tabela 2, pode-se observar o comportamento do percentual de domicílios particulares com acesso à rede geral de água, no período de 2004 a 2015, revelando que a região Nordeste se encontra em uma situação de maior vulnerabilidade na saúde pública, em termos de doenças relacionadas à água, em relação às demais, com exceção da região Norte neste critério (IBGE, 2020b).

Esse comportamento, no percentual de domicílios particulares com acesso à rede geral de água, pode ser creditado à transição urbana da população na Região Nordeste e, conseqüentemente, à formação de cidades grandes e médias.

Tabela 2. Percentual de domicílios particulares com acesso à rede geral de água entre 2004 e 2015, por região do Brasil.

REGIÕES	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2011	2012	2013	2014	2015
Norte	54,4	53,5	54,7	53,1	56,3	56,7	56	58,6	58,2	60,3	60,2
Nordeste	73,2	73,9	75,1	72,8	78	78	80	81,9	79,2	79,9	79,7
Sudeste	91,4	91,4	91,9	90	91,8	92,3	91,1	93,5	91,9	92,1	92,2
Sul	83,8	83,9	84,7	81,8	84	85,3	86,8	88,9	88	87,9	88,3
Centro-Oeste	78,9	78,2	79,6	75,8	81,4	83	86	86,3	84,6	85,2	85,7

Fonte: (IBGE, 2020b)

Nesse contexto, o registro de um menor desenvolvimento socioeconômico, menor percentual de acesso dos domicílios à rede de abastecimento de água, bem como de menor volume de recursos hídricos disponíveis, na Região Nordeste, a seca – um fenômeno climático que configura uma condição de vulnerabilidade para a região do país que mais convive com essa característica natural – é apontada como uma das justificativas recorrente às desigualdades socioeconômicas verificadas entre as regiões do país, justificativa rechaçada nessa Tese, por se tratar de um evento natural recorrente, cíclico, inerente à convivência com as características naturais permanentes, que precisa ser melhor compreendido e não combatido no planejamento e governança dos recursos hídricos. Quando se fala de seca no Nordeste, normalmente, está se referindo ao seu semiárido. (DE NYS; ENGLE; MAGALHÃES, 2016, p. 20-21).

O estágio atual de desenvolvimento socioeconômico da região Nordeste não é resultado de um fenômeno climático recorrente ou características naturais, mas sim de escolhas do poder público em um plano nacional e sua base estrutural.

3.3. VULNERABILIDADE NO NORDESTE BRASILEIRO – A SECA E SUA BASE ESTRUTURAL

O subdesenvolvimento, agravado por um ambiente natural onde se registram frequentes fenômenos climáticos de seca e estiagem prolongada, impulsiona uma condição de vulnerabilidade na Região do Semiárido Brasileiro, território que abriga uma população desfavorecida economicamente. Nesse sentido, adota-se a compreensão de vulnerabilidade, associada ao ambiente natural e aos envolvidos (famílias e instituições), presente no contexto atual, adicionada ao potencial risco de incremento, em termos de intensidade e frequência, de registros de eventos extremos de seca em cenário de mudança do clima global.

Associam-se a essa abordagem as características internas do sistema humano, vista em dimensões socioeconômicas, políticas e institucionais (CAVALCANTI, 2015, p. 28), com a inclusão da dimensão ecológica na composição da condição de vulnerabilidade, “admitindo o território como um constitutivo que atua ou não no aprofundamento das desigualdades, permitindo, assim, a inserção do conceito de vulnerabilidade em um contexto de sistemas socioecológicos” (ANAZAWA; FEITOSA; MONTEIRO, 2014, p. 139-140).

Para Lindoso (2017), o reconhecimento analítico de uma natureza, na qual o

humano e o ecossistema são empiricamente indissociáveis, é sintetizado nos termos *sistemas socioecológicos* e *sistemas acoplados humano-ambiente*, usados como sinônimos, relacionado o conceito de vulnerabilidade com sistema socioecológico na busca da compreender as relações da sua capacidade adaptativa,

[...] na literatura da vulnerabilidade, o emprego de *sistema socioecológico* não implica em compromissos teóricos, apenas destaca que as condições e os processos observados são produtos da interação entre subsistemas humanos e naturais. A pesquisa sobre vulnerabilidade de sistemas socioecológicos, antes de compor uma linha teórica coesa, comporta um conjunto de perspectivas que transitam entre abordagens mais sociais e abordagens mais biofísicas.

...a abordagem da vulnerabilidade não se restringe a caracterizar distúrbios e propensões a impactos. Busca também compreender condições e relações da capacidade adaptativa. Aqui, elementos do subsistema ecológico costumam ser analisados como fonte de opções adaptativas, Já o subsistema social é visto tanto como fonte de opções adaptativas (tecnologias e comportamentos) quanto analisado como meio (recursos financeiros e instituições) que viabiliza o acesso às opções adaptativas (LINDOSO, 2014).

Trata-se de uma abordagem mais sistêmica sobre as especificidades locais, na qual a abordagem socioecológica reconhece o sistema local como uma unidade biogeofísica¹² complexa, com atores sociais e instituições associadas. Para ambientes suscetíveis à ocorrência de secas, não examina, apenas, os impactos desse fenômeno natural em um sistema, mas também leva em consideração quais ferramentas estão disponíveis para responder, onde lidar com a seca incluirá o desenvolvimento de políticas, programas e gestão com o conhecimento dos impactos sociais, econômicos e ecológicos desse fenômeno natural e um entendimento completo da capacidade dos indivíduos e instituições em nível local (BROWN *et al.*, 2016).

A seca representa a falta de água para a agricultura, consumo humano e dessedentação animal domésticos e selvagens, a qual provoca consequências como: i) perda da safra agrícola; ii) aumento do desemprego e fome; iii) em casos extremos, perdas de vidas; iv) mortandade de animais silvestres; iv) exaustão de fontes de água; vi) degradação ambiental e a desertificação. O fenômeno se agrava quando se associa também “aos solos rasos sobre uma base cristalina em grande parte do Semiárido, o que resulta em rios intermitentes” (DE NYS; ENGLE; MAGALHÃES, 2016, p. 23).

Os rios intermitentes, dependentes dos períodos de chuvas para apresentar água

¹² Um termo composto frequentemente usado para abranger, em uma palavra, referência a todos os materiais, processos e relacionamentos que ocorrem naturalmente e que operam em uma área. O termo "biogeofísico" é aproximadamente equivalente ao ecossistema natural e às funções do ecossistema de uma área de planejamento. A palavra foi construída partindo do pressuposto de que todos os objetos e processos naturais que operam em uma área podem ser classificados como biológicos ou geológicos ou físicos.

em seu curso, reforçam a vinculação das atividades humanas ao ciclo hidrológico na região. Dentre os fatores que contribuem para a baixa disponibilidade hídrica da Região do Semiárido Brasileiro, podem-se listar: i) solos rasos e com baixo armazenamento de água; ii) temperatura e evaporação elevadas e; iii) baixa decomposição de rochas e poucas fraturas.

Períodos de Secas não se revelam como uma condição recente, e sua ocorrência não pode ser encarada como uma surpresa. Não se trata de se irá ocorrer, e sim de quando irá ser registrado um evento. De acordo com Machado (2018, p. 113), eventos da seca são mais um aspecto que integra um conjunto de estresses da Região Semiárida Brasileira, no qual se consideram a má alocação de recursos públicos, o esgotamento de recursos naturais, o sistema político tendencioso e mentalidade de “combater” em vez de se “conviver” com as secas. Prevê-se que a mudança do clima exacerba essa vulnerabilidade, aumentando a escassez de água, impactando no ambiente natural, de forma a contribuir na aceleração dos processos de desertificação e transformação da diversidade biológica.

Compreender e monitorar o fenômeno das secas como um evento cíclico, presente no Região do Semiárido Brasileiro, contribui para o planejamento de ações orientadas a mitigar os efeitos danosos da eventual redução do volume dos recursos hídricos, resultantes de um menor volume de precipitações.

Nesse contexto, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico implementou, em 2014, o programa Monitor de Secas com o objetivo de melhorar a política e gestão de seca, através de uma resposta concertada, envolvendo todas as esferas administrativas – federal, estadual e municipal –, atuando não só de forma emergencial, mas também proativa no longo prazo. Visa, portanto, identificar o estado de severidade da seca e sua tendência de duração, em suas dimensões meteorológica, hidrológica e agrícola, constituindo-se em um instrumento de apoio à tomada de decisão e de preparação de respostas ao fenômeno. A Tabela 3 apresenta as categorias de secas e seus impactos associados, utilizados pelo Monitor de Secas com forma de melhor definir e caracterizá-las (CGEE, 2016).

Tabela 3. Classificação de Severidade da Seca adotado pelo Monitor de Secas.

Seca Fraca (S0)	Entrando em seca: veranico de curto prazo diminuindo plantio, crescimento de culturas ou pastagem. Saindo de seca: alguns déficits hídricos prolongados, pastagens ou culturas não completamente recuperadas.
Seca moderada (S1)	Alguns danos às culturas, pastagens; córregos, reservatórios ou poços com níveis baixos, algumas faltas de água em desenvolvimento ou iminentes; restrições voluntárias de uso de água solicitadas.
Seca Grave (S2)	Perdas de cultura ou pastagens prováveis; escassez de água comuns; restrições de água impostas.
Seca Extrema (S3)	Grandes perdas de culturas/pastagem; escassez de água generalizada ou restrições
Seca Excepcional (S4)	Perdas de cultura/pastagem excepcionais e generalizadas; escassez de água nos reservatórios, córregos e poços de água, criando situações de emergência.

Fonte: (ANA, 2020a)

Desde o início do monitoramento da variabilidade climática, através do Monitor de Secas, na Região Nordeste, entre julho de 2014 e maio de 2020, os meses de janeiro e dezembro, no período de dezembro de 2015 e janeiro de 2018, registraram a maior elevação da condição de seca extrema e seca excepcional, intensificando a escassez de água nos reservatórios, córregos e poços de água, criando situações de emergência. A Figura 5 registra a incidência do grau de severidade da seca no nordeste brasileiro entre 2014 e 2020, a partir dela, é possível identificar o grau de severidade da seca mensal e, com base na Tabela 3, associar possíveis impactos na região em cada mês do período considerado (ANA, 2020a).

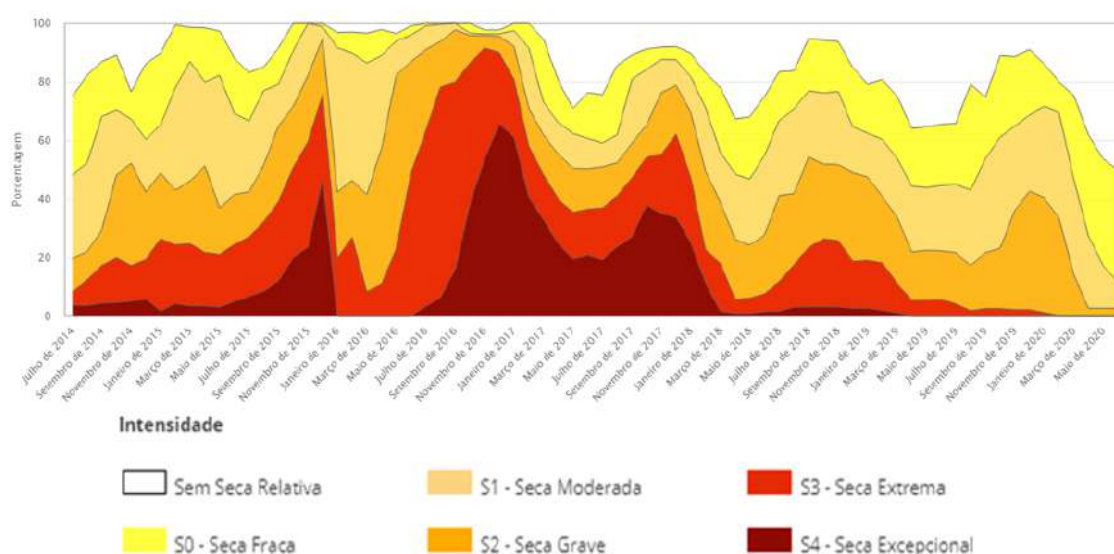


Figura 5 - Incidência do grau de severidade da seca no Nordeste brasileiro entre julho de 2014 e maio de 2020.

Fonte: (ANA, 2020)

As oscilações do clima, resultando em um baixo regime de precipitação e escassez hídrica, induzem a uma necessária estratégia de convivência com a seca. Historicamente essas estratégias de convivência com a seca incluem:

- i) Construção de reservatórios de diferentes capacidades para estocar e atender a diversos usos da água, sejam eles consuntivos ou não (ANA, 2016, p. 28);
- ii) Infraestruturas hídricas como adutoras e canais de integração (BARBOSA, 2013, p.4).

Tais alternativas se mostram suscetíveis aos cenários de variabilidade natural do clima, bem como dos efeitos das mudanças climáticas (PBMC, 2014, p. 351). Portanto, grandes obras hídricas para “combater” a seca, baseadas na construção de açudes, barragens e adutoras, podem se tornar “grandes” opções temporárias ou cíclicas, a depender do regime de precipitação, da variabilidade climática e dos interesses políticos presentes nas concepções dos projetos implementados.

Como o volume de água registrado nos reservatórios é altamente sensível ao regime de chuvas, bem como, a evapotranspiração local, em períodos de secas ou estiagem prolongados, alguns reservatórios perdem a capacidade de suprir a demanda hídrica, ou seja, a obra hídrica pensada para regularizar o abastecimento de água para consumo humano entra em colapso.

Na região Nordeste, é possível identificar uma condição de baixa disponibilidade hídrica entre o volume acumulado e a capacidade equivalente dos seus reservatórios. A Figura 6, que apresenta o reservatório equivalente¹³ da região Nordeste entre 2011 e 2020, comparando o mês de janeiro dos últimos 10 anos. Nela se pode observar que o nível do reservatório equivalente do Nordeste apresenta uma significativa redução a partir de 2013, e passa a registrar um o volume acumulado abaixo de 20% da capacidade equivalente, a partir de 2016. Em janeiro de 2018, atinge seu nível mais crítico, coincidindo com o período de maior severidade na incidência do grau da seca na região.

¹³ Reservatório abstrato que representa a soma do volume de todos os aproveitamentos (ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2020c)

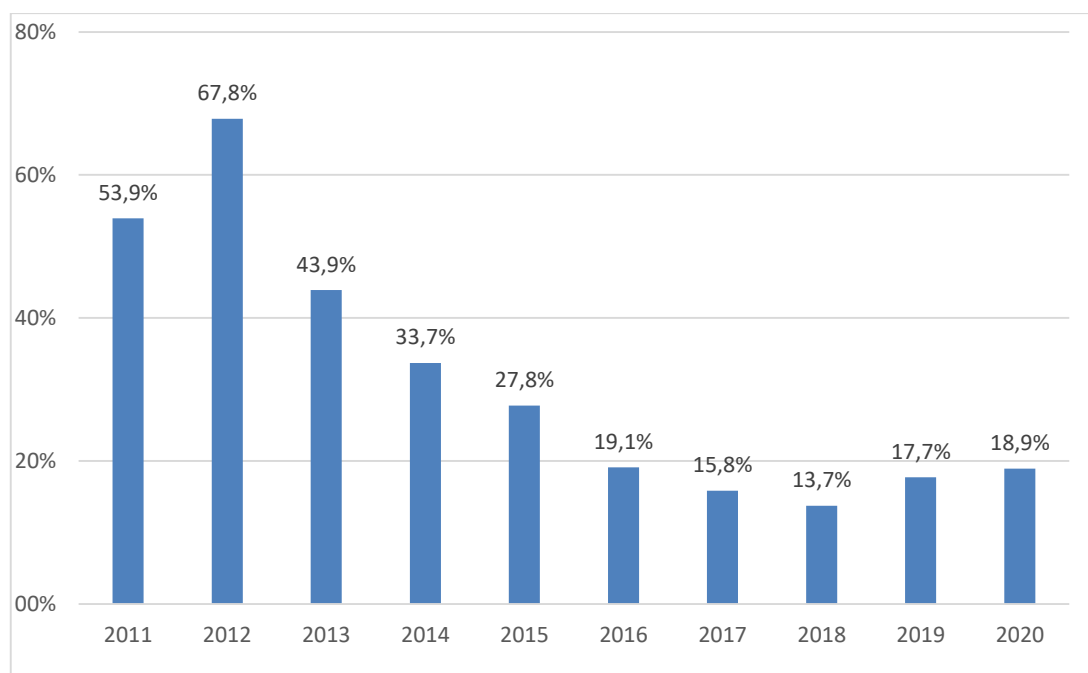


Figura 6- Reservatório Equivalente do Nordeste¹ entre 2011 e 2020.

¹Relatório Equivalente do Nordeste considerando o dia 15/01 de janeiro de cada ano.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da (ANA, 2020b).

A ocorrência de secas no nordeste brasileiro possuem registro desde o período colonial, quando a densidade demográfica era baixa e não se historiavam degradações de origens antrópicas. A presença do fenômeno demonstrava a vulnerabilidade hídrica da região, situação que foi se tornando ainda mais crítica para as comunidades que ali se estabeleceram (ANDRADE, 2017, p. 34). Os primeiros registros oficiais sobre a seca no semiárido brasileiro foram datados no final do Século XVI, porém, ainda não foram, no século XXI, implementadas ações capazes de acabar com a situação de miséria vivida por grande parte da população que habita essa região. Desde os primórdios da colonização do Brasil, inúmeras propostas de alternativas foram lançadas, porém, sem haver, contudo, uma preocupação constante com outras medidas de caráter preventivo. E assim, a cada ocorrência de uma “nova seca”, está outra vez preparado o cenário para o retorno de problemas sociais. (MACHADO; DIAS; SILVA, 2017, p. 96). A Tabela 4 apresenta a evolução das estratégias de enfrentamento à seca ao longo dos últimos séculos, nela se pode observar como as medidas foram evoluindo, desde o século XVIII até o século XXI.

Tabela 4. Evolução de medidas de combate e de convivência com a seca no semiárido.

Século	Obras e ações
XVIII	Distribuição de alimentos Distribuição de terras Construção de barragens
XIX	Distribuição de alimentos Importação de camelos Construção de barragens Implantação de poços
XX	Distribuição de alimentos Frentes de trabalho Transporte de água com carro tanque Construção de barragens Implantação de poços Perímetro irrigado Dessalinização de águas Reaproveitamento de águas servidas Transposição de águas entre bacias Implantação de Barragens subterrâneas Implantação de cisternas
XXI	Distribuição de alimentos Transporte de água com carro tanque Construção de barragens Implantação de poços Perímetro irrigado Dessalinização de águas Reaproveitamento de águas servidas Transposição de águas entre bacias Implantação de Barragens subterrâneas Implantação de cisternas

Fonte: Adaptador de (MACHADO; DIAS; SILVA, 2017)

A concentração de pessoas na região foi viabilizada pela presença de açudes e barragens que armazenam os excedentes de água contabilizados nos períodos úmidos, para uso nos períodos de estiagem. A política de açudagem foi a principal maneira de se lidar com a seca no Semiárido ao longo de vários anos. Nesse contexto, no que concerne ao processo de conformação das desigualdades vivenciada no desenvolvimento socioeconômico desigual da Região Nordeste, fundamentalmente pautado na liturgia da seca, pode-se ajuizar que a escassez de água na região não se limita a fatores climáticas como o fenômeno natural da seca,

mas envolve também aspectos estruturais nos quais se interligam condicionantes naturais e antrópicas, o que requer uma atuação integrada do poder público e sociedade para a solução dos problemas que ainda persistem na região (ANDRADE, 2017, p.34).

Celso Furtado refuta a tese que credita as desigualdades econômicas e sociais do Nordeste à ocorrência das secas, bem como a visão de que o subdesenvolvimento é uma etapa do processo de desenvolvimento econômico. Ele também criticou a opção pela construção de açudes como solução hidráulica para o enfrentamento da seca,

pois beneficiava apenas os proprietários de terra, e que o subdesenvolvimento decorria de uma relação de duplo efeito de transferência de renda do Nordeste para o Centro-Sul do Brasil e de impedimento do processo de industrialização do primeiro (DINIZ, 2009, p. 238).

Esse efeito duplo consistia na transferência de superávits comerciais auferidos na região para fora do seu território, como forma de garantir importações de outras regiões do Brasil. Isso, portanto, mantinha uma economia primária no Nordeste à custa de uma dependência de importação de bens industrializados do Centro-Sul, a preços mais altos que os praticados por outros países, e exportação de matérias-primas e alimentos para este, contribuindo para o crescimento e a concentração industrial na região Centro-Sul. Ante o exposto, o menor desenvolvimento econômico na região resulta de uma formação histórico-estrutural particular, o qual só pode ser superado por transformações estruturais. Celso Furtado considera que os fundamentos históricos estabelecidos no Brasil colônia foram determinantes da dicotomia social da região, onde na faixa litorânea úmida houve a presença de empresa agrícola exportadora de açúcar, baseada em trabalho escravo, que mesmo formalmente extinto no final do século XIX, mantiveram-se relações de trabalho com diferentes formas de semiescravidão e semisservilismo. E o interior serviu de periferia para a economia exportadora, a ela subordinada e dependente (DINIZ, 2009, p. 238).

Além de uma relação entre regiões que moldou um grau de desenvolvimento socioeconômico desfavorável ao nordeste brasileiro. A longo prazo, a intervenção estatal na região para lidar com as secas revela a incapacidade de aprendizado com as experiências anteriores. Ao longo de cinquenta anos, os gestores públicos enfrentaram desafios vinculados aos mesmos fatores climáticos recorrentes na região e concluíram que a economia do Nordeste não pode ser encarada como um sistema resiliente a esse evento extremo.

Verificou-se que as ações voltadas à resistência às secas, focadas nos auxílios emergenciais e nas obras de engenharia mostraram-se falhas ao longo do tempo em melhorar a forma como os efeitos dos choques eram sentidos na região (TUPY E SILVA, 2017, p.31).

A ausência de resiliência às secas na região Nordeste está vinculada à falta de

aprendizagem com as práticas adotadas anteriormente. Para que esses conhecimentos possibilitem uma melhor preparação para períodos de estiagem e seca seguintes, uma situação que compromete a capacidade de adaptação da região para lidar com eventos extremos, é necessário adotar: i) um monitoramento eficiente e contínuo; ii) um planejamento que incorpore a gestão de risco e anteceda a ocorrência dos eventos e; iii) a promoção de estratégias de mitigação de longo prazo (ANA, 2020a).

Outra característica marcante da região Nordeste é a resistência à mudança no ambiente socioeconômico, a exemplo da melhoria dos métodos de produção: a modernização é seletiva e direcionada para a manutenção de um padrão predominantemente tradicional. Portanto,

[...] essa condição de subdesenvolvimento é resultado de uma formação histórico-estrutural relacionada a um processo assimétrico, no plano nacional, de adoção de novas técnicas e tecnologias, priorizando as regiões sul e sudeste (ARAÚJO, 1997, p. 17).

Para reduzir a desigualdade entre as regiões do país, “é necessário intervir regionalmente, reinterpretando as estruturas espaciais e sociais atuais e suas tendências e conjugá-las com os objetivos econômicos, sociais e políticos da nação” (DINIZ, 2009, p. 243-244). Nessa lógica, é possível inferir que as características naturais permanentes e presentes no Nordeste e, principalmente na Região do Semiárido Brasileiro, historicamente, explicam uma condição de vulnerabilidade na segurança hídrica na região, que deve ser levada em consideração no planejamento de ações e políticas públicas, visando ao seu desenvolvimento socioeconômico. Estas não podem ser encaradas como pretexto, para justificar uma condição de subdesenvolvimento imutável.

Interessa então compreender a variabilidade que se expressa nos padrões climáticos atuais, na escala de tempo histórico, responsável por oscilações naturais, que podem ser observados em nível local, regional e global (CAVALCANTI, 2015, p. 28-29).

O clima é variável, assim como os seus impactos sobre o ambiente natural e a socioeconômica das regiões. Nessa perspectiva, é importante entender como irão repercutir os efeitos da mudança global do clima na região. Considera-se que estão em curso alterações na dinâmica climática terrestre, repercutindo regionalmente, e se tornando necessário compreendê-las. Isso permite estruturar melhor as ações que objetivem reduzir as situações de vulnerabilidades, através de uma robusta capacidade adaptativa das comunidades. As mudanças climáticas ameaçam intensificar a

variabilidade do clima presente, mudando os padrões de tempo extremos e introduzindo grande incerteza no abastecimento da água e sua qualidade a longo prazo. A adaptação à variabilidade climática atual também pode ajudar a sociedade a se preparar melhor para o aumento da variabilidade esperada para o futuro (CAVALCANTI, 2015, p. 29 e 40).

Essa vinculação, entre elevação da temperatura global e emissões antropogênicas, reflete a dificuldade existente em separar o efeito das atividades humanas sobre a variabilidade climática natural (ANA, 2016b, p. 17). Nesse contexto, a adaptação às mudanças climáticas é um dos maiores desafios que a humanidade enfrenta, para reverter projeções de maior impacto no setor hídrico, devido à variabilidade do clima em alguns cenários identificados. Serão, portanto, necessárias mudanças no comportamento das sociedades, nos meios de produção e na forma direta de interação entre o homem e o meio ambiente.

Em 2018, cerca de 3,6 bilhões de pessoas ocupavam áreas que apresentam um potencial de escassez de água em pelo menos um mês por ano, sendo 1,8 bilhão de pessoas afetadas pela degradação e/ou pela desertificação e pelas secas, o que torna essa categoria de “desastres naturais” a mais significativa, com base na mortalidade e no impacto socioeconômico relativo ao PIB *per capita* (UN-WWAP, 2018, p. 2).

Para o Brasil, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, por meio do Atlas Brasil, projetou o incremento de 45 milhões de habitantes nas suas cidades e um aumento de 28% na demanda média do abastecimento urbano de água até 2025. Ressalta-se que esse contexto pode ser agravado pelas mudanças climáticas, tanto em termos de demanda como de oferta de recursos hídricos (PBMCI, 2016, p. 61).

Na elaboração dos estudos de vulnerabilidade setoriais à mudança do clima no Brasil, o MCTI (2016, p. 216-220) apresenta expectativas da modelagem hidrológica para o setor hídrico, onde aponta:

- i. A maioria das regiões hidrográficas no país apresentará reduções entre 20% e 40% da disponibilidade hídrica de águas superficiais em bacias com regularização, até o ano de 2070, e acima de 50% da vazão de estiagem;
- ii. As regiões hidrográficas, localizadas na Região do Semiárido Brasileiro, apresentarão situação ainda mais crítica até 2100 em seu Índice de Exploração de Água, o qual relaciona a razão entre a retirada de água total anual e a vazão anual média de longo período;
- iii. Redução da umidade do solo e aumento da sensibilidade das regiões hidrográficas com respeito à variação da precipitação, respectivamente, para a Região Nordeste,

até 2100.

Nesse sentido, o relatório da CGEE (2014, p. 9) também indica o agravamento da situação de restrição hídrica e intensificação das condições de aridez até o final do século para o centro da Região Nordeste. DE JONG *et al.* (2018), a partir de modelos do *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* para determinar a redução média no regime de precipitações até o final do século, apresentam possíveis impactos das mudanças de chuvas até 2100 para o nordeste brasileiro. Afirmam que a redução das chuvas, o aumento dos períodos de secas associado a registros de temperaturas médias mais altas e um aumento antecipado na irrigação, poderão reduzir em até 60% a geração hidrelétrica anual média do rio São Francisco até 2030. Nesse contexto, um processo de desertificação provavelmente ocorrerá no semiárido brasileiro, promovendo um aumento no risco de escassez de alimentos e impacto negativo na produção de biomassa até 2100.

Para Bizikova *et al* (2015, p. 837-838), a mudança global do clima constitui um processo contínuo, que deve ser encarada como um fator de estresse adicional para áreas semiáridas, o que dificultará cada vez mais as vidas e os meios de subsistência das pessoas que moram nestas regiões. A adaptação à mudança global do clima passa pela implantação de esforços adequadamente planejados para assistir as populações semiáridas na redução impactos adversos, gerados pelas mudanças climáticas.

Diante das projeções que indicam uma intensificação na condição de aridez do nordeste brasileiro, Barros (2015, p.122) identificou que as relações entre governança e sustentabilidade das ações de combate à desertificação no contexto do Brasil apresentam baixa efetividade das políticas públicas que atuam sobre o combate à seca e mesmo com um vasto conjunto de iniciativas governamentais sobre a questão, inclusive com ampla participação da sociedade civil, as políticas de combate às secas no contexto brasileiro não são efetivas. É necessário

[...] estabelecer políticas públicas que sejam capazes de impor restrições à territorialização do capital sobre os recursos naturais torna-se o maior desafio para o estabelecimento de uma governança socioambiental direcionada ao desenvolvimento sustentável (BARROS, 2015, p. 122-123).]

Para Machado (2018, p. 9), as políticas públicas para o Nordeste e para a Região do Semiárido Brasileiro estiveram concentradas no combate às secas a partir de grandes obras de engenharia, impulsionando o desenvolvimento da macro infraestrutura, uma abordagem que beneficiou principalmente grandes proprietários de terra, porém, a partir

da década de 1980, a sociedade civil, mais organizada e articulada, começou a buscar alternativas com foco em soluções holísticas para a convivência humana com as condições semiáridas, como políticas voltadas para o uso de tecnologias sociais¹⁴, a exemplo das cisternas. Como resultado, houve melhora nas condições de vida de famílias rurais, estas fortemente dependentes da agricultura de subsistência, bem como atuaram de forma a enfrentar os problemas da seca. No entanto, tais políticas não foram suficientemente orientadas à promoção de resiliência para enfrentar as condições naturais atuais e aquelas esperadas para o futuro, a partir dos efeitos da mudança global do clima.

Quanto mais o país se aparelhar para enfrentar o problema da seca e promover a adaptação às condições semiáridas, mais fácil será a adaptação de setores vulneráveis à mudança global do clima.

Nessa perspectiva, as águas subterrâneas, fontes hídricas armazenadas no subsolo, se apresentam como uma opção para aumento da oferta de água para abastecimento humano. No contexto brasileiro, dentre as águas utilizadas, as águas subterrâneas são pouco aproveitadas. Da retirada total de água dos corpos hídricos para usos consuntivos pelas atividades econômicas em 2017, apenas 1,6% correspondem àquelas advindas dos corpos hídricos subterrâneos (IBGE, 2020, p.3). No entanto, para áreas do nordeste brasileiro, não assistidas pela infraestrutura hídrica convencional proporcionada pelo poder público, as águas subterrâneas, presentes no território semiárido do país, conformam-se em fonte hídrica local, com capacidade para atendimento do consumo humano e da agropecuária familiar, desde que no seu processo de tratamento sejam usadas técnicas e tecnologias adequadas.

3.4. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A condição de baixa disponibilidade hídrica eleva a preocupação em gerir as águas presentes no Nordeste, principalmente em relação às águas subterrâneas disponíveis na Região do Semiárido Brasileiro. Estes recursos se encontram depositados sob a superfície da terra, preenchendo os espaços vazios existentes entre os grãos do solo,

¹⁴ As tecnologias sociais podem ser entendidas como ferramentas, processos e metodologias que são concebidos e desenvolvidos em interação com as comunidades locais, a fim de propor e solucionar problemas socioambientais, podendo contribuir para a inclusão social e a melhoria das condições de vida dessas comunidades (GUALDANI; FERNÁNDEZ; GUILLÉN, 2015, p. 10).

rochas e fissuras. No contexto de restrições à disponibilidade dos recursos hídricos, tais mananciais ganham importância para a oferta e reservação de água, e também como uma alternativa de enfrentamento da seca.

A *International Atomic Energy Agency (AIEA)*¹⁵ estima que a maior parte das águas subterrâneas em regiões semiáridas possui alta salinidade¹⁶, a qual se deve à elevada taxa de materiais terrestres, como solos minerais e rochas e à alta evapotranspiração associada à baixa precipitação que, sem lixiviação¹⁷ adequada para remoção dos sais, eleva a salinidade do solo. Essa condição torna essa água imprópria para o consumo humano (RODRIGUEZ; PRUSKI; SINGH, 2016, p. 1312). A presença de rochas dificulta a infiltração de água e contribui na formação de solos rasos, consequentemente, facilitando a concentração de sais solúveis nas águas subterrâneas.

Para Bastos (2004, p. 2), a Região Semiárida nordestina possui risco de salinização, relacionado à concentração de sais que estão no perfil do solo e que podem ser transportados pela água para o lençol subterrâneo, podendo ocorrer de forma natural ou de forma induzida, o que torna importante o manejo ambientalmente indicado de água e do solo visando ao controle da salinização.

A salinização dos solos pode sobrevir do processo natural, assim como por processo induzido. O processo natural ocorre onde quando o déficit hídrico intensifica a evaporação, principalmente nas regiões de clima árido e semiárido, e pode ocorrer de diversas formas: através da fragmentação e decomposição das rochas; pelo escoamento superficial e subterrâneo da solução do material intemperizado; devido ao movimento das encostas para as planícies, carreando os sais solubilizados das rochas; através do aumento da concentração por causa da evaporação da água; pela deposição de sais transportados pela maresia e intrusão do mar.

O processo induzido tem caráter antrópico, estando ligado, sobretudo, ao manejo inadequado da irrigação e/ou drenagem, ou até mesmo ausência de drenagem dos solos, especialmente nas regiões áridas e semiáridas. Pode também resultar do uso de águas com elevada salinidade, favorecendo o acúmulo de sais após a evaporação na superfície e após a ascensão capilar e evapotranspiração na zona radicular (BASTOS,

¹⁵ Centro Internacional de Cooperação no Campo Nuclear associada a Organização das Nações Unidas (ONU).

¹⁶ A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) Nº 357/2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e adota os seguintes parâmetros para a salinidade: i - águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰; ii - águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰; iii - águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰.

¹⁷ Solubilização dos constituintes químicos.

2004, p. 4-5). As características naturais somadas às ações antrópicas contribuem para situações de estresse hídrico.

Em um contexto de baixa disponibilidade hídrica regular em corpos hídricos superficiais, torna-se imperativo repensar o uso de outros corpos hídricos disponíveis no ambiente natural, de modo a não subestimar as águas subterrâneas devido aos elevados teores de sais. Estratégias de abastecimento de água com a adoção de tecnologias adequadas às características permanentes da região, através de investimento e subsídios federais, contribuem para diminuir as desigualdades regionais, a exemplo do processo de dessalinização, menos vulneráveis à evapotranspiração e ao escoamento superficial. Como opção,

[...] a dessalinização pode reduzir a demanda requerida dos reservatórios, configurando nesse contexto uma solução praticável em áreas, onde a disponibilidade de água doce é limitada, e a de água salobra ou água do mar significativa (FRANZITTA *et al.*, 2016, p. 2).

Nesse sentido, Gude (2017, p. 596) também associa processos de dessalinização – térmicos e por membranas – a tecnologias não tradicionais com potencial para aproveitamento de corpos hídricos subterrâneos com concentrações de sólidos dissolvidos elevados. A adoção de uma abordagem diferente das encontradas em políticas públicas projetadas para combater a seca, as quais se concentram na melhoria da segurança hídrica por meio de soluções quase exclusivamente hidráulicas é defendida por Machado (2018, p. 27 e 28), ao destacar como uma solução viável para a escassez de água, o uso de tecnologias sociais, que consistem em tecnologias adaptadas a uma abordagem participativa, por meio de projetos locais e descentralizados.

Para o nordeste brasileiro, as tecnologias sociais devem ser baseadas na integração florestal, na produção agroecológica e no uso produtivo de plantas nativas da Caatinga, quando inseridos no território semiárido. A condição de vulnerabilidade hídrica é decorrente de um problema social e não natural, a mentalidade de “combater as secas” deve focar na coexistência com o semiárido, a partir de

[...] atividades endógenas de baixo para cima que aumentam a resiliência dos agricultores familiares por meio de tecnologias sociais, com uma abordagem participativa e promovendo o conhecimento local e o uso sustentável dos recursos (MACHADO, 2018, p. 113).

Portanto, em um contexto de produções distribuídas em pequena escala, como o caso de comunidades rurais no semiárido brasileiro, a exemplo de parte do território da região nordeste, os dessalinizadores emergem como tecnologias sociais com potencial para melhorar a oferta de água, a partir do aproveitamento dos corpos hídricos

subterrâneos, se inseridos mediante uma abordagem participativa, promovendo o uso sustentável dos recursos naturais.

As águas subterrâneas ganham importância em um contexto de projeções de menor volume de precipitações decorrente da mudança global do clima, aumentando e melhorando a qualidade da água destinada para o consumo humano, e, consequentemente reduzindo a incidência de doenças relacionadas ao uso da água.

A respeito da possibilidade de exploração de corpos hídricos subterrâneos para a área semiárida do Brasil, Porto *et al.* (2019, p. 9) estimam uma capacidade de extração desse recurso no cristalino na ordem 250 milhões de m³. Eles indicam ainda sugestões para múltiplos usos dessa fonte hídrica, apontando que metade desse volume pode ser alocado para a dessedentação animal e a outra parte dividida entre a irrigação e o consumo humano, com volume de água suficiente para atender a uma população aproximada de 17 milhões de pessoas, numa proporção de dez litros por pessoa ao dia. Destacam ainda que o resíduo gerado na exploração de águas subterrâneas – no caso do uso de tecnologias sociais, a partir do processo de dessalinização para produção de água para abastecimento da população – poderia ser usado na irrigação de aproximadamente 15.000 hectares de forragens halófitas¹⁸ para a ovinocaprinocultura familiar, produção suficiente para alimentar 700 mil caprinos e ovinos durante um ano.

Recursos energéticos renováveis, como a energia eólica e solar, também abundantemente presentes na Região do Semiárido Brasileiro, podem ser associados às tecnologias sociais para aumento da disponibilidade hídrica, a exemplo das tecnologias de dessalinização.

3.5. ATRATIVO ENERGÉTICO LOCAL

A água disponível para os usos consuntivos e não consuntivos dependem do ciclo hidrológico. Dessa forma, o uso inadequado desse recurso natural contribui para torná-lo cada vez mais escasso. Avaliar os recursos naturais presentes, a partir do nexo água-energia, contribui para a construção de estratégias equilibradas entre as necessidades humanas e o meio ambiente.

No contexto do Semiárido Brasileiro, a alta irradiação solar, característica

¹⁸ As forrageiras são plantas destinadas para a alimentação animal e as halófitas são plantas que concentram sal em seu interior.

natural que afeta sensivelmente a disponibilidade hídrica em corpos hídricos superficiais e reservatórios, também se configura em um atrativo energético que merece atenção e pode ser usado no aumento da oferta de água potável e contribuir para a garantia da segurança hídrica, principalmente em regiões mais distantes dos grandes centros.

Ações voltadas para o abastecimento de água destinada ao consumo humano devem compreender inter-relações entre os seres humanos e o ambiente natural, além de promover o acesso a tecnologias sociais, principalmente em comunidades rurais.

As características naturais permanentes afetam os recursos naturais de diferentes perspectivas, enquanto as águas superficiais sofrem com a evapotranspiração, a energia solar se apresenta como um recurso natural renovável abundante, com possibilidade de conversão para suprir a demanda elétrica local. O aproveitamento dessa fonte amplia seu espaço de uso quando associado a tecnologias sociais, como as tecnologias de dessalinização. A Região Nordeste apresenta níveis elevados de irradiação solar, com baixa variabilidade mensal.

[...] O potencial solar é um grande patrimônio natural, que em conjunto com outras fontes energéticas renováveis pode ser capaz de livrar o Brasil da dependência econômica e energética secular liderada pelos países desenvolvidos.

Além da abundância da energia radiante do Sol, possui uma enorme extensão de áreas degradadas para implantação de projetos de geração elétrica empregando tecnologia solar, através da micro e mini geração fotovoltaica distribuída e da aplicação da tecnologia solar para dessalinização e bombeamento de água, que pode se transformar em realidade através de novas políticas públicas para a promoção do desenvolvimento econômico regional e inclusão social da população de baixa renda do semiárido (PEREIRA *et al*, 2017, p. 67-68).

As irradiações solares diretas¹⁹ mais elevadas do país estão concentradas na Região do Semiárido Brasileiro, podendo ultrapassar 6 KWh/m².dia e 2000 kWh/m².ano em parte do território. A Figura 7 apresenta a sobreposição das camadas, informando o valor da irradiação solar direta normal no Brasil. Nela se evidenciam as áreas de maior ou menor irradiação solar, onde se pode observar que a irradiação mais elevada do país está presente na Região do Semiárido Brasileiro, reforçando o potencial dessas localidades para aproveitamento desse recurso.

Como reconhecimento de seu elevado potencial solar, o Semiárido Brasileiro contabiliza a maior potência outorgada de usinas fotovoltaicas do país. De acordo com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em outubro de 2020, 63% da

¹⁹ Exposição à transmissão de energia solar que incide em linha reta sobre a Terra, sem sofrer espalhamento pela atmosfera.

potência outorgada das usinas fotovoltaicas em operação do Brasil estão concentradas na Região Nordeste e, mesmo considerando as usinas em construção e previstas (com obras não iniciadas), a região permanece à frente com uma potência outorgada, de 10.566 MW de um total nacional de 16.612 MW. A Tabela 5 apresenta a potência outorgada das usinas fotovoltaicas no Brasil e na Região Nordeste, onde se observa a liderança da região em termos de participação.

Tabela 5. Total de potência outorgada (kW) das usinas fotovoltaicas localizadas no Rio Grande do Norte, Região Nordeste e Brasil.

SITUAÇÃO	NORDESTE kW	%	BRASIL kW	%
Em operação	2.065.308,67	20%	3.026.266,25	18%
Construção	468.716,06	4%	557.216,06	3%
Previsto	8.022.221,89	76%	12.848.569,89	77%
TOTAL	10.556.246,62	100%	16.612.052,20	100%

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (ANEEL, 2020)²⁰.

A energia solar contribui com 1,7% (3 GW²¹) de capacidade instalada nacional. Investimentos, em andamento nessa fonte, elevarão em cinco vezes a sua capacidade, totalizando 16,4 GW, as usinas em construção e que estão para iniciar suas obras somam 13,4 GW (ANEEL, 2020), em outubro de 2020, sugerindo que a exploração da fonte solar na geração de eletricidade está em expansão no país.

²⁰ Consulta realizada no Sistema de Informações de Geração da ANEEL, dia 7/10/2020

²¹ Consulta realizada no Sistema de Informações de Geração da ANEEL, dia 7/10/2020

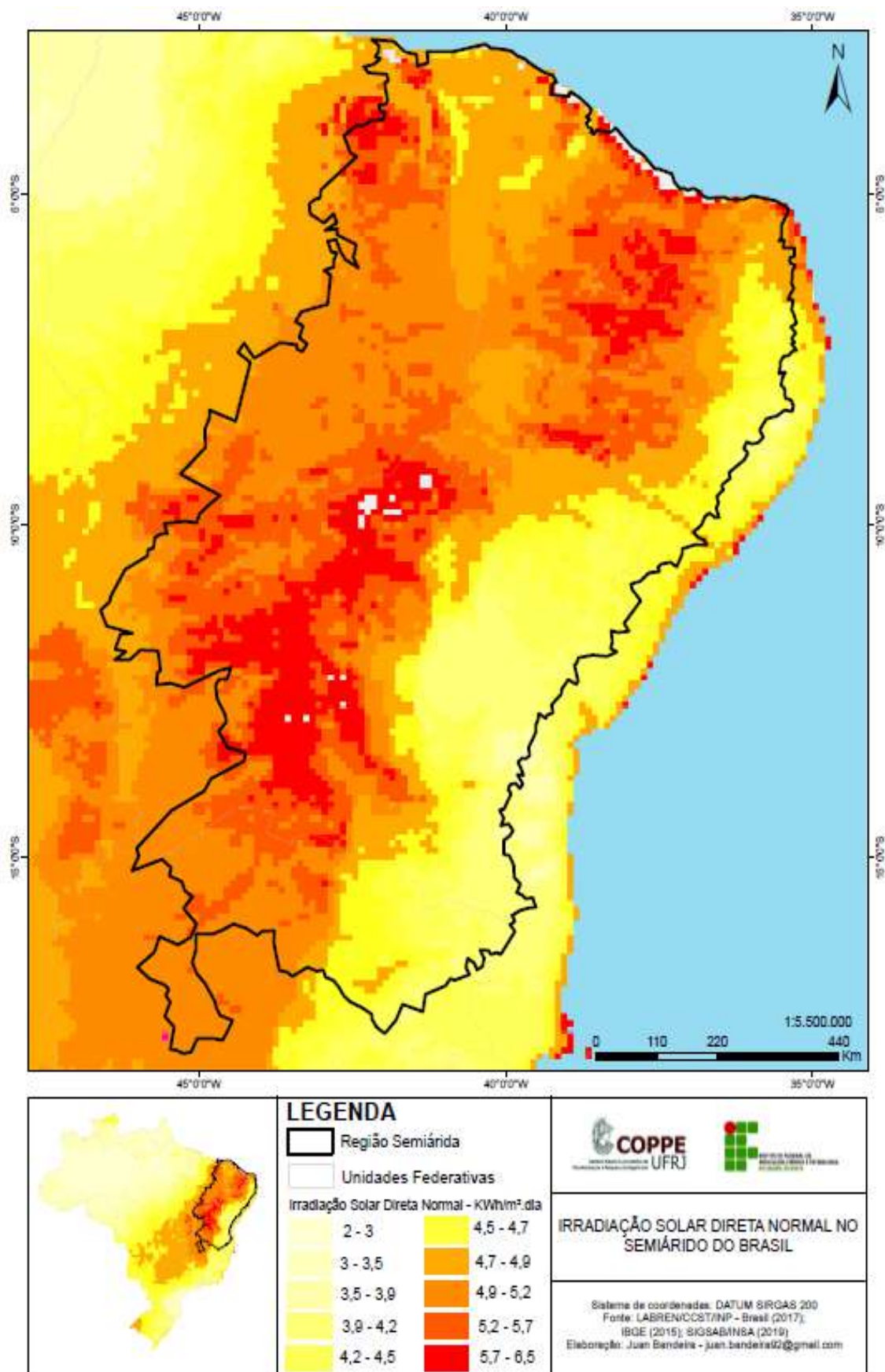


Figura 7 - Mapa da irradiação solar direta no Brasil, com destaque para a Região do Semiárido Brasileiro.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do (INPE, 2017)

Em relação à energia eólica, essa fonte contribui com 9,35% (16,4 GW) de capacidade instalada nacional, com significativa participação da região nordeste 86% (14,26 GW), onde vários parques eólicos estão presentes na Região do Semiárido Brasileiro. Investimentos, em andamento nessa fonte, elevarão em 47% a sua capacidade totalizando 24,2 GW, as usinas em construção e que estão para iniciar suas obras somam 9,97 GW (ANEEL, 2020)²².

A abundância de recursos energéticos renováveis presente na região credibiliza o uso dessas fontes em estratégias e ações sustentáveis, a presente tese concentra sua atenção na energia solar, por reconhecer essa fonte como a mais indicada para associação com a tecnologias de dessalinização para pequenas produções, distribuídas em locais distantes de grandes centros na Região do Semiárido Brasileiro. Tendo como delimitação espacial de estudo, o território semiárido do Rio Grande do Norte, considerando sua realidade socioeconômica e a estrutura de gestão de suas águas.

²² Consulta realizada no Sistema de Informações de Geração da ANEEL, dia 7/10/2020

SEÇÃO 4 - GOVERNANÇA DOS RECURSOS HÍDRICOS NO RIO GRANDE DO NORTE

4.1. INTRODUÇÃO

A percepção de que o Brasil dispõe de elevados volumes de águas, tornando reduzida a sua vulnerabilidade a situações de crise em seu abastecimento, não se apresenta aderente a realidades vivenciadas. Sua dimensão continental contribui para o registro de déficits provocados pelas elevadas diferenças entre a oferta e a demanda de água para múltiplos usos em distintas regiões brasileiras.

Nesse sentido a ANA (2019, p. 32) ressalta que a distribuição da água no Brasil é naturalmente desigual, apesar da grande oferta, a água está distribuída de maneira heterogênea no território nacional. A demanda por uso de água no Brasil é crescente, com previsão de aumento na retirada²³ em 26% até 2030. O histórico da evolução dos usos diversos da água está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do país.

Para compreender a gestão das águas em qualquer parte do território brasileiro, faz-se necessário identificar a formação histórica e a organização político-institucional que envolvem o setor de recursos hídricos, a partir dos entes federativos – União, Estados e municípios – e compreender como se dá a interação desses entes e instituições públicas do Estado com as organizações e lideranças locais.

Nessa perspectiva, a presente seção intenciona conhecer a governança de recursos hídricos no Governo do Estado do Rio Grande do Norte, identificando os órgãos e instituições, estaduais e federais, chaves para a gestão das águas, e o respectivo marco regulatório de cada ente federativa. Pretende entender como estão dispostas a infraestrutura hídrica no Estado e as estratégias de abastecimento de água para atender à demanda hídrica, em especial de comunidades rurais na Região Semiárida do Estado, com o enfoque no aproveitamento de águas subterrâneas através de uma política pública, o Programa Água Doce.

4.2. GESTÃO DAS ÁGUAS NO BRASIL

A partir da década de 1930, com a criação da Diretoria de Águas do Ministério

²³ Água total captada para um uso, como para abastecimento urbano.

da Agricultura (DAMA) em 1933 e a edição do Código das Águas em 1934, o uso gratuito de qualquer corrente ou nascente de água para as primeiras necessidades da vida passou a ser assegurado, permitindo a todos o uso de quaisquer águas públicas, em conformidade com os regulamentos administrativos. A possibilidade de uso das águas públicas para usos consuntivos, tais como agrícola, industrial e higiene estava ligada ao instrumento jurídico da *concessão*, no caso de utilidade pública, e da *autorização* nos demais casos, sendo a preferência da destinação para o abastecimento das populações (OLIVEIRA, BARBOSA, E DANTAS NETO (2013, P.5).

Farias, Amorim e Júnior (2018, p.4-5) ressaltam que o primeiro departamento para gestão das águas no Brasil – Departamento Nacional de Águas e Energia (DNAE) –, foi criado em 1965, três décadas depois do Código das Águas. Na década posterior, em 1978, foi instituído o Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas (CEEIBH) primeiro instrumento voltado a uma gestão de recursos hídricos desconcentrada, com atribuições estritamente consultivas, porém, uma iniciativa mais próxima da gestão por bacia hidrográfica²⁴. No processo, novos marcos regulatórios, referentes ao uso da água no Brasil, foram criados, renovados e atualizados.

A Constituição Federal de 1988, através do inciso XIX, em seu artigo 21, atribui à união a competência de instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SNGRH), criado a partir da Lei nº. 9.433 de 08/01/1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), também conhecida como Lei das Águas, destacando o Brasil no cenário mundial. O SNGRH foi estruturado com a intenção de promover a gestão dos recursos hídricos de forma integrada, participativa e descentralizada, sendo composto por seis entes: Conselho Nacional de Recursos Hídricos, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal, Comitês de Bacias Hidrográficas, e as Agências de Água.

A PNRH estabeleceu cinco instrumentos que viabilizam a gestão dos recursos hídricos, os quais são interdependentes e devem ser utilizados de forma integrada com os instrumentos estabelecidos em outras políticas. Sendo estes: i) plano de recursos hídricos, ii) cobrança pelo uso da água, iii) outorga, iv) enquadramento e, v) sistemas de informações.

O SNGRH se caracteriza pela responsabilidade de implantar a política de

²⁴ “Território delimitado por divisores de água cujos cursos d'água em geral convergem para uma única foz localizada no ponto mais baixo da região” (ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2020a).

gestão, buscando articular os diversos campos da administração pública e propiciar a participação de setores sociais e usuários interessados, tendo ainda como finalidade a otimização dos recursos financeiros, evitando sobreposição e desarticulação das ações que visam preservar, recuperar e conservar os recursos hídricos.

Em 2003, o Governo Federal, através da Resolução nº 32 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, institui a Divisão Hidrográfica Nacional, definido assim 12 regiões hidrográficas, sendo estas: espaço territorial compreendido por uma bacia, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas com características naturais, sociais e econômicas homogêneas ou similares, com vistas a orientar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. A opção por Região hidrográfica permite implementar uma base de dados referenciada por bacias hidrográficas como unidade do gerenciamento de recursos hídricos necessário à implementação da PNRH e SNGRH.

A divisão hidrográfica nacional não está limitada ao território delimitado das grandes Regiões, nove Regiões Hidrográficas têm abrangência em mais de uma Região e três estão dentro do território de apenas uma Região, a saber:

- a) Amazônica, com abrangência nas Regiões Norte e Centro-Oeste;
- b) Atlântico Leste, com abrangência nas Regiões Nordeste e Sudeste;
- c) Atlântico Nordeste Ocidental, com abrangência nas Regiões Norte e Nordeste;
- d) Atlântico Nordeste Oriental, com abrangência na Região Nordeste;
- e) Atlântico Sudeste, com abrangência nas Regiões Sul e Sudeste;
- f) Atlântico Sul, com abrangência nas Regiões Sul e Sudeste;
- g) Paraguai, com abrangência na Região Centro-Oeste e Nordeste;
- h) Paraná, com abrangência nas Regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste;
- i) Parnaíba, com abrangência na Região Nordeste;
- j) São Francisco com abrangência nas Regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste;
- k) Tocantins-Araguaia, com abrangência nas Regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste;
- l) Uruguai, com abrangência na Região Sul.

A Figura 8 apresenta a divisão hidrográfica nacional sobre as unidades da federação, apresentando a abrangência das Regiões Hidrográficas sobre os Estados Brasileiros.

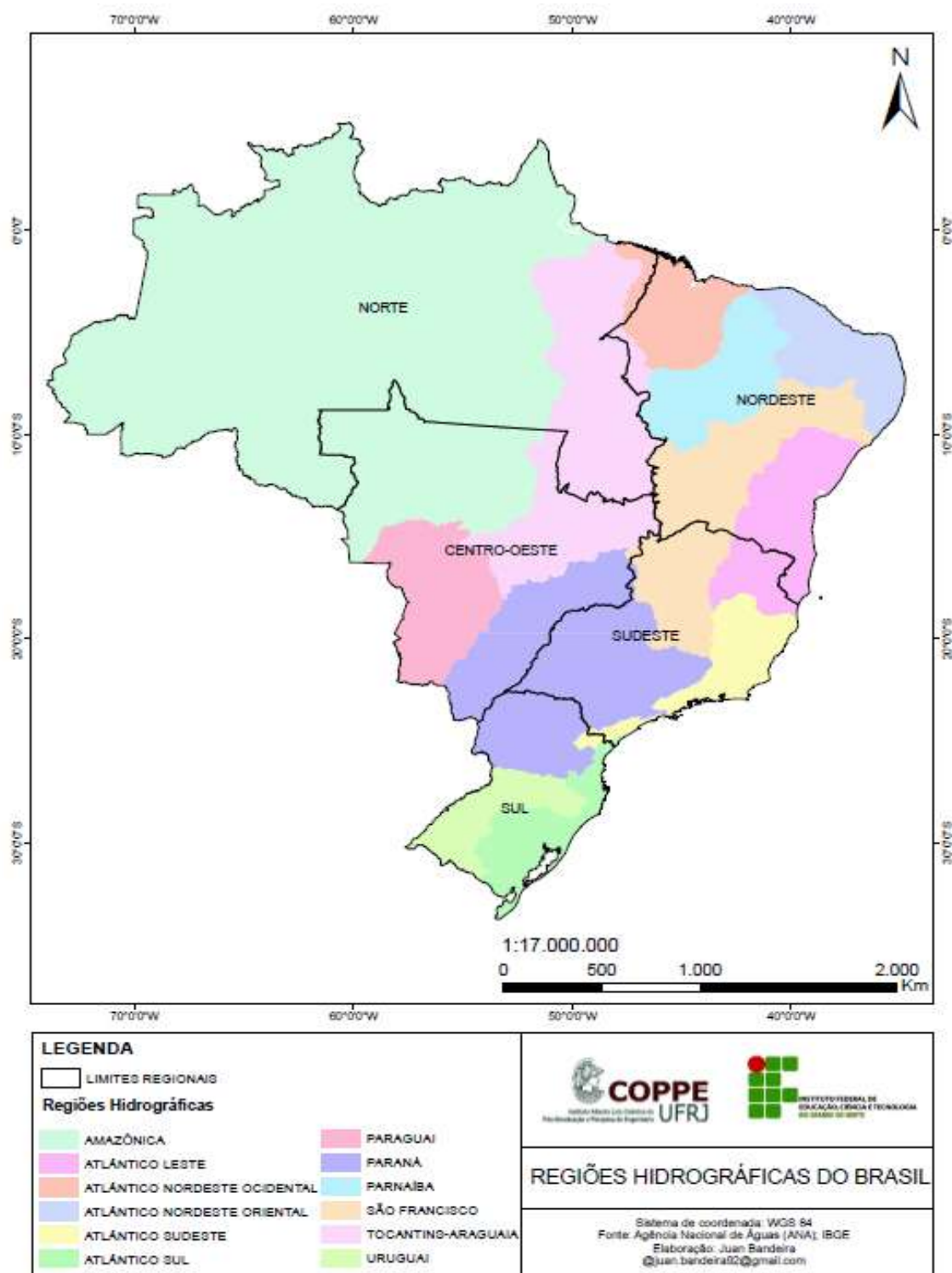


Figura 8 – Divisão Hidrográfica Nacional por Unidades da Federação.

Fonte: Adaptado de (ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2020a)

Para Oliveira, Barbosa e Dantas Neto (2013, p. 4-6), a Lei nº 9.433/1997, diferentemente do Código de Águas com uma sistemática de decisões com prerrogativas exclusivas do poder público, instituiu um novo modelo de gestão das águas, baseado em ideais liberais e nos princípios da descentralização e da participação, promovendo a

inclusão de usuários e sociedade civil no gerenciamento das águas no Brasil. Nesse contexto, o planejamento estratégico, centrado nos entes estatais, cede lugar ao planejamento compartilhado, o que implica a participação e o comprometimento de todos com os resultados da organização, além de uma gestão participativa, que resguarda o direito de conhecimento e ação da coletividade nas decisões.

Duas décadas depois da instituição da Lei das Águas e diante da complexidade e adversidades nas condições de suprimento de água à população e às atividades econômicas em parte do território brasileiro, o Governo Federal, através da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)²⁵ e do Ministério de Desenvolvimento Regional, lançou, em 2019, o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH) com a proposta de estabelecer até o horizonte de 2035, um planejamento com natureza estratégica e relevância regional, orientado a promover a redução dos impactos de eventos extremos (ANA, 2019b, p. 17).

A precipitação média anual de chuvas no Brasil é de 1.760 mm, porém, com variação no total de chuva ao longo do seu território, precipitação superior a 3.000 mm na região Amazônica e inferior a 500 mm na Região do Semiárido Brasileiro, em particular no Nordeste Setentrional, que abrange o Estado do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, onde os baixos índices de precipitação, a irregularidade do seu regime, temperaturas elevadas durante todo ano, entre outros fatores, contribuem para os reduzidos valores de disponibilidade hídrica e ocorrência de eventos extremos. Assim, como o regime médio de chuvas é distribuído de forma desigual ao longo do território brasileiro, o PNSH deve construir ações diferentes por regiões.

Parte do território brasileiro possui maior vulnerabilidade e risco hídrico, para reverter ou amenizar essa condição, é importante incorporar à gestão de recursos hídricos um conhecimento aprofundado de como se dá essa vulnerabilidade, bem como a forma que o ambiente está do exposto aos possíveis eventos. Nesse termo é possível propor ações dirigidas ao aumento da resiliência da região envolvida.

Em 2017, foram quantificados 2.551 eventos de seca associados a danos humanos, foi o ano mais crítico da década em curso quanto aos impactos da seca sobre a população. Cerca de 80% das pessoas afetadas por secas nesse período vivem no Nordeste

²⁵ A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) foi criada através da Lei Federal nº 9.984 de julho de 2000 e teve sua estrutura regulamentada em dezembro do mesmo ano através do Decreto Federal nº 3.692. Em julho de 2020, através da Lei federal nº 14.026, o marco legal do saneamento básico foi atualizada, passando atribuindo à ANA a competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento

(ANA, 2019, p.13 e 71).

O Rio Grande do Norte está localizado na Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental, região hidrográfica com a menor disponibilidade hídrica do país, 91,5 m³/s, correspondendo a 0,1% do total do Brasil, que é de 91.272,3 m³/s (ANA, 2015b). Em 2017, 91% dos municípios conviveram com escasso regime de chuvas, o que provocou a assinatura, pelo Governo Estadual, do decreto de nº 26.730, de 22 de março do referido ano, estabelecendo uma situação de Emergência nas áreas de 153 municípios, de um total de 167 situado nesse Estado.

4.3. O RIO GRANDE DO NORTE E A SUA ESTRUTURA DE GESTÃO DAS ÁGUAS

O Estado do Rio Grande do Norte está posicionado na Região Nordeste do país, sendo a Unidade Federativa mais próxima da África e Europa, com limites ao oeste com o Ceará, ao sul com a Paraíba e leste com o oceano Atlântico. Dispõe de uma zona costeira de 410 km, cerca de 4% do litoral brasileiro, e tem sua capital localizada no município de Natal, maior cidade do Estado. Em 2019, o Estado registrou um rendimento nominal mensal domiciliar *per capita* de US \$ 268,27²⁶, 26% inferior ao histórico para o Brasil, porém 19% superior ao registrado para a Região Nordeste.

Em 2020, a população estimada do Rio Grande do Norte contabiliza 3,5 milhões de pessoas, quantidade inferior a 2% da população estimada do país e cerca de 6% da população da Região Nordeste. O território Potiguar, nome dado a essa terra, possui uma área de 52.809 km², inferior a 1% do território nacional e cerca de 3% do território nordestino. O Rio Grande do Norte possui elevada vinculação territorial com a Região do Semiárido Brasileiro. O Estado tem 92% do seu território, 49.073 Km², inserido na área semiárida, o que corresponde a 4% de todo o semiárido brasileiro. Sua divisão geopolítica abriga 167 municípios, onde 147 estão localizados dentro da Região do Semiárido Brasileiro (IBGE, 2020a).

Em relação a atividades econômica no Estado, em 2017, o Rio Grande do Norte registrou o valor de US \$ 20.155.172²⁷, o que revelou uma participação de 1% no Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil e 7% do PIB da Região Nordeste. O Estado apresenta a

²⁶ Utilizado média anual do dólar americano para o ano de 2019.

²⁷ Utilizado média anual do dólar americano para o ano de 2017.

maior concentração de renda da Região Nordeste, com um Coeficiente de Gini de 0,7942, o que se traduz na maior desigualdade social verificado no nordeste brasileiro (IBGE, 2020b).

Em 2017, o setor de Serviços representou 77,6% do valor adicionado da economia do Estado do Rio Grande do Norte, com significativa participação do setor público através da administração direta, indireta e autárquica vinculadas aos três entes federativos. A Agropecuária participou com 3,8% do valor adicionado da economia estadual. Na Indústria, com participação de 18,6%, a Eletricidade merece destaque, devido ao aumento da produção da energia eólica (IBGE, 2019c).

Em relação ao setor de energia, a exploração de combustíveis fósseis e de recursos energéticos renováveis, em termos de volume, apresenta tendências distintas no Estado. Analisando a produção desse setor no Estado nos últimos três anos, com base no Balanço Energético Nacional (EPE, 2018, 2020), evidencia-se que entre 2017 e 2019, o setor energético estadual aumentou sua contribuição na geração de eletricidade a partir de fontes renováveis. Em 2019, a geração de eletricidade, a partir da fonte eólica no Estado, chegou a 14.431 GWh, 26% do gerado no país e crescimento na produção de 6% em relação a 2017, e 264 GWh de energia elétrica gerada a partir da fonte solar, 4% do total gerado no país, representando um crescimento de 1.366% em relação a 2017.

Já os combustíveis fósseis, presentes no Estado através da indústria de petróleo e gás natural, mostram-se importantes socioeconomicamente, mas apresentaram redução na sua produção entre 2017 e 2019. A produção de petróleo teve redução de -20% e a produção de gás natural em -16%, no período. Ao se comparar o período entre 2015 e 2019, a variação negativa é de -33% e -22%, para o petróleo e gás natural respectivamente.

O balanço energético do Rio Grande do Norte indica uma maior participação na matriz energética do Estado das fontes renováveis em relação aos combustíveis fósseis, impactado pelos seguidos desinvestimentos na sua exploração, puxado pela redução da atuação da PETROBRAS no Estado.

A maior participação das fontes renováveis se deve ao potencial para aproveitamento da energia eólica no Rio Grande do Norte, de acordo com o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, as características locais influenciam a formação de ventos médios anuais mais rápidos, especialmente porque o Estado está na porção sul da zona litorânea norte-Nordeste e norte zona litorânea Nordeste-sudeste, onde a circulação de brisas marinhas é especialmente intensa e alinhada com os ventos alísios de leste-sudeste (AMARANTE *et al.*, 2001). Esse potencial se traduz em uma significativa participação

na geração de eletricidade a partir dessa fonte, o Rio Grande do Norte possui 25,41%²⁸ (169) das usinas eólicas em operação do país (665) (ANEEL, 2020).

Em relação ao desinvestimento da PETROBRAS, a justificativa apresentada pela empresa está suportada na escala por investimentos mais atrativos, ou seja, alternativas e unidades, com maior potencial de geração de valor, sob a ótica de uma estratégia de vender unidades e instalações, como as atividades *onshore*²⁹ no Rio Grande do Norte, para reduzir o endividamento e, conseqüentemente, aumentar a capacidade de investimento para outras atividades, a exemplo das atividades *offshore*³⁰ no pré-sal. Para a PETROBRAS, as conseqüências com o fim das suas atividades no Estado serão mitigadas pela possibilidade de atuação de investimentos de outras empresas, com estratégias e foco específico para a realidade local, fomentando assim as economias locais (PETROBRAS, 2020).

Para Filgueira (2020), a redução na exploração do petróleo poderá acarretar conseqüências desfavoráveis na dimensão socioeconômico dos municípios do Rio Grande do Norte. Para o autor, a atividade do petróleo é uma ilha de excelência nesses municípios, a ponto de interagir pouco com as atividades locais, e quando interage é de forma tão competitiva que não fomenta de forma significativa a geração de ocupação no município. Por demandar alta exigência de qualificação, a quantidade de postos de trabalho no município não é tão grande.

O mesmo autor destaca que, nos municípios do Rio Grande do Norte com exploração de petróleo, ocorre o provimento de serviços de apoio a essa atividade, movimentando a economia local e, a partir desse movimento, que uma outra parcela de dinheiro circula nesses municípios de forma menos regulada ou estimulada pelo poder municipal e definidora da existência quase que exclusiva de determinados empreendimentos locais. Em geral, esses municípios possuem uma economia centrada no poder público, e seus níveis socioeconômicos são afetados diretamente pela seca. Alerta para a necessidade de ampliar o debate em torno da temática do petróleo e desenvolvimento, incluindo a sociedade e o governo, não se limitando apenas à dimensão econômica.

No Rio Grande do Norte, a legislação estadual que versa sobre a gestão de águas antecede a Lei das Águas do Brasil, tendo sido publicado um ano antes, através da Lei

²⁸ Consulta realizada no Sistema de Informações de Geração da ANEEL, dia 20/11/2020

²⁹ Exploração das atividades no continente, em terra firme.

³⁰ Exploração das atividades no oceano, com estruturas localizadas em alto mar.

Estadual nº 6.908/96. Farias, Amorim e Júnior (2018, p.5) consideram que a referida Lei é o marco regulatório da gestão dos recursos hídricos no estado, já que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH) e institui o Sistema Integrado de Gestão dos Recursos Hídricos (SIGERH), ou seja, são anteriores à promulgação da Lei das Águas que instituiu o SNGRH. A legislação estadual, conforme se encontra, tem como objetivos:

- i. Planejar, desenvolver e gerenciar, de forma integrada, descentralizada e participativa, o uso múltiplo, controle, conservação, proteção e preservação dos recursos hídricos;
- ii. Assegurar que a água possa ser controlada e utilizada em padrões de quantidade e qualidade satisfatórios por seus usuários atuais e pelas gerações futuras.

Mediante Decreto nº 13.283/1997, o Governo Estadual estabelece normas que disciplinam a concessão da outorga do direito de uso dos recursos hídricos dominiais do Estado e o licenciamento de obras de oferta hídrica, respectivamente, adotando na política pública, como princípios gerais, a prioridade para o abastecimento humano e o acesso à água como um direito de todos para as primeiras necessidades da vida. Ordena, portanto, o planejamento a partir da gestão por bacia hidrográfica, contemplando inclusive corpos hídricos subterrâneos.

O referido Decreto dispensa a outorga para captação de águas subterrâneas com vazão de exploração inferior a 1.000 l/h³¹ e condiciona o uso das águas subterrâneas à realização de avaliação da disponibilidade hídrica, que contemple a capacidade de recarga do aquífero, fundamentada em estudo hidrogeológico e a interferência provocada em poços circunvizinhos.

Através do Decreto nº 13.284/1997, o governo Estadual regulamenta o Sistema Estadual para Gestão de Recursos Hídricos (SIGERH), orientado ao gerenciamento integrado e participativo dos usos múltiplos dos recursos hídricos, sendo composto da seguinte forma: Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CONERH), Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH), Comitês de Bacia Hidrográfica e o Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte (IGARN).

O CONERH é o órgão colegiado normativo de deliberação coletiva, tendo como objetivos: a) formular as diretrizes da PERH; b) elaborar normas de utilização, oferta e preservação dos recursos hídricos; c) promover a articulação entre os órgãos estaduais,

³¹ Limite ampliado para 2.000 l/h, através da resolução 12/2012 do CONERH.

federais e municipais – atuantes na gestão dos recursos hídricos – e a sociedade civil; e d) deliberar sobre assuntos ligados aos recursos hídricos.

A SEMARH é o órgão central do SIGERH, cuja função é gerenciar a oferta hídrica estadual, planejando, coordenando e executando as ações públicas. Essa secretaria possui também as seguintes atribuições: i) desenvolver e manter atualizados o PERH e o Sistema de Informações dos Recursos Hídricos; ii) elaborar planos de desenvolvimento sustentável; iii) formular políticas de recursos hídricos e meio ambiente; iv) desenvolver estudos, pesquisas e projetos socioeconômicos relacionados ao aproveitamento e à preservação dos recursos hídricos; v) conceder outorgas de direito de uso dos recursos hídricos – provenientes de corpos de água de domínio do Estado – e licenças de obras hídricas superficiais e subterrâneas.

Algumas competências da SEMARH foram delegadas ao IGARN, autarquia vinculada, instituída através da Lei nº 8.086/2002, cuja atribuição consiste em exercer a função de apoio técnico e operacional do SIGERH. O IGARN é detentor de competências de natureza técnico-operacional, entre elas, a análise das solicitações, expedições e fiscalização de outorgas.

Oliveira, Barbosa, Dantas Neto (2013, p. 16-19) identificam que a delimitação dos corpos d'água no Rio Grande do Norte não é encarada como um dispositivo da Política Estadual de Recursos Hídricos, embora seja essencial para subsidiar a outorga e a cobrança. A outorga de direito de uso de recursos hídricos é o ato administrativo, cuja titularidade é do poder executivo, mediante o qual o poder público outorgante faculta ao outorgado (pessoa física ou jurídica) o direito de uso de recurso hídrico por prazo determinado. Objetiva, portanto, assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos múltiplos da água, bem como o efetivo exercício dos direitos de acesso a ela.

As exceções para dispensa da exigência da outorga de direito de uso de recursos hídricos se restringem às seguintes circunstâncias: i) usos de água para satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais de comunidades rurais; derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes e; ii) acumulações de volumes considerados insignificantes. Cabe ressaltar que a concessão de outorga, independentemente da transcrição no instrumento concessivo, estará limitada à disponibilidade hídrica, à observância dos usos prioritários, à comprovação de não poluição e desperdícios significativos, e à apresentação de licença prévia, quando se tratar de uso que dependa de obras ou serviços de oferta hídrica. A outorga está sujeita à revogação em qualquer tempo, sempre que uma das condições descritas, ou conjunto

delas, deixarem de ser atendidas.

No contexto da gestão das águas, Farias, Amorim e Júnior (2018 p.9-10) consideram que as leis brasileiras, tanto federal quanto estadual, são bem redigidas e articulam muito bem as diretrizes de participação da sociedade na gestão dos recursos hídricos, entretanto, a sua execução é complexa, principalmente em relação à responsabilidade sobre os corpos hídricos, existem águas que estão sob a competência exclusiva do Estado e outras de competência da união.

A gestão das águas subterrâneas, objeto de estudo desta tese, é de responsabilidade do Estado, porém, a viabilidade do aproveitamento desses corpos hídricos ocorre através de programas sob a responsabilidade da União. A participação de diferentes entes federativos impõe uma necessária harmonia entre as diversas instituições, no sentido de garantir a segurança hídrica prevista na Política Nacional de Recursos Hídricos. Os instrumentos de gestão a nível Estadual e Federal devem atuar de forma integrada e complementar, de modo que um preencha uma lacuna deixado pelo outro, norteados por leis e princípios que conservem o uso e preservação dos recursos hídricos, garantindo os mesmos, em quantidade e qualidade, às futuras gerações.

Outros atores possuem papel importante na gestão dos recursos hídricos, apresentando maior ou menor influência, conforme sua representatividade, entre eles: Prefeituras, Defesa Civil Estadual/Federal, Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), Concessionárias de Água e Esgoto no nível estadual, Serviços Autônomos de Água e Esgoto (SAAE) no âmbito municipal, Exército, e lideranças políticas locais e religiosas.

Em ocasiões de escassez hídrica, a promoção de ações emergenciais, a partir da integração desses os atores, torna a gestão de águas complexa, principalmente quando considerados os interesses alheios ao processo, que em muitas situações agem em detrimento de critérios ambiental, social e técnico.

Dentre os atores com significativo papel na gestão dos recursos hídricos, os municípios são peças fundamentais para a garantia do abastecimento hídrico, cabe a eles realizarem monitoramentos das reservas hídricas e se apropriarem de informações referentes à condição das mesmas. No Rio Grande do Norte, o município pode fazer a opção pelo abastecimento através da Companhia de Águas e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN) ou pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), gerenciado pelo próprio município. Na gestão local, é comum o desconhecimento por parte de gestores municipais de suas funções vinculadas à gestão das águas, bem como sobre as fontes de

abastecimento disponíveis em seu território, situação que, em tempos de estiagem, é agravada, uma vez que a desinformação limita o acompanhamento da situação,

[...] um fato bastante comum é a Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMAHR) ser procurada apenas quando as reservas já estão esgotadas. Tradicionalmente, segundo os representantes da SEMAHR e Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte, muitos gestores municipais sequer têm conhecimento pleno de suas funções tornando o processo de gestão ainda mais complexo. O cenário de atuação das instituições sobre os recursos hídricos é bastante diversificado. A pressão pela segurança hídrica parte dos diversos atores sociais, porém diversos interesses, alguns conflitantes, estão presentes no contexto da gestão das águas no Estado, sobretudo quando a força política interfere nas decisões. Assim, o processo de gestão dos recursos hídricos muito bem estruturado no campo técnico e legal é muito complexo, quando se observa a operacionalização dos processos integradores de distribuição e controle da água. (FARIAS; AMORIM; JÚNIOR, 2018, p. 10 e 11).

No ambiente de integração entre os atores sociais, adaptar a gestão das águas no Rio Grande do Norte ao Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), que visa diminuir impactos das secas nos locais mais vulneráveis com um horizonte até 2035, será um desafio, em que as características locais avaliadas devem ser consideradas na proposição de soluções.

No contexto das ações de prevenção e emergenciais, tratar igualmente os desiguais não pode ser uma opção, estratégias não convencionais e novas opções devem ser estudadas. Nessa perspectiva, as águas subterrâneas ganham relevância na garantia da segurança hídrica em comunidades rurais, sem acesso à rede geral de abastecimento e distante de corpos hídricos superficiais. O PNSH destaca que os déficits hídricos de abastecimento humano exigem, desde soluções locais para a população dispersa (tais como cisternas, sistemas simplificados de abastecimento, sistemas de dessalinização e barragens subterrâneas) até as obras estratégicas de caráter regional, como a construção de novas barragens e ampliação do sistema de adutoras (ANA, 2019b, p. 108).

Essa preocupação está em sintonia com o Relatório Mundial da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, de 2019, cujo tema é “não deixa ninguém para trás”. O documento advoga que o cumprimento dos direitos humanos ao acesso à água potável e saneamento para todos, especialmente aos mais vulneráveis, contribui significativamente para alcançar o amplo conjunto dos objetivos da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, quais sejam: a segurança alimentar e energética; a promoção do desenvolvimento econômico em bases sustentáveis.

4.4. CONDICIONANTES DE DEMANDA E OFERTA HÍDRICA NO RIO GRANDE DO NORTE.

Para Farias, Amorim E Júnior (2018, p. 11-13), a oferta hídrica no Rio Grande do Norte, a fim de garantir o abastecimento das populações e o desenvolvimento de atividades econômicas, está vinculada à capacidade de captação, armazenamento e distribuição de seus recursos hídricos, principalmente de corpos de águas superficiais, sensíveis a períodos de estiagem. Condição que compromete o desenvolvimento das atividades e a fixação das pessoas no interior do Rio Grande do Norte e que historicamente foi determinante no desenvolvimento de atividades, como a cultura da cana de açúcar e a pecuária, desde o Brasil colônia

Para lidar com estresse hídrico marcante na região nordeste, a estratégia convencional adotada, a partir do século XX, foi a construção de barragens e reservatórios para o armazenamento de grandes volumes de água. Em alguns casos, a estratégia usada promoveu conflitos, uma vez que as barragens se localizam, muitas vezes, em terrenos particulares, restringindo, assim, o acesso e uso das águas a uma parcela da população, mesmo em áreas onde a estratégia foi viabilizada com recursos públicos.

A possibilidade de armazenamento de água em grande volume permitiu que algumas atividades econômicas, dependentes do uso em larga escala de reservas hídricas, se desenvolvessem no interior do Estado. A partir dos anos 1970, foram descobertas potencialidades para o semiárido no Estado, a fruticultura irrigada para exportação ganhou importância, principalmente, na microrregião do Vale do Açu/RN. No setor industrial, a mineração registrou expansão, fazendo uso das águas no processo de beneficiamento de calcário, ferro, *scheelita* e argilas. As indústrias ceramista, têxtil e da construção civil e da energia (petróleo, gás *onshore*) também ampliaram suas atividades. O crescimento econômico, proporcionado pelo desenvolvimento dessas atividades, vem acompanhado de um aumento da populacional no seu entorno e, conseqüentemente, pressiona um aumento da demanda hídrica para abastecimento humano.

A expansão das cidades, impulsionada pelo crescimento populacional e econômico, demanda a ampliação da rede de captação, tratamento e distribuição de água, desde as reservas hídricas até os usuários finais. A oferta desse serviço cabe à concessionária estadual, e sua qualidade e eficiência estão fortemente condicionadas à existência de volumes de água suficientes para tais fornecimentos.

Trolei e Silva (2018, p. 3-8), ao avaliarem a estrutura dos recursos hídricos no

Rio Grande do Norte, destacam que ocorreram melhorias, tanto do funcionamento de sistemas de abastecimento de água, quanto de processos de irrigação, a partir do século passado, no entanto, ressaltam que mesmo com a evolução das técnicas consideradas, a disponibilidade hídrica do Estado, principalmente na parte do território semiárido, depende basicamente do regime de precipitações, que, em períodos de seca prolongada, se revela sensível e comprometida para atender às necessidades básicas da população em relação ao abastecimento de água para consumo humano.

Para os autores, a estrutura hídrica e de abastecimento de água do Estado envolvem elementos com perspectivas de ordem natural e técnica. Os elementos de ordem natural envolvem níveis de precipitação e umidade, o armazenamento subterrâneo de água (aquíferos) e as bacias hidrográficas. Já os de ordem técnica dizem respeito aos níveis dos açudes e barragens, ao funcionamento das adutoras e ao uso de carros com tanques de armazenamento para a distribuição. Essa configuração reforça as necessidades de compreender a irregularidade das chuvas sobre o território do Estado e buscar uma abordagem funcional e integrada de todos esses aspectos, para a análise das potencialidades e fragilidades hídricas de um local, em que os gestores devem analisar o território de forma integrada e sistêmica, considerando a inter-relação dos elementos naturais, sociais e técnicos de cada sistema de abastecimento dentro do Rio Grande do Norte.

Em relação aos níveis de precipitação, o Estado do Rio Grande do Norte possui médias distintas de precipitações pluviais em seu território. Na região litorânea leste do Estado, há o predomínio de áreas de maior índice pluviométrico que varia entre 1.200 e 1.600 milímetros por ano. Nas áreas central e oeste, o índice médio pluviométrico varia entre 400 e 800 milímetros por ano, representando 75% do seu território. A diferença entre os índices pluviométricos contribui para uma variação na quantidade de meses secos nas zonas climáticas³² presentes no Estado e uma maior susceptibilidade à seca em seu território. As Figuras 9 e 10 apresentam as zonas climáticas e áreas de suscetibilidade à seca no Rio Grande do Norte, respectivamente. Na Figura 8 se observa, portanto, as características climáticas do Rio Grande do Norte através de zonas, a partir dos dados do IBGE disponibilizados na Plataforma Geográfica Interativa, no Atlas Nacional Digital Brasileiro (IBGE, 2019a). Na Figura 9 se pode ter uma leitura geral sobre as áreas de susceptibilidade à seca no Estado, a partir de dados disponibilizados no portal do SIGSAB

³² Agrupamento do território brasileiro contemplando a temperatura média anual, a média anual de meses secos e o tipo de vegetação natural.

vinculado ao INSA (INSA, 2019).

As áreas central e oeste apresentam regiões com o mínimo de 7 e máximo de 10 meses secos, em média, por ano, com características de clima semiárido, conforme pode ser observado na Figura 9, e percentual de suscetibilidade à seca ³³superior a 81 %, como apresentado na Figura 10.

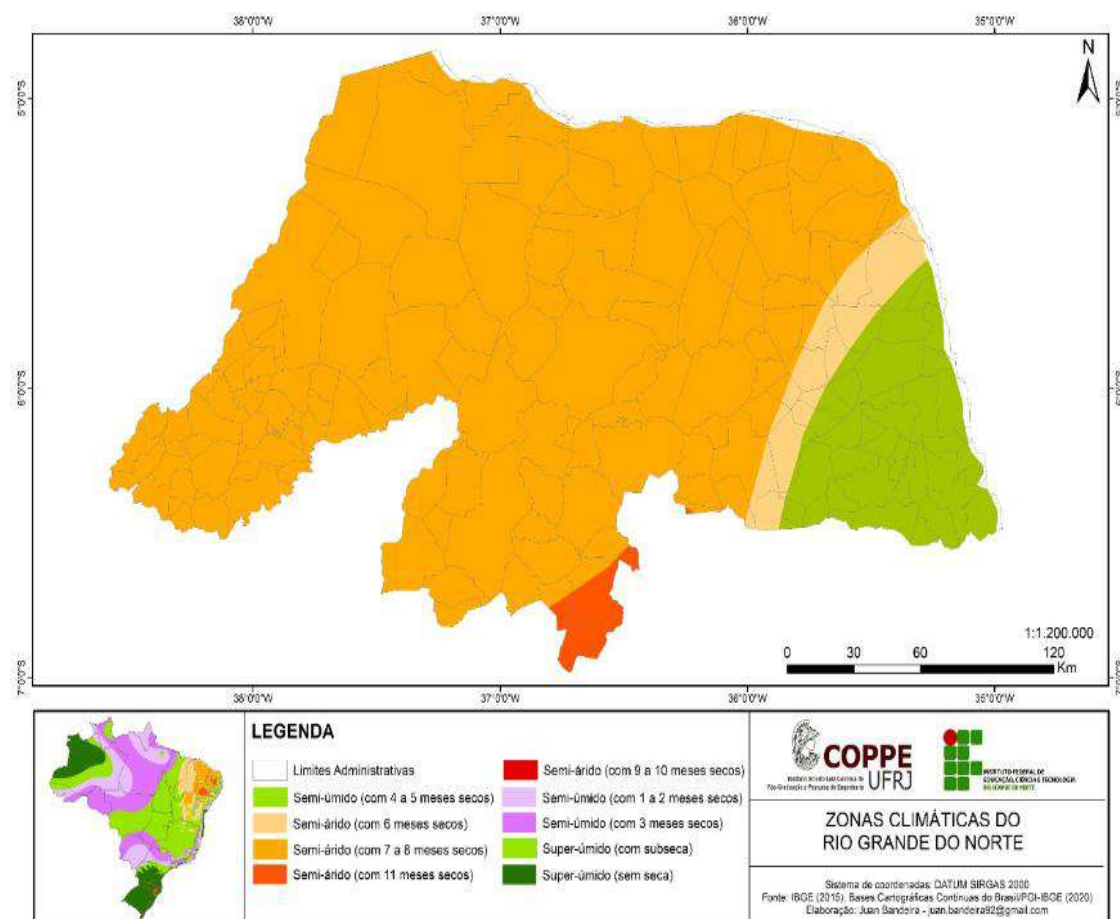


Figura 9 - Zonas climáticas do Rio Grande do Norte.

Fonte: Elaboração própria.

³³ diagnóstico da suscetibilidade ao processo de desertificação da região semiárida, auxiliando na definição de políticas públicas de convivência com a região e de combate à desertificação.

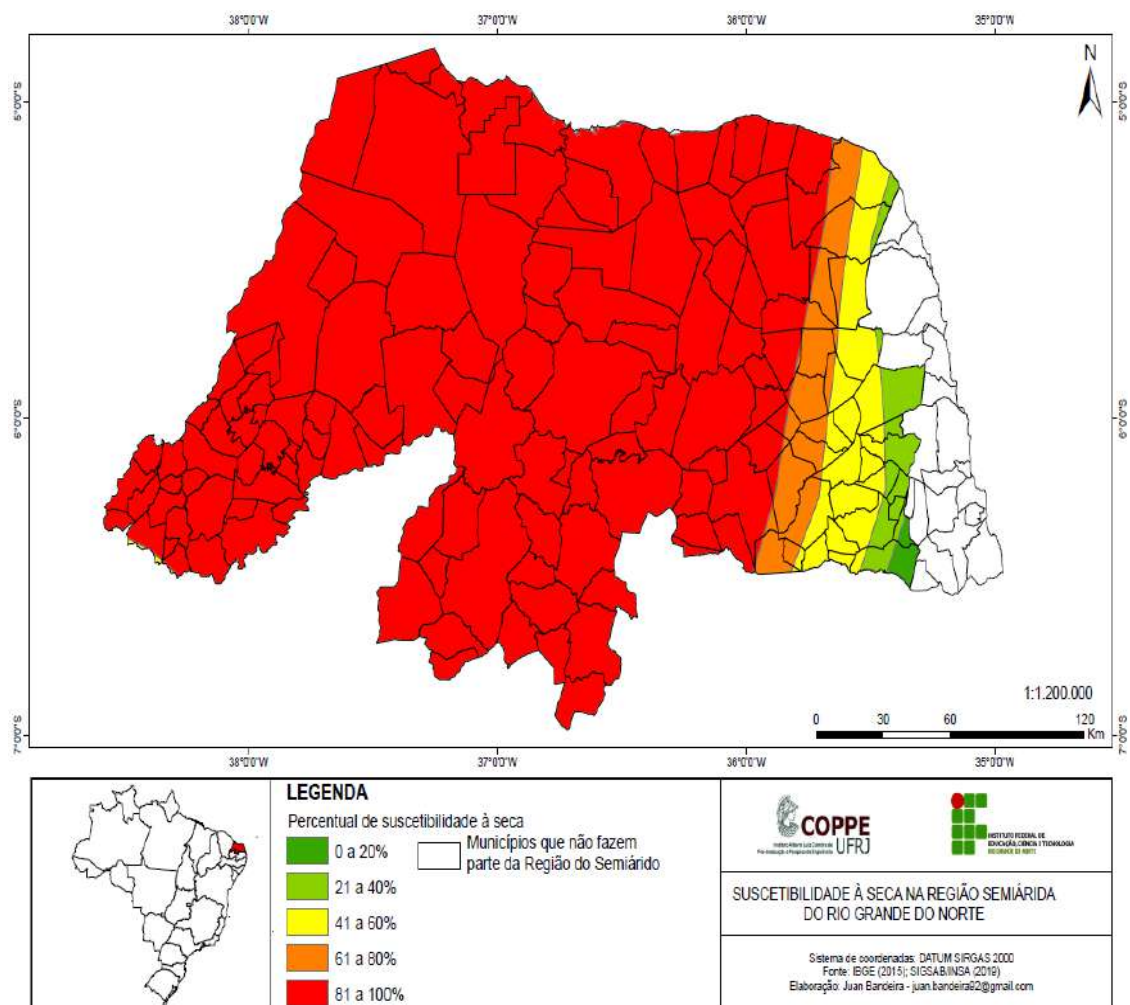


Figura 10 - Área de suscetibilidade à seca no Rio Grande do Norte.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do (INSA, 2019)

Trolei e Silva (2018, p. 5 e 6) destacam que o regime de precipitação também é o elemento estruturante da recarga das fontes subterrâneas de água. No Rio Grande do Norte, há um total de cinco sistemas de aquíferos e cada um deles possui características específicas, quanto à disponibilidade hídrica, são eles: i) Aquífero Açu; ii) Aquífero Barreiras; iii) Aquífero Aluvião; iv) Aquífero Jandaíra e; v) Aquífero Cristalino. O aquífero Cristalino ocupa a maior extensão territorial do Estado, tendo sua composição geológica relacionada às rochas do embasamento cristalino. Funcionalmente esse aquífero é limitado tanto em quantidade, pois suas vazões variam de 2 a 16 m³/hora, quanto em qualidade, uma vez que a água captada apresenta elevado teor de salinidade.

Com relação às bacias hidrográficas, percebe-se que elas apresentam magnitudes espaciais diferenciadas. Dentre as de maior abrangência territorial de área drenada, duas se destacam no contexto do Estado: a bacia do rio Apodi/Mossoró e a bacia

do rio Piranhas/Açu, sendo as mesmas de extrema relevância para as populações que habitam essas regiões.

Uma das estratégias técnicas utilizadas para promover a reservação dessas águas, em pontos específicos do território estadual, foi a construção de reservatórios. Em relação ao monitoramento desses reservatórios, existem dados conflitantes entre o monitoramento da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e o da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos hídricos do Rio Grande do Norte (SEMARH). Enquanto a ANA apresenta o total de 4.332,7 hm³ de capacidade total, distribuídos em 54 reservatórios, localizados em 44 municípios, a SEMARH apresenta um quantitativo de 4.482,8 hm³ de capacidade total, distribuídos em 48 reservatórios, localizados em 42 municípios (ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2020a; SEMARH, 2020).

A estratégia de represamento de águas, em reservatórios de grande capacidade volumétrica, não consegue ter influência em todo o território do Estado, tampouco se configura em um sistema eficiente de abastecimento que forneça água de qualidade e quantidade suficientes para toda a população. A opção pelo represamento está baseada na resolubilidade de falta de água, mediante a acumulação de água em grandes quantidades. No entanto, nem sempre está claro de que maneira essa água chega aos usuários. Se o objetivo final é ofertar água para o consumo humano e atividades produtivas, a eficiência da estratégia passa também pela disponibilidade hídrica em determinado momento e local para os usos múltiplos.

Uma alternativa, adotada recorrentemente por diferentes gestões, à frente do executivo estadual, consiste na construção de sistemas de adutoras que transportam água para as regiões sensíveis à crise hídrica. Esse sistema técnico tem como função transportar água de uma localidade para outra, seja através da inclinação do terreno, seja via bombeamento. A Figura 10 mostra a conformação da hidrografia do Estado, destacando também a espacialização das adutoras e os comitês de bacias hidrográficas no território.

Os dados ,para elaboração da Figura 11, foram coletados junto à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente e à Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (ANA, 2020; IDEMA, 2018; SEMARH, 2020). A primeira instituição disponibiliza informações geográficas sobre os comitês de bacias hidrográficas; a segunda e a terceira instituições, sobre os recursos hídricos e as adutoras no Estado.

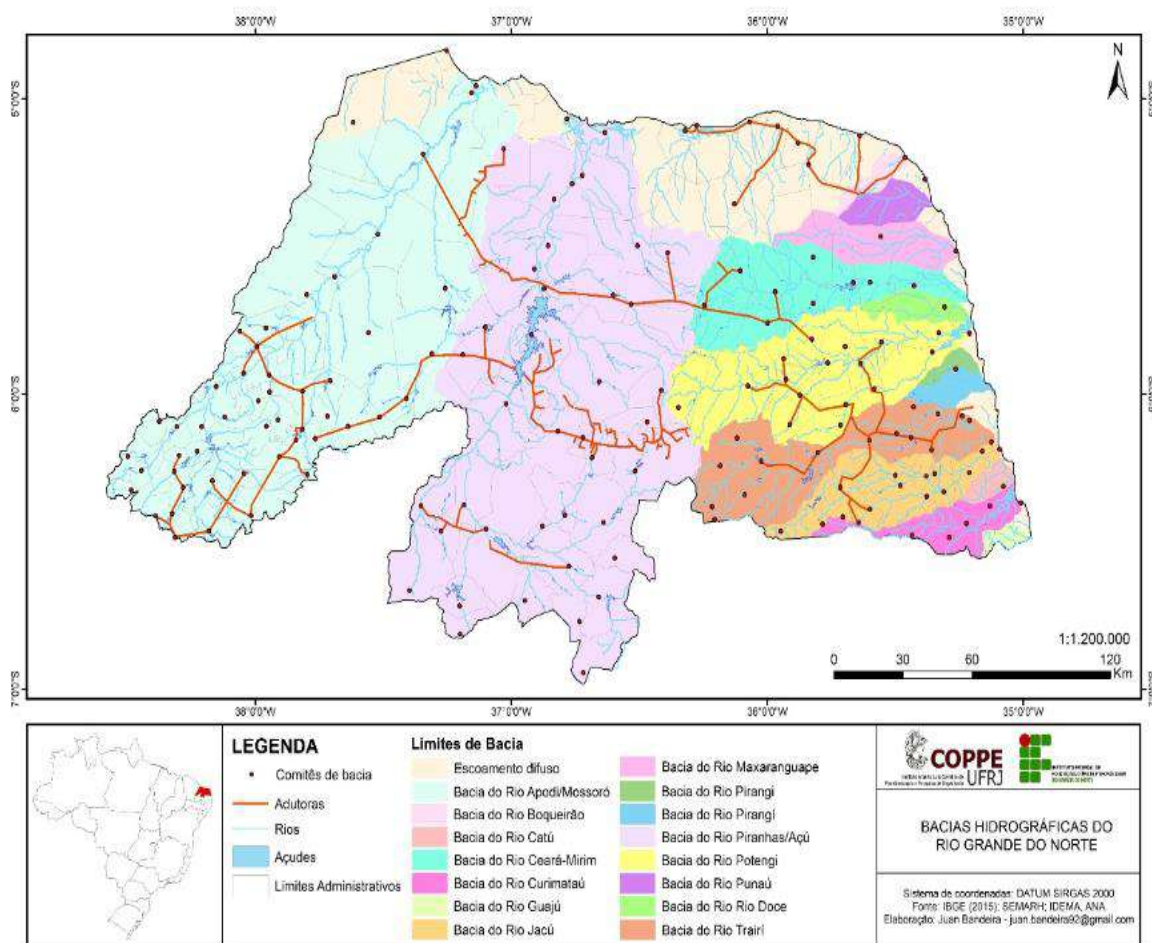


Figura 11 - Infraestrutura hídrica de açudes, adutoras e bacias hidrográficas no Rio Grande do Norte.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do (IDEMA, 2020).

A variação das formas das adutoras pode estar relacionada a vários fatores: distância entre os pontos de adução; a geomorfologia do terreno; o número de localidades a serem atendidas. Seu pleno funcionamento tem relevância fundamental na melhoria do abastecimento de água de vários municípios do Estado, mesmo em regime de rodízio³⁴, em razão da seca. No entanto, em período de estiagem prolongada, baixo nível de água nos reservatórios e nos corpos hídricos superficiais, o uso dessa estratégia fica comprometido, devido ao baixo nível no volume de água acumulada nos reservatórios, forçando ou até mesmo interrompendo o abastecimento. A Figura 12 ilustra como os reservatórios no Estado acompanharam o período de seca compreendido entre 2012 e 2017. Nela se pode inferir que o volume equivalente dos reservatórios no Rio Grande do Norte começa a cair a partir de 2012, seguindo em queda até 2017. Nesse período, o Estado registrou chuvas abaixo da média e estiagem prolongada, caracterizando uma

³⁴ Consiste em um abastecimento com interrupções, conforme uma periodicidade previamente estabelecida.

condição de seca. Dos 167 municípios, em 2017, 91% decretaram situação de emergência ou Estado de Calamidade³⁵, correspondendo a 153 municípios. Em 2018, esse percentual se manteve e em 2019 reduziu a 80%, 135 municípios.

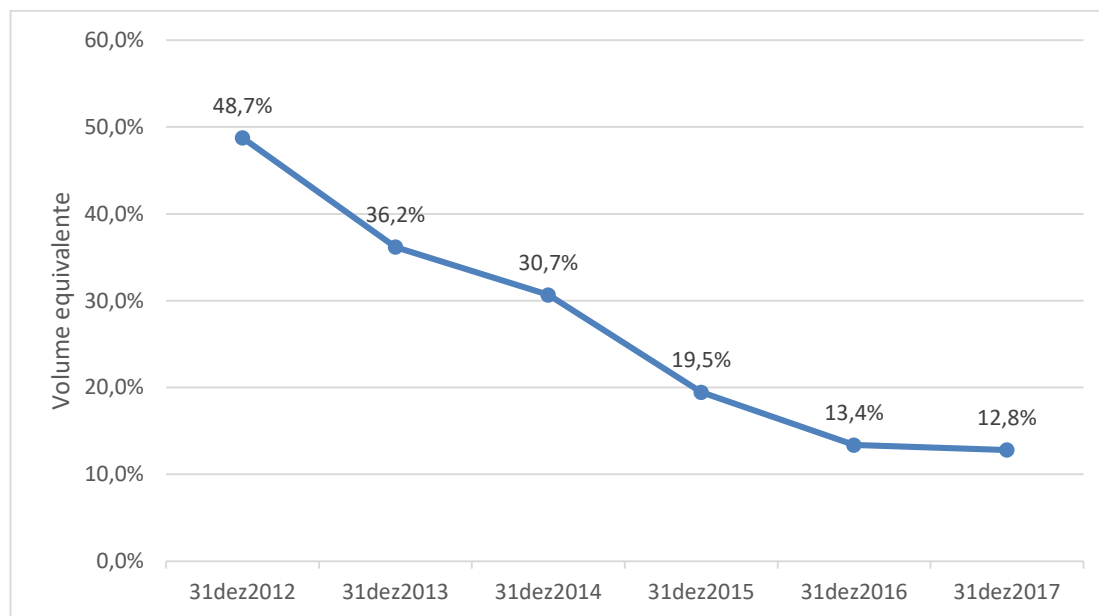


Figura 12 - Reservatório Equivalente do Estado do Rio Grande do Norte entre 2012 e 2017.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Sistema de Acompanhamento de reservatórios (ANA, 2020b).

A sensibilidade dos reservatórios a períodos de estiagem compromete o sistema de adutoras que coletam águas represadas nesses locais, forçando as autoridades a adotarem outras estratégias para garantir o abastecimento de água. Nesse contexto, para a garantia do abastecimento regular de água, seja através da concessionária estadual, seja através do sistema autônomo municipal ou de outra forma não convencional, faz-se necessária a integração dos três entes federativos na consecução de políticas públicas alternativas e ações emergenciais para enfrentar uma condição de vulnerabilidade.

4.4.1. Políticas Públicas e Projetos para Garantia da Segurança Hídrica.

Dentre as alternativas consideradas para amenizar os efeitos de períodos longos de estiagens, destacam-se: i) políticas emergências, como o uso de caminhões com tanque

³⁵ Decreto nº 26.730, de 22 de março de 2017, Decreto nº 28.325, de 12 de setembro de 2018 e Decreto nº 29.131, de 08 de setembro de 2019, respectivamente.

para transporte de águas até pontos de coleta; ii) grandes obras de infraestrutura hídricas, como a transposição de águas, ou seja, a transferência de águas entre bacias hidrográficas e; iii) políticas públicas e projetos sociais, como o uso de cisternas para captação e armazenamento de água e instalação de pequenos sistemas de dessalinização de águas subterrâneas.

4.4.1.1. Transporte de Água através de Caminhões com Tanque

Uma política emergencial recorrentemente implementada pelo Governo Federal em períodos de estiagem que comprometem o nível de água nos reservatórios e corpos hídricos superficiais, além dos sistemas de adutoras vinculados a esses, é o uso de caminhões com tanque para transporte de água, conhecido usualmente como Carro-Pipa.

Em 2019, o Ministério da Defesa, através do Edital de Credenciamento nº 01/2019 – INEX 03/2019 do Exército Brasileiro, convocou interessados a prestarem serviços ao Programa Emergencial de Distribuição de Água Potável, através da coleta, transporte e distribuição de água potável, para atendimento das necessidades de populações situadas em municípios atingidos pela seca, na área dos municípios da Região do Semiárido do Rio Grande do Norte. O Edital previa, para o ano de 2020, a atuação em 28 municípios, 1.965 localidades e um custo estimado em US \$ 242.512,20 ³⁶, com um custo médio de US \$ 77,62 por carrada³⁷ mensal.

A respeito dessa estratégia, o uso de caminhões para serviços de coleta, transporte e distribuição de água potável entre o manancial e o ponto de abastecimento pode apresentar um maior risco à saúde humana. Segundo Mendonça *et al.* (2017, p. 473), essa opção pode apresentar riscos de fornecimento de uma água com baixo índice de potabilidade e um alto risco de contaminação por patógenos, devido à presença dos coliformes fecais, *Pseudomonas Aeruginosa* e pela elevada contagem de bactérias heterotróficas, sendo imprópria para o consumo humano. Essa estratégia, quando adotada, é um indicador de colapso hídrico e de calamidade pública nos municípios (TROLEI; SILVA, 2018, p. 13).

³⁶ Dólar utilizado do dia 20/05/2019.

³⁷ Carga transportada, com capacidade mínima de 7.000 e máxima de 10.000 litros de água.

4.4.1.2. Transposição de águas entre bacias hidrográficas

A respeito de grandes obras hídricas para a Região do Semiárido Brasileiro com abrangência no território do Estado do Rio Grande do Norte (RN), o projeto de integração do Rio São Francisco (PISF) é parte de uma estratégia para o desenvolvimento da região e tem por objetivo atender a necessidades de abastecimento de água da população do Nordeste Setentrional. Esse projeto visa beneficiar doze milhões de pessoas, tendo como orçamento previsto o valor de oito bilhões de reais (VIANA, 2014, p. 8). Por essa estratégia, as águas da bacia hidrográfica do Rio São Francisco serão transpostas para o RN, a partir das bacias hidrográficas Apodi/Mossoró e Piranhas/Açú no Estado. A previsão para a chegada das águas transposta nas bacias hidrográficas no Estado, quando concluída as obras do Eixo Norte, é o ano 2021.

Ainda sobre a opção pelas águas transpostas, é importante ressaltar, especialmente, no que se relaciona às demandas dos municípios mais deficitários, que sem um projeto que redistribua a água para essas localidades, não haverá um aumento real na quantidade de beneficiados, aumentando o risco de desperdício e dificultando a alocação inteligente de tal recurso. Assim, mesmo com a influência do eixo perenizado, será necessário expandir o seu alcance, pois

[...] a premissa da vazão firme pressupõe, de acordo com o projeto, que o PISF fornece, de forma ininterrupta, 2,7 m³/s de água ao longo dos 50 anos de simulação. A maior influência da premissa se dá nos usos prioritários (abastecimento urbano, rural e transferências). Uma vez que estes usos são os primeiros beneficiados, são também os que mais apresentam variações de déficit hídrico caso essa entrada fosse suprimida, podendo ser 60% maiores caso o projeto não se sustente como planejado (ANA, 2018, p. 107).

4.4.1.3. Uso de Tecnologias Sociais como Cisternas e Sistemas de Dessalinização

No tocante aos projetos e políticas sociais para promoção do acesso à água, no contexto da Região do Semiárido Brasileiro, com abrangência no território do Rio Grande do Norte, tecnologias sociais, como cisternas e dessalinizadores, estão presentes em programas governamentais para da segurança hídrica.

A tecnologia de Cisterna está presente em programas voltados para consumo humano e produção de alimentos de famílias rurais, como captação de água, a partir de corpos hídricos superficiais, águas represadas e águas subterrâneas, podendo ser destacado: i) Programa Um Milhão de Cisternas; ii) Programa Água para Todos e; iii)

Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e outras Tecnologias Sociais. Já a tecnologia de dessalinização está presente no aproveitamento de águas subterrâneas salobras em salinas e em comunidades rurais, através do Projeto Social “Água e Renda: água para vida” e o Programa Água Doce.

Em 2019, com investimentos repassados pelo Governo Federal, o Governo do Rio Grande do Norte assinou contratos com entidades sem fins lucrativos, no valor de 13 milhões de reais, para a construção de 1.796 cisternas em 47 municípios do Estado, sendo elas divididas por tipo de uso, 1.176 unidades para o consumo humano e 620 para a produção alimentar (SEMARH, 2020).

A tecnologia de cisterna oferece um acesso mínimo à água para famílias rurais e consiste em uma estratégia de custo inferior e reduzido impacto ambiental, quando comparado àqueles gerados pelas grandes obras de infraestrutura hídrica. Entretanto, as cisternas não constituem soluções definitivas frente à vulnerabilidade social e climática, tendo em vista as incertezas na disponibilidade hídrica em algumas ocasiões. Sua eficácia depende, portanto, do uso sustentável da água, que é função da compreensão, pelas famílias, dos condicionantes do armazenamento e uso de água em período de estiagem, bem como, de seu tratamento para o consumo (NOGUEIRA; MILHORANCE; MENDES, 2020).

Por se tratar de uma estratégia dispersa, o que dificulta o controle das cisternas instaladas, faz-se mister assinalar que a indisponibilidade de dados sobre seu uso dificulta a avaliação da sua contribuição para a redução da vulnerabilidade da população rural.(ANDRADE, 2017, p. 137), ponderação importante para um melhor controle e revisão das ações adotadas, em situações possíveis de serem revertidas, a partir de uma gestão integrada e coordenada entre os atores sociais envolvidos

Outra estratégia adotada, de forma semelhante ao uso das cisternas, que também melhora a convivência com o Semiárido Brasileiro, é o aproveitamento de águas subterrâneas salobras e salinas para o fornecimento de água à população de comunidades rurais no Rio Grande do Norte, que ganhou relevo como política pública pela implantação do Programa Água Doce, uma política pública do Governo Federal que coordena a instalação de sistemas de dessalinização de águas subterrâneas, promovendo uma gestão compartilhada destes, englobando o Governo Estadual, o Município e a comunidade.

Importa também destacar o Projeto “Água e Renda: água para vida”, uma ação social da empresa Voltalia³⁸. O projeto social visa fornecer água de qualidade para as famílias das vilas Pará e Amazonas, localizadas no Município de Serra do Mel/RN, beneficiando 179 famílias, com o abastecimento de 20 litros de água por dia por família. Além de sistemas produtivos baseados na criação de ovinos, peixes e cultivo de plantas.

4.5. PROGRAMA ÁGUA DOCE (PAD) NO RIO GRANDE DO NORTE

Programas, para a promoção da garantia da segurança hídrica, podem surgir para preencher lacunas deixadas pela infraestrutura hídrica existente ou por falta de políticas públicas mais abrangentes, voltadas para a convivência humana na área semiárida, principalmente, para parte da população que pratica a agricultura familiar de subsistência, parcela mais sensível a fenômeno natural da seca.

Dentre os programas de abastecimento alternativo de água no Estado do Rio Grande do Norte, a presente tese destaca o aproveitamento de águas salobras e salinas, a partir do processo de dessalinização através do Programa Água Doce (PAD), coordenado e financiado com recursos do Governo Federal para beneficiar a Região do Semiárido Brasileiro. A pesquisa está circunscrita à sua área de atuação do PAD no território do Estado do Rio Grande do Norte.

De acordo com o MMA (2012, p. 35-36), o Programa Água doce (PAD) configura-se em uma política pública permanente, com o objetivo de ofertar água de boa qualidade para o consumo humano. O programa viabiliza e disciplina a implantação de dessalinizadores para atender às populações de baixa renda em comunidades rurais na Região do Semiárido Brasileiro. A estimativa do PAD foi de beneficiar 480 mil habitantes, cerca de 2% da população residente na Região do Semiárido Brasileiro, inicialmente até o ano de 2018. Seus objetivos se mantêm sem um horizonte temporal definido para o seu alcance, o que fragiliza o andamento do Programa. Para o alcance de tal meta, o PAD estimou um investimento total de aproximadamente US \$ 150 milhões³⁹ em 10 Estados. Para o Estado do Rio Grande do Norte, estiveram previstos US \$ 13 milhões e 27 mil beneficiados.

³⁸ Empresa responsável pela instalação de um parque eólico de 108MW de potência instalada no Estado do Rio Grande do Norte

³⁹ Utilizado média anual do dólar americano para o ano de 2011.

O Programa Água Doce está estruturado, a partir de uma gestão compartilhada dos sistemas de dessalinização, programados para serem instalados nas comunidades beneficiadas pelo Programa, com participação efetiva dos comunitários e representantes dos Municípios, Estados e Governo Federal, definindo as reponsabilidades das partes na gestão e buscam êxito na implantação e manutenção dos sistemas e, prioritariamente, o fornecimento regular no abastecimento de água para as famílias dessas comunidades (MDR, 2020a).

A garantia do acesso à água, no âmbito do Programa Água Doce, está vinculada ao aproveitamento sustentável de águas subterrâneas salobras e salinas. Para isso, leva-se em consideração: i) o diagnóstico para seleção das comunidades, feito por meio de critérios técnicos, testes de vazão, análises físico-químicas da água dos poços e caracterização socioambiental; uma gestão compartilhada; ii) a destinação ambientalmente indicada da água residual que concentra os sais removidos no processo de dessalinização e; iii) o emprego da energia solar fotovoltaica para suprir a demanda de energia elétrica dos sistemas de dessalinização (MDR, 2020b).

4.5.1. Índice de Condição de Acesso à Água para seleção de Localidades e Mobilização Social

A seleção das comunidades é realizada através da caracterização quanto as suas condições socioambientais, bem como, das análises físico-químicas e bacteriológicas da água subterrânea disponível. A realização do diagnóstico visa elencar, em ordem decrescente de prioridade, os municípios a serem atendidos pelo Programa Água Doce.

Priorizam-se os municípios mais críticos quanto às condições de acesso de água, com base no Índice de Condição de Acesso à Água (ICAA), índice que compila vários indicadores sociais e ambientais, a exemplo do IDH-M, Pluviometria, Taxa de Mortalidade Infantil, Intensidade de Pobreza e presença de sais nos recursos hídricos subterrâneos. A Figura 13 apresenta a composição do ICAA, destacando os principais aspectos ambientais, econômicos e sociais analisados no diagnóstico das comunidades, nela se podem observar os critérios considerados para classificação da criticidade dos municípios em relação à condição de acesso à água.

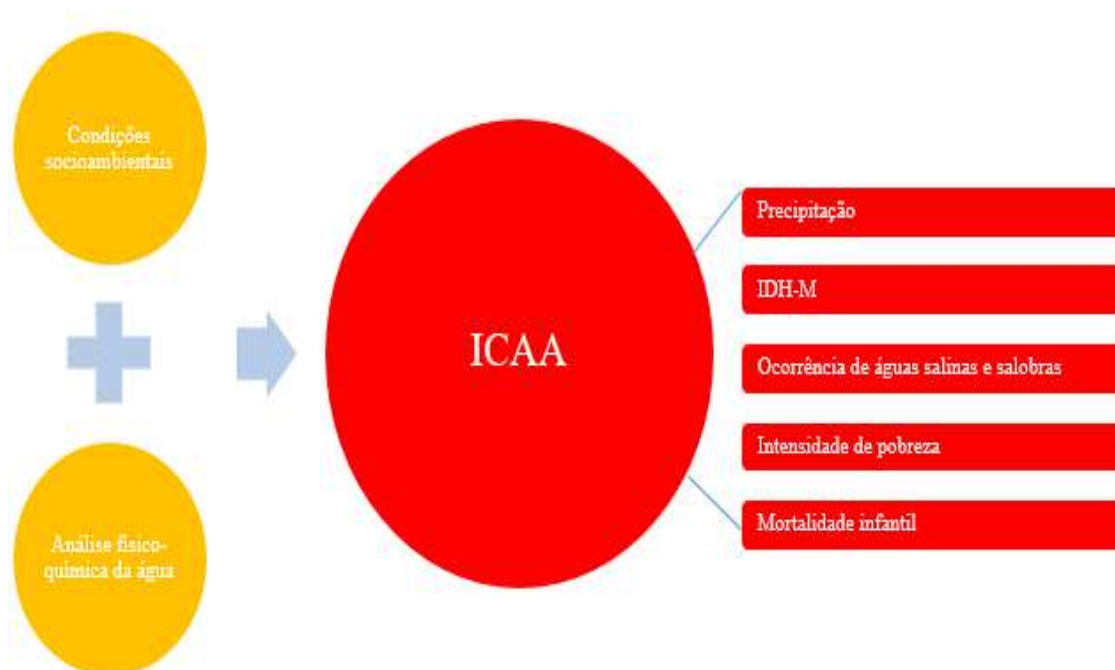


Figura 13 - Composição do Índice de Condição de Acesso à Água adotado pelo Programa Água Doce.

Fonte: Elaboração própria.

A utilização de indicadores ambientais, como a precipitação média pluviométrica, teor de sais em águas subterrâneas e indicadores socioeconômicos como intensidade da pobreza, taxa de mortalidade infantil e índice de desenvolvimento humano, ajudam as autoridades públicas a avaliarem a situação de diferentes localidades. Essa abordagem possibilita um maior embasamento técnico, o que permite uma melhor caracterização da realidade.

Os sistemas de dessalinização, utilizados no Programa Água Doce, produzem em pequena escala, cerca de 10 litros de água para consumo humano por dia por pessoa ou 40 litros por família, com possibilidade de atender diariamente a até 400 pessoas residentes por comunidade, ou seja, atende a uma demanda hídrica diária de até 4 metros cúbicos.

Para utilizar as águas subterrâneas no âmbito do Programa Água Doce, as comunidades necessitam de um poço artesiano não jorrante⁴⁰, com uma vazão de 1.000 litros de água por hora. Em 2020, o programa realizou o diagnóstico socioambiental, bem como as condições físico-químicas e bacteriológicas da água em 3.677 comunidades, distribuídas em 291 municípios, de todo o semiárido. Sua meta é beneficiar 1.205 comunidades com sistemas de dessalinização. Da meta estabelecida em julho de 2011,

⁴⁰ Poço para captação de águas subterrâneas com necessidade de bombeamento da água até a superfície.

65,8% dos sistemas de dessalinização previstos estão em funcionamento, beneficiando 793 comunidades, 33,7% dos sistemas estão com obras em andamento ou aguardando o início das obras, em 406 comunidades, e 0,5% dos sistemas está parado, em 6 comunidades.

No Rio Grande do Norte, o Programa Água Doce realizou, até março de 2020, o diagnóstico socioambiental em 248 comunidades, distribuídas em 63 municípios. Sua meta no Estado é beneficiar 103 comunidades com sistemas de dessalinização. Nessa data, 68 sistemas de dessalinização estavam em funcionamento, 66% do previsto, distribuídos por 38 municípios, que apresentam um grau de desenvolvimento inferior ao do país (MDR, 2020c; MORAIS, 2017). A tabela 6 apresenta dados gerais sobre as 68 comunidades sobre a localização e a quantidade de famílias informadas.

Tabela 6. Localização e quantidade de famílias das 68 comunidades beneficiados pelo Programa Água Doce no Rio Grande do Norte até março de 2020.

Município	Comunidade	Famílias	Município	Comunidade	Famílias	Município	Comunidade	famílias
Açu	Panon II	200	Jandaíra	Santa Inês	25	Parazinho	Pereiros	55
Afonso Bezerra	Floresta I	34		Tubibal	220	Parelhas	Várzea Do Barro	50
	Aldemir Lemos	30		Permissão do Meio	60	Pedra Grande	Bom Sucesso	69
Bento Fernandes	Espinheiro I	120	Janduís	Verruma	33	Pedra Preta	Baixa Dos Angicos	50
	Barra da Espingarda	87	Japi	Casinhas	43	Pedro Avelino	Aroeira	50
Caicó	Manhoso	78	Jardim de Angicos	Serrinha de Cima	80	Pendências	Mulungu	33
Carnaúba dos Dantas	Rajada	105		Açucena	20		Algodões	32
	Baixa Verde	150		Baixa Verde/Serra dos Macacos	42	Pilões	Várzea Comprida	30
Cerro Corá	Santa Rosa	19		Boa Sorte	70	Riachuelo	Patativa do Assaré	33
	Cachoeira	100		Maria Da Paz	45	Santa Maria	Bancos	33
Currais Novos	Namorados	47	João Câmara	Modelo I	72		Coroas Limpas	46
	São Rafael	45		Modelo II	100	Santana do Matos	Malhadinha	19
Equador	Malhada Da Areia	33		Oiticica	40		Santa Tereza	34
Fernando Pedroza	Pelo Sinal II	17		Valentin	90	São Bento do Norte	Alto do Oriente	86
	Cachoeirinha	60		Vivará	60		Santa Vitória	69
Frutuoso Gomes	Mata Seca	80		Xoá	74	São José do Seridó	Caatinga Grande	100
Governador Dix-Sept Rosado	Osmar Vicente	46	Lajes	Mulungu	30	São Vicente	Torrão	42
	Capivara	32	Lajes Pintadas	Riacho Fechado	28	Serrinha	Pendências	40
	Itu	147		Sebastião Andrade	75	Tibau	Lagoa de Salsa	90
Ipanguaçu	Picada	139	Macau	Venâncio Zacarias	35		Padre Pedro Neffs	37
	Porto	68	Messias Targino	Trincheira da Serra	42	Upanema	São Manoel II	65
	Cabeço	40	Ouro Branco	São Roque	25		Sombreiro	65
Jandaíra	Guarapes	100	Parazinho	Limão/Limoeiro	25	-	-	-

Fonte: Elaboração própria a partir do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR, 2020c)

A respeito dos 38 municípios do Rio Grande do Norte beneficiados pelo Programa Água Doce (PAD), com sistemas de dessalinização em operação, ao analisar o PIB *per capita* municipal, em 2017, verifica-se que 35 (92%) cidades potiguares registraram um PIB *per capita* inferior ao do país, e 24 (63%) municípios beneficiados no Estado registraram um PIB *per capita* menor que o registrado para a Região do Semiárido Brasileiro, sugerindo que, no Estado do Rio Grande do Norte, no geral, o PAD priorizou atender a comunidades localizadas em municípios de renda média inferior à renda média nacional. A Figura 14 compara o PIB *per capita* em 2017 (em US \$) do Brasil e da Região do Semiárido Brasileiro com o PIB *per capita* dos municípios do Estado do Rio Grande do Norte com comunidades beneficiadas pelo Programa Água Doce. Nela se pode observar que a maioria desses municípios registrou baixo nível de renda *per capita*, com valores abaixo da metade do registrado para a média nacional.

Os municípios de Parazinho, São Bento do Norte, Pedra Grande e João Câmara registraram o melhor desempenho no PIB *per capita* em 2017, dentre os municípios beneficiados pelo Programa Água Doce no Rio Grande do Norte. Um ponto em comum, entre esses municípios, é o potencial para geração de energia elétrica, a partir da fonte eólico, esses quatro municípios concentram 48% (84)⁴¹ dos parques eólicos em operação no Estado (169) e 45% da potência instalada com 2.100.390 kW. De acordo com o IBGE (2019d), a energia eólica elevou o PIB *per capita* de municípios do Estado, tendo a geração de eletricidade a partir dessa fonte como principal atividade econômica.

No município de Jandaíra/RN, com PIB *per capita* de US \$ 3.358,00, está localizada a comunidade Tubibal com 220 famílias cadastradas, a maior em quantitativo de cadastro. Já a comunidade de Pelo Sinal II, localizada no município de Fernando Pedroza/RN, tem o menor quantitativo de famílias cadastradas, 17 famílias e apresenta um PIB *per capita* de US \$ 3.244,00.

⁴¹ Consulta realizada no Sistema de Informações de Geração da ANEEL, dia 7/10/2020

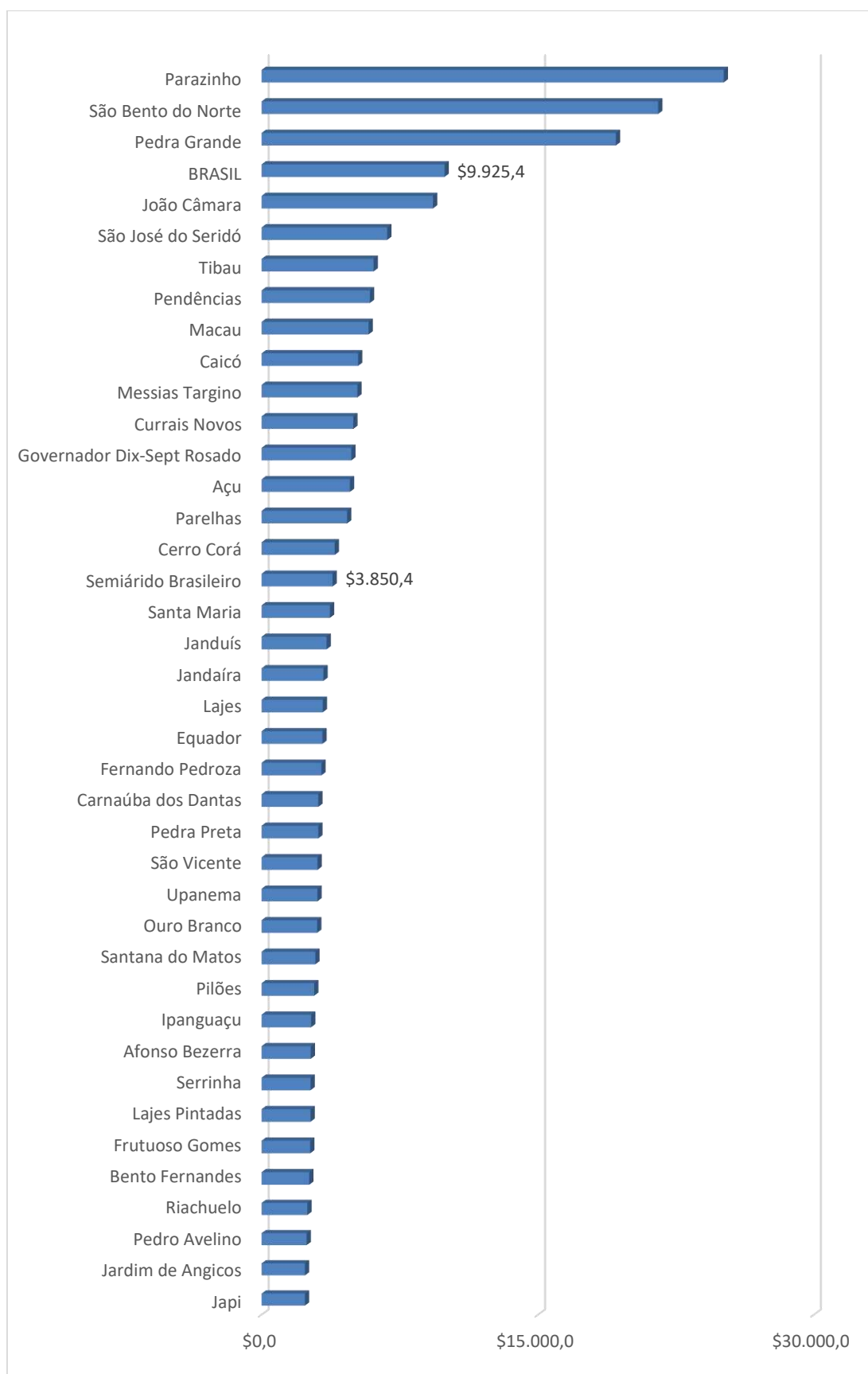


Figura 14 – PIB *per capita* 2017 em US \$ dos municípios do Rio Grande do Norte.
 Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IBGE cidades.

Uma vez implementados o sistema de dessalinização, a manutenção e monitoramento dos mesmos ocorrem através de acordos de gestão compartilhada, tendo por objetivo:

- i. Contribuir para o estabelecimento de bases sólidas de cooperação e participação social na gestão dos sistemas de dessalinização;
- ii. Colaborar no processo de definição dos acordos que garantirão o funcionamento a longo prazo dos dessalinizadores;
- iii. Mediar a interlocução, as negociações e os conflitos de interesses entre os diferentes atores sociais envolvidos no processo de implementação dos sistemas de dessalinização.

Nesses termos, compete ao Governo Federal definir diretrizes do Programa Água Doce e assegurar para estas verbas orçamentárias. Aos Governos estaduais, cabe executar as obras necessárias para instalação do sistema de dessalinização, prestar assistência técnica, capacitar os operadores para a manutenção dos sistemas (preventiva, corretiva), além do monitorar dos mesmos. Já os municípios contribuem com custos referentes ao fornecimento de energia elétrica e com a compensação financeira ao operador do sistema de dessalinização. À comunidade compete criar e gerenciar um fundo destinado ao atendimento de pequenos reparos, sendo seu valor mensal obtido através de um rateio feito pelas famílias beneficiadas, segundo o acordo de gestão.

Somadas ao diagnóstico socioeconômico e à gestão compartilhada nas comunidades beneficiados pelo programa, as águas utilizadas são monitoradas pelos Governos Federal e Estaduais para a análise de sua adequação aos potenciais usos, como consumo humano, dessedentação animal e agricultura biossalina.

O controle da qualidade da água ofertada para consumo humano, a partir de uma política pública, deve ser de responsabilidade do poder público e também cobrado pelas lideranças políticas locais ou quem detiver função de representatividade nas comunidades.

Visando reduzir riscos inerentes a doenças relacionadas à água, a qualidade da água dessalinizada é monitorada, considerando os parâmetros definidos pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde⁴² (MS, 2011).

⁴² Dispõe sobre controle do padrão de potabilidade de água proveniente de solução alternativa individual de abastecimento.

Nestes termos, importa destacar que em 2019, durante pesquisa de campo na comunidade Maria da Paz, foi possível observar o seguinte depoimento: *“desde que o sistema de dessalinização entrou em operação, a quantidade de doenças relacionadas à água diminuiu entre os moradores da comunidade”* (MDR, 2020c) (informação verbal⁴³).

Além da destinação para consumo humano, as águas subterrâneas podem ser utilizadas com outros usos consuntivos, como a dessedentação animal e a agricultura bioessalina,

O uso na agricultura bioessalina pode ocorrer: para os casos de excesso de água salobra destinada proveniente do subsolo e destinada para o processo de dessalinização; ou através das águas residuais que concentram os sais removidos do processo de dessalinização. No entanto, o uso de água, com elevado teor de sais, deve ser precedido de avaliação técnica para não identificar possíveis usos consuntivos. Dessa forma, no contexto de aproveitamento dos corpos hídricos salobros e salinos, águas subterrâneas ou residuais, provenientes do processo de dessalinização, são necessárias a sua caracterização físico-química dessas águas.

No Rio grande do Norte, a análise do perfil hidro geoquímico ⁴⁴das águas subterrâneas das comunidades diagnosticadas pelo Programa Água Doce indica que, sem prévio tratamento, elas são impróprias para consumo humano. Uma avaliação de Porto (2017) em 68 comunidades, de um total de 103, indica que as águas subterrâneas, considerando as determinações da Resolução nº 357 do CONAMA, por apresentarem teores de sais dissolvidos com valores de referência acima de 500 Mg/L, qualificam-se como águas salobras. Isso sugere que a maioria das águas subterrâneas presentes no semiárido Potiguar superam os limites de potabilidade presentes na Portaria 2.914/2011-MS (MORAIS, 2017), fato que as torna inadequadas para o consumo humano direto, No entanto, a partir do uso de dessalinizadores, os sais presentes nessas águas podem ser removidos , tornando-as apropriadas para o consumo humano.

No Estado do Rio Grande do Norte, o estudo elaborado por Porto (2017) ,com o objetivo de contribuir com a gestão do Programa Água Doce ,através da avaliação do nível de salinidade das águas subterrâneas no Estado para possíveis usos consuntivos, incluindo o estabelecimento de parâmetros e procedimentos para a adoção de práticas

⁴³ Relato do morador responsável pela operação do sistema de dessalinização na comunidade Maria da Paz, localizada no município de João Câmara/RN e beneficiada pelo Programa Água Doce, em 18 de abril de 2018.

⁴⁴ É o ramo da Hidrogeologia que trata das forças atuantes sobre a água subterrânea e sua reação (CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS, 2020).

adequadas no manejo, assinala que ,na maioria das comunidades beneficiadas pelo Programa Água Doce (PAD), as águas subterrâneas disponíveis apresentam salinidade⁴⁵ que superam o limite de potabilidade da Portaria 2.914/2011- MS, porém, em uma condição baixa ou moderada. Ao se analisarem os dados de 171 comunidades vinculadas ao Programa Água Doce, podem ser tiradas as seguintes conclusões, no que se refere à adequabilidade do uso de suas águas para irrigação e dessedentação animal.

- i) Verifica que 102 comunidades apresentam baixa ou moderada salinidade, abaixo de 6 dS/m;
- ii) Das 171 comunidades avaliadas, 54 foram beneficiadas pelo Programa Água Doce e possuem sistema de dessalinização em operação em 2020;
- iii) Para a irrigação, 45 das 54 comunidades beneficiada pelo Programa Água Doce apresentam salinidade baixa ou moderada para o cultivo de espécies;
- iv) Para uso na dessedentação animal, 47 das 54 comunidades beneficiada pelo Programa Água Doce apresentam adequada salinidade para o rebanho de bovinos, caprinos e ovinos.

Nesta perspectiva, a utilização das águas salobras e salinas tem potencial para serem exploradas em atividades de agricultura familiar nas comunidades da região semiárida do Rio Grande do Norte e melhorar as condições socioeconômicas das famílias assentadas nesses territórios.

Em um contexto de tendência de intensificação das condições de aridez e menor volume médio de chuvas, em função dos potenciais impactos projetados em cenários de mudança global do clima, as águas subterrâneas, bem como aquelas provenientes das sobras do processo de dessalinização tornam-se importantes alternativas de adaptação a esse cenário. Entretanto, Porto *et al.* (2019, p. 12) alertam para a necessária promoção do uso apropriado dessa fonte hídrica, ressaltando que o aproveitamento de águas com elevada salinidade necessita de orientação técnica devida, em termos da qualidade da água e do tipo de solo utilizado.

⁴⁵ Salinidade: baixa < 4dS/m; 4 dS/m < moderada > 6 dS/m; 6 dS/m < Alta > 10 dS/m; 10 dS/m < Muito Alta (PORTO, 2017), sendo dS/m a unidade de condutividade elétrica adotada pelo Sistema Internacional de Unidades.

4.5.2. Destinação do Resíduo Oriundo do Sistema de Dessalinização

O Programa Água Doce se destina a uma produção em pequenas escalas, na qual o sistema de dessalinização utiliza o processo baseado por membrana, a partir da técnica Osmose Inversa⁴⁶, essa técnica é analisada na seção 5, na qual estão elencados os principais processos e técnicas de dessalinização em operação no mundo.

O Programa Água Doce se estrutura em um volume inferior a 4 metros cúbicos de água, porém, independente da demanda hídrica no local, seus resíduos – denominado concentrado – dependendo das características físico-químicas, possuem potencial para aproveitamento em determinadas atividades. Podendo os mesmos serem utilizados em atividades econômicas como a agricultura bioessalina, ovinocaprinocultura e piscicultura ou empregados na recuperação do solo.

Para Porto *et al.* (2019, p. 11), em alguns sistemas de dessalinização presentes no Programa Água Doce (PAD, aproximadamente metade da água que entra no processo se transforma em um concentrado com salinidade superior àquela retirada do reservatório subterrâneo (água do poço perfurado).

Nessa perspectiva, esses resíduos, motivo de preocupação vinculadas a possíveis danos ao solo e às águas subterrâneas, passam a ser encarados como um recurso alternativo à agropecuária familiar na Região do Semiárido Brasileiro. Para evitar a contaminação e degradação do solo, o Programa Água Doce coleta as sobras das águas do processo de dessalinização e as armazenam em tanques revestidos com películas impermeáveis, impedindo assim a salinização de outras fontes de água, ou do solo. No entanto, a exclusiva destinação dessas águas residuais para evaporação é considerada um desperdício de recursos por parte das comunidades beneficiadas pelo Programa Água Doce, uma vez que é recorrente o uso desse recurso na dessedentação animal, por iniciativa da própria comunidade.

Atenta à necessidade da disposição adequada do concentrado, a Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária (EMBRAPA) desenvolveu, através de seus projetos de pesquisa, um sistema de produção integrada no qual emprega o concentrado para aumentar a oferta de proteína animal, seja através da criação de peixes, a exemplo da tilápia, seja na produção de forragem para alimentar bovinos, ovinos e caprinos, explorados pelos produtores de base familiar.

⁴⁶ As principais técnicas de dessalinização em operação no mundo são analisadas na seção 5 da presente tese, com destaque para o processo de dessalinização baseado em membranas, a técnica Osmose Inversa.

Sabe-se que a implantação de sistemas produtivos depende da avaliação da qualidade da água e do solo, bem como da mobilização social. Portanto, é imperativo uma maior integração entre todos os atores envolvidos, para que os sistemas produtivos passem a integrar os sistemas de dessalinização, sempre que as condições forem favoráveis.

Nesse contexto, o Programa Água Doce prevê a combinação de ações integradas, com forte impacto social, que, além de produzir água potável para as comunidades atendidas, proporcionem o aproveitamento econômico das águas residuais resultantes do processo de dessalinização, através de arranjos produtivos baseados na caprino-ovinocultura, bovinocultura, piscicultura, irrigação de plantas halófitas.

A água rejeitada pelas membranas pode ser utilizada para a dessedentação animal, a criação de peixes e o plantio de espécie vegetal adaptável à água com elevado teor salino, como a cultura *Atriplex*⁴⁷.

O processo de dessalinização integrada a uma estrutura produtiva se efetua em quatro etapas, a saber: i) primeiro a água potável é produzida pelo dessalinizador; ii) em seguida o resíduo do processo de dessalinização é utilizado em tanques na criação de tilápia; iii) depois o resíduo de prática da piscicultura é utilizado no cultivo do *Atriplex*; iv) por último, a forragem produzida é utilizada na alimentação de ovinos e caprinos. A Figura 15 apresenta as etapas para implantação do sistema produtivo para integração com o sistema de dessalinização proposto pelo Programa Água Doce, nela se pode observar como o resíduo do processo de dessalinização pode ser aproveitado em unidades de produção, contemplando a obra civil, com o equipamento dessalinizador, as cisternas, com a separação das águas, os tanques para destinação das águas residuais e criação de peixes e agricultura bioessalina, com o cultivo da *Atriplex*, para a forragem dos animais caprinos e ovinos.

⁴⁷ A *Atriplex nummularia*, popularmente conhecida como Erva Sal devido a sua capacidade de absorver sais através de seu sistema fisiológico, é uma espécie forrageira da família *Chenopodiaceae*, originária da Austrália e introduzida no Brasil a partir da década de quarenta, com potencial para atuar como planta despoluidora de áreas com solos contaminados com elevada salinidade e para atuar na complementação de dietas para ruminantes (EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2020).



Figura 15 – Etapas para a implantação de sistema produtivo para integração aos sistemas de dessalinização proposto no âmbito do Programa Água Doce.

Fonte: Adaptação a partir de (MDR, 2020c)

A integração do sistema de dessalinização com o sistema produtivo nas comunidades beneficiados pelo Programa Água Doce no Rio Grande do Norte ocorre em uma comunidade, instalada no assentamento Caatinga Grande, localizado no município de São José do Seridó. O Programa Água Doce optou por instalar uma Unidade Demonstrativa de Produção (UDP), desenvolvida para a realização de visitas, exposições, aulas e demonstrações do processo produtivo, visando à sensibilização e à replicação do modelo. Os dados, sobre a Unidade de Produção, não estão divulgados, o que dificulta a sua coleta e a avaliação sobre o desempenho das atividades exploradas. No entanto, os membros das comunidades se mostraram abertos ao diálogo e a compartilhar informações sobre os resultados alcançados na comunidade.

Em 2018, o Programa Água Doce (PAD) garantiu o fornecimento de 4 m³/dia de água para abastecimento da comunidade, beneficiando assim cerca de 87 famílias. Em relação à unidade produtiva implementada, ela disponibiliza dois tanques para criação de peixe, com uma capacidade total de produção na ordem de 1,5 tonelada, por ciclo, conforme apresentado na Tabela 7, onde se encontra a apresentação dos dados da UDP instalada no assentamento Caatinga Grande. A partir desses dados, é possível compreender os números da atuação do PAD na comunidade em relação à capacidade de

produção do sistema de dessalinização e à possibilidade de dois ciclos por ano para a exploração da piscicultura. No primeiro ciclo produtivo do pescado, ocorrido em 2018, foi registrada a comercialização de 1,2 tonelada de tilápia, que resultou na quantia auferida de US \$ 1.793,15⁴⁸, desse total, 75% foram aplicados em um fundo de reserva, criado para manter o sistema. O valor restante foi dividido entre os participantes envolvidos no processo.

Tabela 7. Dados da Unidade Demonstrativa de Produção implementada pelo Programa Água Doce na comunidade Caatinga.

Produção de concentrado (L/dia)	10.000	Ciclo de produção (mês)	6
Produção de água doce (L/dia)	4.000	Capacidade do viveiro (t)	1,5
Famílias beneficiadas	87	Peso do peixe (Kg)	0,5 – 0,7
Viveiros (tanques)	2	Área para cultivo do <i>Atriplex</i> (m ²)	10.000

Fonte: Elaboração própria.

O uso das sobras de águas do dessalinizador na piscicultura, no caso criação de tilápia, tem apresentado um bom desempenho. Por ser rico em nutrientes como o potássio, nitrogênio e fósforo, oriundo da água do poço, a água residual do processo de dessalinização também é utilizada na agricultura, em substituição da fertilização, na forma de fertirrigação (GRILO *et al.*, 2016, p. 207).

A integração de arranjos produtivos no aproveitamento da água salobra, rejeitada pelas membranas no processo de dessalinização, pode contribuir para mitigar os impactos ambientais atribuídos a esses resíduos, onde as espécies de plantas possíveis de serem cultivadas podem reduzir os níveis de sais minerais no solo durante o seu cultivo, além de servirem de alimento para a criação de animais, ampliando o suprimento de proteína animal, fator importante para aumentar a segurança alimentar. Nessa perspectiva, o Programa Água Doce transcende de uma ação que garante o acesso a um bem público para uma população específica – nesse caso o abastecimento de água potável para comunidades rurais na área semiárida do Rio Grande do Norte –, para uma atuação que impacta no bem-estar social, através da possibilidade de melhoria das condições socioeconômicas, pelo meio exploração de sistemas produtivos.

Essa integração pode ser levada para outras regiões semiáridas, uma vez que o *Atriplex* se adapta facilmente a ambientes semiáridos, enquanto a tilápia é cultivada facilmente em diferentes ambientes de salinidade. Nesse sentido, o Programa Água Doce também se conforma em uma medida de adaptação à expectativa de intensificação das

⁴⁸ Utilizado média anual do dólar americano para o ano de 2018.

condições de aridez, introduzindo o plantio de culturas que possibilitam a recuperação de áreas com vegetação devastada, bem como a redução de níveis de salinidade.

Cabe ressaltar que a incorporação de modelos produtivos aos sistemas de dessalinização deve ser avaliada diante de possíveis impactos adversos, que podem ser derivados do aumento da salinidade do solo, que, por sua vez, apresenta potencial de reduzir as áreas de cultivo agrícola e as destinadas à pecuária. Essa incorporação acrescenta a dimensão econômica no reuso de águas salobras rejeitadas pelas membranas do processo de dessalinização e configura-se como uma prática aderente à tendência de economia circular, e alinhada à estratégia de equidade social, com o objetivo de aumentar ganhos e benefícios, gerenciando os recursos de forma inteligente (PACE, 2019, p. 46).

Cheng *et al.* (2018, p. 381 - 382) destacam que a economia circular é baseada no princípio 3R – reduzir, reutilizar e reciclar –, a maioria dos resíduos pode ser consumido e reutilizado internamente. No contexto de dessalinização de águas subterrâneas salobra, no Âmbito do Programa Água Doce, a extração, o processamento, o consumo e a destinação dos resíduos, águas salobras rejeitadas no processo, ocorrem no mesmo local. Parte da fonte hídrica, utilizada na produção de água potável e não destinada ao abastecimento de comunidades, poderá ser reutilizada para desenvolvimento de outras atividades com potencial econômico, como a criação de peixes e a criação de ovinos e caprinos. O objetivo é proporcionar o uso mais eficiente desse recurso natural.

4.5.3. O Uso da Energia Solar na Promoção do Acesso à Água.

Uma outra perspectiva de ampliação do Programa Água Doce (PAD), como ação da política pública voltada para o abastecimento alternativo de água, é salientada pela inserção de tecnologias que permitem o uso de fonte renováveis de energia, em específico a tecnologia solar fotovoltaica. Essa ação reforça a inserção do PAD no conjunto de estratégias nacional de adaptação à variabilidade climática, bem como da mudança do clima.

Nessa perspectiva, para servir de modelo de aprendizado na adoção de fontes renováveis de energia no atendimento da demanda elétrica dos sistemas de dessalinização, o Programa Água Doce implementou um projeto piloto, na comunidade Maria da Paz, no município de João Câmara, no Estado do Rio Grande do Norte. Esse projeto visa atender uma demanda diária de 1,8 m³ de água dessalinizada.

Esse piloto contempla a instalação de um sistema fotovoltaico, a partir de módulos fixados no solo para captação da luz do sol e sua direta conversão em energia elétrica através das células fotovoltaicas, com uma potência instalada de 5,46 kW. Os painéis fotovoltaicos estão distribuídos em uma área de 35,2 m², para atender à demanda elétrica do sistema de dessalinização e promover o acesso à água a 45 famílias da comunidade.

A Tabela 8 permite acessar os dados gerais do arranjo fotovoltaico considerado para atender à demanda elétrica do sistema de dessalinização instalado no Projeto Piloto. Nela se podem observar especificações técnicas dos painéis solares fotovoltaicos e do sistema de dessalinização como: i) a potência (Wp) por tipo de painel; ii) capacidade produção de água potável; iii) consumo de energia elétrica do sistema de dessalinização; taxa de recuperação de água ⁴⁹do sistema e; iv) custo da água por metro cúbico.

O arranjo fotovoltaico utilizado pode funcionar ligado à rede (*on grid*) e isolado (*off grid*), uma vez que dispõe de um conjunto de baterias para armazenamento da energia, bem como de um sistema elétrico que permite a conexão com a rede da concessionária. Para as situações de baixa irradiação solar, ou outra situação que impossibilite a utilização do sistema de geração fotovoltaico, o sistema de alimentação é o conectado automaticamente à rede de distribuição.

Tabela 8. Arranjo fotovoltaico associado ao sistema de dessalinização instalados pelo Programa Água Doce na comunidade Maria da Paz.

Área dos módulos (m ²)	35,2	Produção de água potável (L/day)	1.800
¹ Painel Solar fotovoltaico (245Wp e 1,64 m ²)	12	Consumo de energia elétrica (KWh)	3
² Painel Solar fotovoltaico (315Wp e 1,94 m ²)	8	Fluxo (m ³ /h)	0,55
Capacidade instalada (KWp)	5,46	Recuperação de água	33%
Capacidade de dessalinização (L/H)	500	Tempo de funcionamento (dias)	208
Água bruta processada (L/day)	5400	Custo de operação (US\$/m ³)	0,49

¹Eficiência energética de 14,9%

²Eficiência energética de 16,2%

Fonte: Elaboração própria a partir dados de (CAVALCANTE *et al.*, 2019).

É importante ressaltar que o emprego da energia solar, como fonte de energia elétrica nos sistemas de dessalinização, está alinhado aos interesses de diversos atores, a saber:

⁴⁹ Percentual de água doce produzida (permeado) através do processo de dessalinização em relação ao total de água utilizada como fonte de alimentação do sistema (água bruta) a partir do bombeamento de águas subterrâneas.

- i) Governo Federal – com as políticas públicas voltadas à mitigação dos gases estufa em cumprimento às Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) assumidas no Âmbito do Acordo de Paris;
- ii) Governo estadual e municípios – no aumento da oferta hídrica em locais mais vulneráveis e;
- iii) Comunidades rurais, com a introdução no seu ambiente de tecnologias sociais voltadas para a promoção do acesso à água de qualidade para o consumo humano.

A existência do acesso à rede elétrica elimina a necessidade de contemplar, no processo, o uso de baterias, o que reduz os custos para as comunidades em áreas eletrificadas. Por outro lado, o uso de baterias é recomendável para estabilizar a energia elétrica fornecida e garantir o funcionamento sistema em áreas com quedas regulares no fornecimento de energia elétrica, padrão de serviço fortemente registrado no meio rural brasileiro.

Um dos requisitos do Programa Água Doce, para instalação dos sistemas de dessalinização, é disponibilidade de acesso à rede elétrica. Com a introdução dos sistemas distribuídos com energia solar fotovoltaica, possibilitando o uso off-grid, essa exigência poderia ser flexibilizada, aumentando a área de atuação do programa na região.

A Figura 16 apresenta uma imagem panorâmica da obra civil do Projeto piloto anteriormente mencionado. Ele possui 3 cisternas: uma para armazenar a água subterrânea salobra bombeada, que após um pré-tratamento, conforma-se na água de alimentação do sistema de dessalinização; uma segunda para armazenar as águas residuais, contendo os sais removidos no processo de dessalinização – o concentrado e; uma terceira onde se deposita a água dessalinizada, destinada para o consumo humano.



Figura 16 - Projeto piloto com arranjo fotovoltaico associado ao sistema de dessalinização implementado pelo Programa Água Doce na comunidade Maria da Paz.
Fonte: Elaboração própria.

Em teste realizado ⁵⁰em outubro de 2017, o sistema fotovoltaico, disponibilizado para o projeto piloto na comunidade Maria da Paz, apresentou melhor desempenho do funcionamento do sistema pela manhã próximo às 12h (meio dia) do dia, variando entre 2.000 e 3.000 Watts. Em dezembro de 2019, o sistema de dessalinização dessa comunidade foi revisado: i) com a substituição das membranas e bomba de pressão por outras mais eficientes; ii) inserção de inversores de frequência e; iii) teste para balanço entre a entrada e a saída da água subterrânea bombeada. Essa revisão permitiu reduzir, pela metade, o consumo de energia elétrica, passando de 440 kWh por mês para 220 kWh por mês (informação verbal)⁵¹ (SEMARH, 2020).

⁵⁰ Teste realizado para o dia 24 de outubro de 2017.

⁵¹ Valores informados pelo consultor técnico do Programa Água Doce no Rio Grande do Norte em dezembro de 2019.

4.5.4. Avaliação de Custos

Em seu documento base, publicado em 2012, o Programa Água Doce base apresenta custos estimados para implantação do sistema de dessalinização no valor de US \$ 100.650,17 por unidade instalada. Nos casos em que, aos sistemas se integram unidades produtivas, o valor estimado por unidade instalada alcança US \$ 266.804,62. Esses custos se dividem entre aportes de investimentos para obras e equipamentos, custeio para serviços técnicos especializados e capacitação de membros da comunidade.

Do total estimado para a implantação dos sistemas de dessalinização, o equipamento dessalinizador representa 70%, seguido do diagnóstico técnico e ambiental que comprometem 11% dos recursos. Já o gerenciamento do sistema totaliza 9%. Para o sistema de dessalinização integrado à unidade produtiva, o custo estimado com obras e equipamentos para implantação dessas unidades representa 79%, seguido do gerenciamento, 7%, e capacitação de membros da comunidade, 5%. A Tabela 9 traz os custos estimados pelo Programa Água Doce para implantação do Sistema de Dessalinização e da Unidade Produtiva, nela se observa que a previsão de custo estimado para a implantação da Unidade Produtiva supera o custo estimado para implantação do sistema de dessalinização em aproximadamente 66%.

Tabela 9. Custos estimados¹ pelo Programa Água Doce para implantação do Sistema de dessalinização e Unidade Produtiva.

Subcomponente do sistema	Sistema de Dessalinização (SD)	Unidade Produtiva a ser Integrada
Apoio ao gerenciamento	US \$9.210,26	US \$10.853,86
Formação de recursos humanos	US \$1.671,39	US \$7.730,26
Diagnóstico técnico e ambiental	US \$11.256,22	US \$4.684,10
Mobilização social	US \$5.297,98	US \$4.904,62
Sustentabilidade ambiental	US \$2.786,47	US \$6.295,38
Sistema de dessalinização	US \$70.427,86	-
Implantação de unidade produtiva	-	US \$131.686,24
TOTAL	US \$100.650,17	US \$166.154,45

¹utilizado média anual do dólar americano para o ano de 2012.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (MMA, 2012, p.97 -99)

A avaliação dos custos, previstos no Programa Água Doce, revela uma previsão de despesas com gestão e mobilização social. Essas despesas objetivam garantir a manutenção e continuidade do sistema após a implantação. No Rio Grande do Norte,

apenas uma comunidade beneficiada pelo Programa Água Doce possui o sistema de dessalinização integrado às unidades produtivas.

Essa situação, de baixa integração dos sistemas de dessalinização com potencialidades locais, também se aplica ao aproveitamento da conversão da energia solar em energia elétrica. Na atualidade, apenas a comunidade Maria da Paz dispõe de um arranjo fotovoltaico incorporado ao processo de dessalinização. Esse arranjo – Projeto Piloto – foi estimado no Termo Referência do Pregão Eletrônico nº 02/2017 da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte US \$ 24.666,73 ⁵².

A contratação do arranjo fotovoltaico para a comunidade Maria da Paz foi encarada como um projeto piloto, com o objetivo de avaliar um modelo a ser associado aos sistemas de dessalinização, necessitando de ajustes para otimização dos gastos. O mesmo apresentou custos da água estimados, considerando diferentes consumos por família, vazão do permeado ⁵³ e taxa de recuperação de água do sistema, e vida útil de 20 anos para o sistema de dessalinização⁵⁴.

Quanto maior o consumo por família e vazão do permeado, menor o custo da água. Uma menor taxa de recuperação da água pelo sistema condiciona um maior tempo para substituição dos filtros ⁵⁵e um consumo maior de energia elétrica por metro cúbico, em contrapartida uma maior taxa de recuperação, apesar de demandar uma reposição mais rápida nos filtros, pode reduzir a demanda elétrica por metro cúbico de água disponibilizado para o abastecimento humano.

Em dezembro de 2019, a expectativa de custo ⁵⁶para o Programa Água Doce por metro cúbico variava entre US \$ 1,66 e US \$ 5,09, com um custo mensal por família entre US \$ 6,19 e US \$ 9,56 (SEMARH, 2020) (informação verbal)⁵⁷, a depender de fatores como a demanda de produção de água, a taxa de recuperação da água e a adoção ou não do aproveitamento da energia fotovoltaica.

⁵² Dólar utilizado do dia 17/08/2017.

⁵³ A água processada no sistema de dessalinizada que será destinada para o consumo humano

⁵⁴ A projeção de custos considera o sistema de dessalinização para uma vida útil de 20 anos, 8 anos para o equipamento de dessalinização por osmose Inversa, 4 anos para as membranas, 30 anos para a obra civil que armazena o sistema, 20 anos para a gestão de apoio e 25 anos para a opção com a integração do arranjo fotovoltaico.

⁵⁵ A técnica Osmose Inversa utiliza um sistema de filtragem a partir de membranas semi impermeáveis, essa técnica é detalhada na seção 5.1.2.

⁵⁶ Valor informado pelo consultor técnico do Programa Água Doce no Rio Grande do Norte em dezembro de 2019.

⁵⁷ Valores informados pelo consultor técnico do Programa Água Doce no Rio Grande do Norte em dezembro de 2019.

A Tabela 10 apresenta expectativa de custos em Dólar (US \$) para sistemas de dessalinização no Programa Água Doce para o Rio Grande do Norte.

Nela se pode observar que a opção de associar um arranjo fotovoltaico ao processo de dessalinização apresenta menor custo e maior taxa de recuperação de água (80%) pelo sistema de dessalinização, US \$ 1,66. Já a opção que não faz uso do arranjo fotovoltaico apresenta baixa vazão do permeado e menor taxa de recuperação de água, apresentou o maior custo, US \$ 5,09. É importante ressaltar que o volume de água desejada para o consumo humano influencia no custo por metro cúbico.

Em relação ao custo de implementação, considerando o câmbio atualizado para dezembro de 2019, o sistema de dessalinização foi projetado para atingir um total de US \$ 63.448,28. No caso da integração do arranjo fotovoltaico ao sistema, o valor estimado atinge US \$ 81.921,18. Para uma taxa de recuperação de água de 80%, apesar do custo maior de implantação, a opção com esse aparelho apresenta um custo anual estimado de operação no valor de US \$ 5.115,02, valor inferior ao custo anual estimado para a opção sem esse arranjo, este estimado no valor de US \$ 7.629,80.

A opção com taxa de recuperação da água de 40%, apesar de apresentar o maior custo da água por metro cúbico, possui o menor custo anual estimado de operação, chegando ao valor de US \$ 4.037,93.

Tabela 10. Expectativas de custos em US \$² para sistemas de dessalinização no Programa Água Doce para o Rio Grande do Norte.

PROJEÇÕES	OPÇÃO 1	OPÇÃO 2	OPÇÃO 3 ¹
Família beneficiadas	100	100	100
Consumo por família (litro/dia)	40	160	160
Vazão do permeado (litro/hora)	600	1800	1800
Recuperação	40%	80%	80%
Tempo de funcionamento (hora/dia)	7	13	13
Custos de aquisição - CAPEX	US \$ 63.448,28	US \$ 63.448,28	US \$ 81.921,18
Custos anuais operacionais _ OPEX	US \$ 4.037,93	US \$ 7.629,80	US \$ 5.115,02
Custo da água (US \$/m ³)	US \$ 5,09	US \$ 1,96	US \$ 1,66
Caixa mensal por família sugerido	US \$ 6,19	US \$ 9,56	US \$ 8,08
Consumo de energia elétrica (KWh.M ³)	7,64	2,33	-

¹Opção com a inclusão do arranjo fotovoltaico off grid

²Dólar utilizado do dia 19/12/2019.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados fornecidos pelo Programa Água Doce.

Os custos da água, projetados na Tabela 9 para o Programa Água Doce (PAD) no Rio Grande do Norte, são inferiores àqueles projetados para a ação emergencial, que utiliza caminhões tanques. Em 2020, o Edital de Credenciamento nº 01/2019 – INEX 03/2019 do Exército Brasileiro estima custo da água transportada em caminhões com tanque entre US \$ ⁵⁸ 8,75 e US \$ 10,02 por metro cúbico, a depender das distintas condições físicas e de tráfego das rodovias, além das distâncias envolvidas. Em seu artigo, Lopes *et al.* (2020, p. 10) trata a estratégia adotada, através de caminhão com tanque, como opção comumente adotada para o abastecimento de água à população da Região do Semiárido Brasileiro e apresenta um valor médio da água de US \$ 5,60⁵⁹ por metro cúbico. Para os sistemas de dessalinização do PAD, as projeções foram estimadas entre US \$ 1,66 e US \$ 5,09 o valor do metro cúbico. Importa ressaltar que uma vantagem do abastecimento da população, a partir de caminhão com tanque, reside na celeridade em sua emprego e operacionalização a curto prazo, quando comparado a outras estratégias de caráter emergencial.

Considerando o custo da água estimado por Lopes *et al.* (2020, p. 10) e dados do Programa Água Doce para o Rio Grande do Norte, a saber: 1) expectativa de uma população total de 27 mil beneficiados; ii) parâmetro de 10 litros de água por pessoa por dia e; iii) um horizonte temporal de 20 anos, tempo estimado de vida útil de um sistema de dessalinização, a projeção de custos evitados com o fornecimento de água à população do residente em comunidades rurais, no semiárido do Estado, poderia ser entre US \$ 1.005.210 e US \$ 7.765.740.

O Programa Água Doce, por fazer uso de águas subterrâneas apresenta reduzida sensibilidade à variabilidade climática. Isto porque o uso de águas subterrâneas sofre menor influência de altas temperaturas e alta irradiação solar e, consequentemente, se mostra pouco suscetível à evapotranspiração (CAVALCANTE *et al.*, 2019, p. 7). As tecnologias que melhor consideram onexo energia-água promovem maior eficiência no uso de recursos e mitigam impactos ambientais (LOPES *et al.*, 2020, p. 10).

⁵⁸ Dólar utilizado do dia 29/05/2019.

⁵⁹ Dólar utilizado do dia 08/09/2017.

SEÇÃO 5 - TECNOLOGIAS DE DESSALINIZAÇÃO E FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL

Parte da água disponível no planeta se encontra em com alto teor de sólidos dissolvidos tanto em corpos superficiais como em subterrâneos. Assim, o aproveitamento de variadas fontes, como águas salobras e salinas, para múltiplos fins pode ser obtido através de técnicas e tecnologias de dessalinização. A dessalinização consiste no processo de remoção de sais e minerais dissolvidos na água para produzir água potável, através de diferentes técnicas, nas quais se destacam aquelas à base de processos térmicos ou fundamentadas em processos que fazem uso de membranas.

Hanasaki *et al.* (2016, p. 4143-4144) destaca que a dessalinização pode desempenhar um importante papel no aumento da quantidade de água ofertada, sem vinculação com o ciclo hidrológico natural, pois se trata de uma medida prática para fornecer água doce em áreas semiáridas, onde a precipitação é limitada, e há cidades com reduzidas áreas de captação de água. Quando aplicada em corpos de água subterrâneos, a dessalinização é apresentada independente do ciclo hidrológico natural.

A dessalinização da água salina ou salobra se apresenta como uma fonte de águas não convencional, particularmente relevante em locais onde a disponibilidade de água doce é escassa e a adoção de tecnologias de dessalinização apresenta o atrativo de propiciar o aumento na água ofertada. Para Hanasaki *et al.* (2016, p. 4143-4144), o aumento na quantidade de água ofertada ,a partir da dessalinização, pode ocorrer de forma rápida e independente do ciclo hidrológico natural, tornando-a medida prática para fornecer água doce em áreas semiáridas, onde a precipitação é limitada, e há cidades com reduzidas áreas de captação de água.

O uso da dessalinização é mais comum em países com uma condição intensa de aridez, como no Oriente Médio e parte do continente africano, mas o seu uso não se restringe a esses locais. A tecnologia já está difundida no mundo e possibilita o uso de diferentes fontes de água, como a água do mar ou fontes subterrâneas, a depender das características locais.

O Oriente Médio lidera a capacidade mundial de dessalinização com 52%, seguido pela América do Norte (16%), Europa (13%), Ásia (12%), África (4%), América Central (3%) e Austrália (0,3%) (KHAN; LINARES; GARCÍA-GONZÁLEZ, 2017, p. 1126). A Figura 17 apresenta a capacidade global instalada, distribuída por fonte de

alimentação no ano de 2012, nela se pode inferir que a água do mar e a água salobra subterrânea responderam por 80% da água de alimentação em plantas de dessalinização.

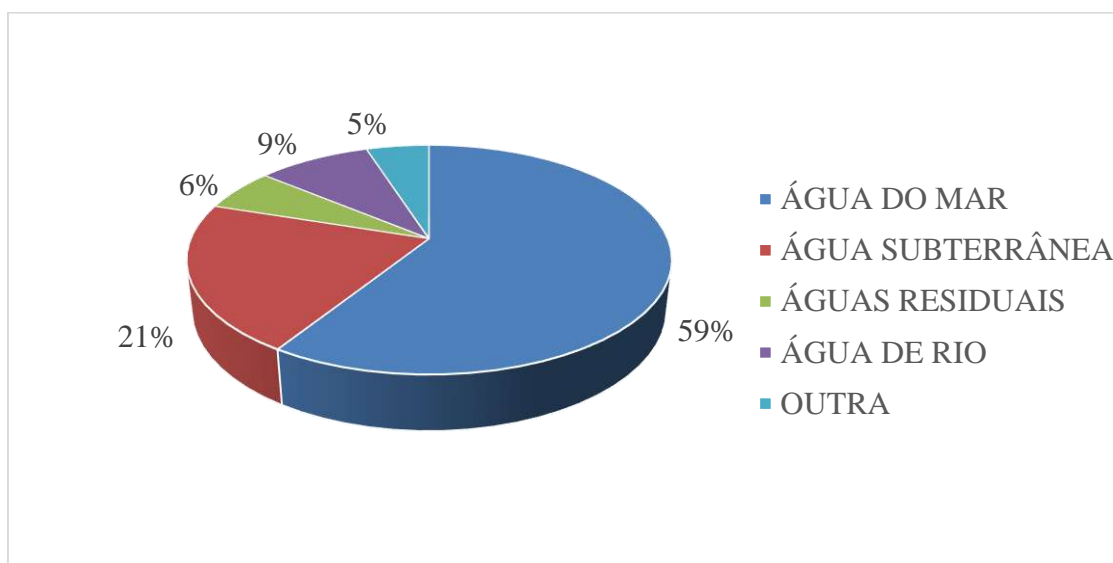


Figura 17- Capacidade global instalada de plantas de dessalinização por fonte de água de alimentação em 2012.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (JANE KUCERA, 2014, p. 15)

Segundo a *International Desalination Association*⁶⁰, em 2015, mais de 300 milhões de pessoas dependiam da água produzida por 18.426 usinas de dessalinização, elas fornecem mais de 86,8 milhões de metros cúbicos por dia a 150 países (ALKAISI; MOSSAD; SHARIFIAN-BARFOROUSH, 2017, p. 269). Em 2017, a capacidade mundial contratada cumulativa de dessalinização foi estimada em 99,8 milhões de m³/dia (considerando as instalações construídas desde 1965), enquanto a capacidade das plantas operacionais foi de 92,5 milhões de m³/dia.(ZARZO; PRATS, 2018, p. 1).

5.1. TÉCNICAS DE DESSALINIZAÇÃO

O atual estágio de desenvolvimento das técnicas de dessalinização está estruturado em: processos **térmicos** que utilizam energia térmica; ou **processos baseados em membrana** (ISAKA, TOSATO, GIELEN, 2013, p. 1; SHAHZAD *et al.*, 2017, p.54). A Figura 18 sintetiza as principais técnicas de dessalinização em operação divididas nesses dois grupos.

⁶⁰ Associação focada na informação e desenvolvimento profissional para a indústria global de dessalinização e reutilização de água.

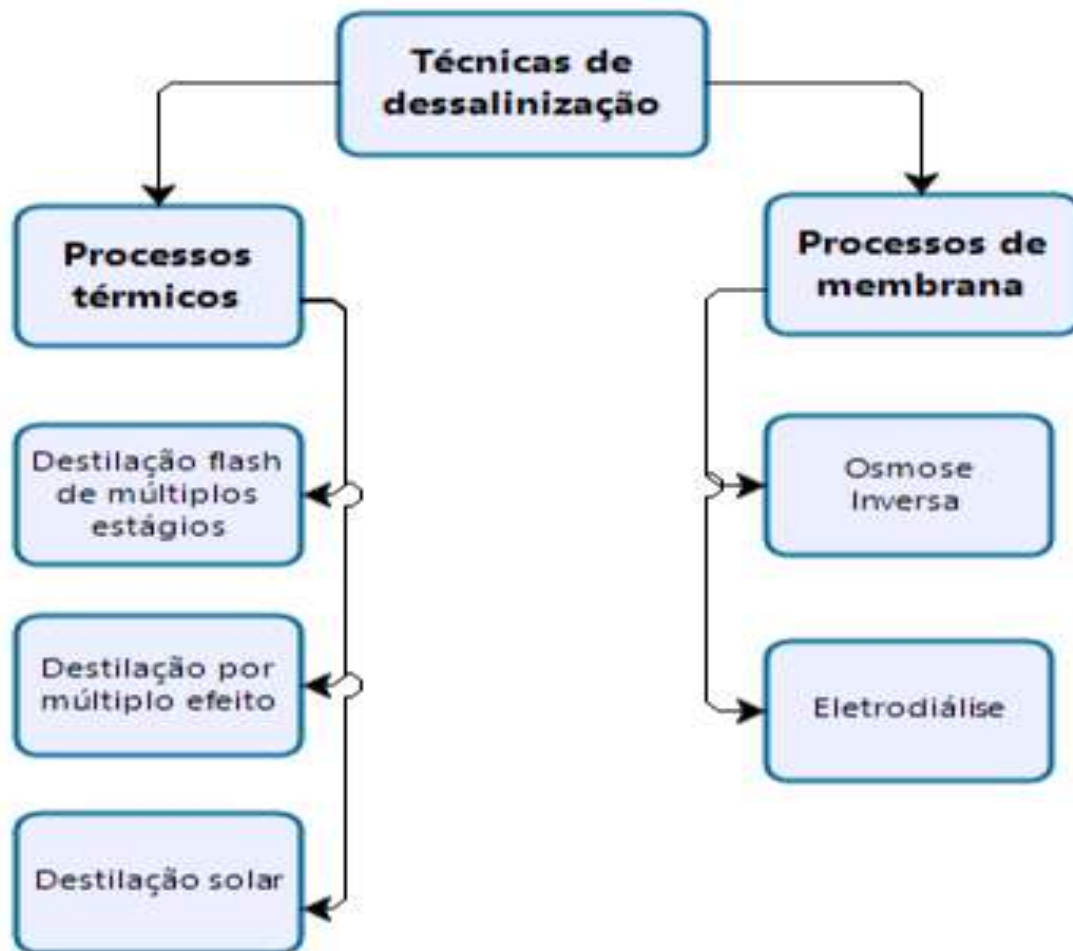


Figura 18 - Principais processos de dessalinização, divididos em processos térmicos e processos de membranas.

Fonte: Elaboração própria.

Os **processos térmicos** envolvem o aquecimento de água salobra para a produção de vapor de água, que se condensa para formar água destilada. Promovem, dessa forma, a mudança de fase da água envolvendo o aquecimento da alimentação (água do mar, água salobra ou outras águas) até o " ponto de ebulição " à pressão operacional, para produzir " vapor" e sua posterior condensação em uma unidade com esse fim para assim produzir água doce (GUDE; NIRMALAKHANDAN; DENG, 2010, p. 2642).

Os **processos baseados em membrana** envolvem a separação de sais dissolvidos das águas de alimentação por meios mecânicos ou químicos/elétricos, usando uma barreira de membrana entre a alimentação (água do mar ou água salobra) e o produto (água potável).

Abdelkareem *et al.* (2018) identifica que ,em 2015, entre as técnicas usadas na dessalinização, a Osmose Inversa (OSI) representou 65% da capacidade de produção, a

Destilação *Flash* de Múltiplos Estágios (MSF) respondeu por 21%, a Destilação por Múltiplo Efeito (MED) contabilizou 7%, a Eletrodíálise (ED) 3% e os 4% restantes foram obtidos por meio de outras tecnologias de dessalinização. A Figura 19 apresenta a participação percentual das principais técnicas de produção de água dessalinizada na capacidade instalada mundial. Nela se pode observar que a dessalinização por técnica de Osmose Inversa (OSI) e Destilação *Flash* de Múltiplos Estágios (MSF), processo térmico de dessalinização, dominam as plantas de dessalinização no mundo, com mais de 80%.

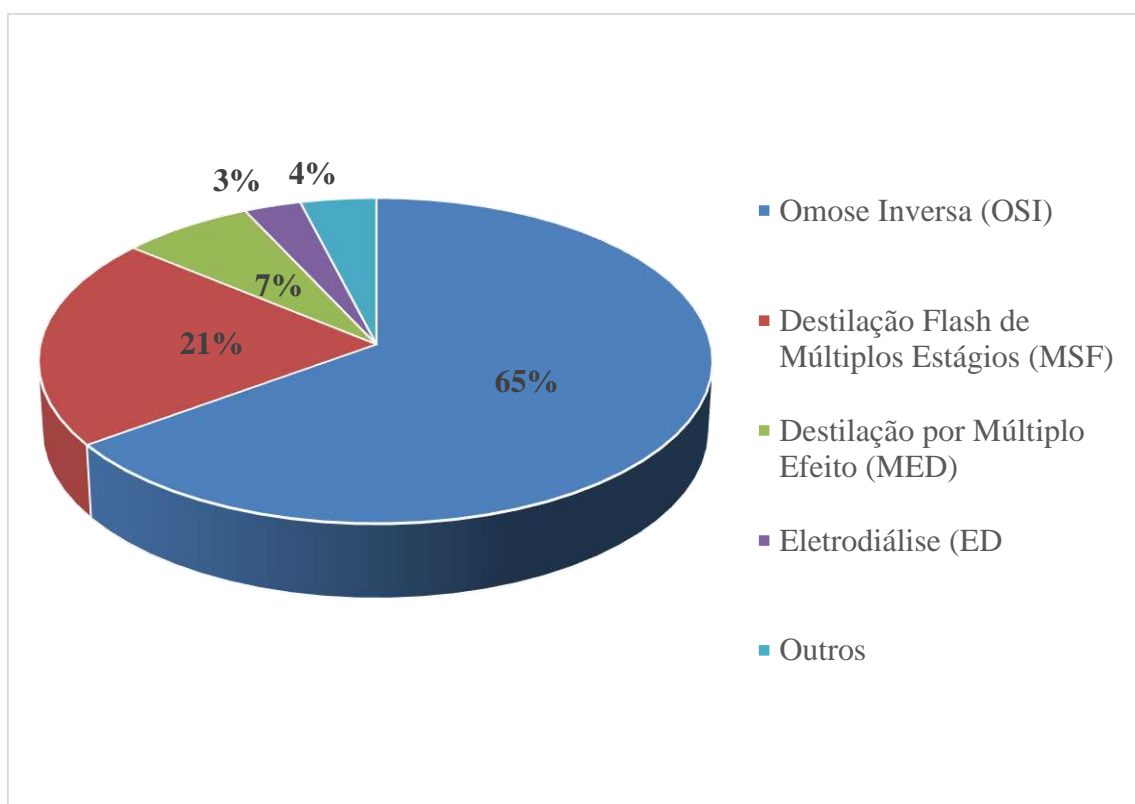


Figura 19 - Participação na capacidade de dessalinização das principais técnicas de produção.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (ABDELKAREEM *et al.*, 2018, p. 97)

5.1.1. Principais processos térmicos de dessalinização

A **Destilação Solar (SD)** consiste na evaporação da água a partir da energia solar absorvida por um coletor de *design* simples, uma tampa transparente hermética e inclinada. Nessa tecnologia, a condensação ocorre na superfície interna da tampa inclinada e a água destilada é coletada na sua extremidade inferior. Essa alternativa é adequada para sistemas de abastecimento de água para consumo humano, com baixa capacidade de fornecimento, em áreas remotas, onde a construção de tubulações ou a

entrega de água por caminhão com tanque não é econômica e confiável. Essa alternativa possui baixa produtividade por unidade de área de instalação, normalmente de 1 a 5 litros de água destilada por dia, considerando um coletor de um metro quadrado. Dependendo da demanda hídrica, o uso da **Destilação Solar (SD)** pode necessitar de grandes áreas para a sua instalação (ZHANG *et al.*, 2018, p. 117-118).

A **Destilação Flash de Múltiplos Estágios (MSF)** envolve a subsequente evaporação e condensação da água salina em diferentes estágios, sempre com uma pressão menor do que aquela verificada no estágio anterior. A água salobra e salina em temperatura destinada para o processo de dessalinização através dessa técnica, a água de alimentação, é pré-aquecida ao transitar por um sistema de tubos aquecidos através de vapor quente até o primeiro estágio, composto por uma caldeira com temperatura elevada, onde ocorre a súbita fervura de parte da água. O vapor de água condensa e precipita em um recipiente como a água doce e é conduzida para o exterior do processo. Já a água residual do primeiro estágio é alocada como água de alimentação para o estágio seguinte, onde a vaporização ocorre em temperatura de operação inferior ao do estágio anterior, onde novamente o vapor de água condensa e precipita em um recipiente como a água doce para ser levada ao exterior do processo. Essa diminuição da temperatura se deve à diminuição de pressão entre os estágios consecutivos. Os estágios seguintes ocorrerão de um modo análogo até que a água residual do estágio anterior atinja valores de concentração de sais muito elevados, sendo então descartada. Esse sistema requer uma maior entrada de energia devido à necessidade de aquecimento da água.

Sharon e Reddy (2015, p. 1085) identificam que a água salobra ou salina de alimentação é aquecida acima da temperatura de saturação no aquecedor e é evaporada instantaneamente para o tubo onde a baixa pressão é mantida usando a bomba de vácuo. A água de alimentação, depois que passa no primeiro estágio, descarregada do estágio anterior, pode evaporar instantaneamente em estágios sucessivos e os vapores formados em cada estágio são condensados. Para Zhang *et al.* (2018, p. 124), a tecnologia de dessalinização térmica MSF é a mais dominante, com cerca de 21% da capacidade mundial instalada.

Na **Destilação por Múltiplo Efeito (MED)**, a água de alimentação é submetida a diversos efeitos mantidos à baixa pressão sucessivamente. A energia externa é fornecida ao primeiro efeito. O calor latente de vaporização é recuperado, pois o efeito seguinte serve como condensador para o vapor produzido no efeito anterior (ZHANG *et al.*, 2018, p. 125).

A dessalinização ocorre através do aquecimento e evaporação da água em diferentes efeitos até que se produza água doce. No primeiro efeito, a uma parcela da água de alimentação entra em um primeiro evaporador, onde terá sua temperatura elevada até a temperatura de ebulição, a água. O vapor gerado será utilizado para aquecer de forma indireta a água remanescente do primeiro efeito para o segundo efeito, onde novamente é aquecida e parcialmente evaporada, e assim sucessivamente, sendo que o vapor do último efeito será utilizado para pré-aquecer a água de alimentação destinada ao primeiro efeito. O vapor condensado é captado e disponibilizado como água doce.

5.1.2. Principais processos de dessalinização baseados em membranas

No processo de **Eletrodialise (ED)**, os íons de sal carregados eletricamente são separados usando membranas seletivas de troca iônica, o que deixa água com baixa salinidade. Mei e Tang (2018, p. 158) destacam que no processo ED, uma tensão elétrica externa é aplicada para superar a força eletromotriz, de modo que os íons migrem contra seu respectivo gradiente de concentração para obter água dessalinizada. Para Malek, Ortiz e Schulte-Herbrüggen (2016, p.55) o processo ED é acionado eletricamente, com muitas aplicações industriais, incluindo dessalinização de água salobra, tratamento de águas residuais e produção de sal. A alta recuperação de água, cerca de 85-94% e a baixa manutenção necessária para a operação do processo de dessalinização, sua longa vida útil, bem como a forte estabilidade química e mecânica das membranas de troca iônica, tornam o ED uma alternativa particularmente adequada para as aplicações de dessalinização em locais remotos sob estresse hídrico.

Na técnica **Osmose Inversa (OSI)**, a água salina penetra através de uma membrana semipermeável sob alta pressão e deixa para trás uma solução de salmoura altamente concentrada. A Figura 20 resume graficamente essa técnica em uma planta que apresenta uma taxa de recuperação de 75% e fluxo de água de alimentação de 1.000 litros por hora. A Planta representada corresponde a um uso para baixa produção diária de água, a qual pode ser aplicada como uma estratégia adicional de abastecimento de água regular em locais com poucos habitantes e sem acesso à rede geral de água.

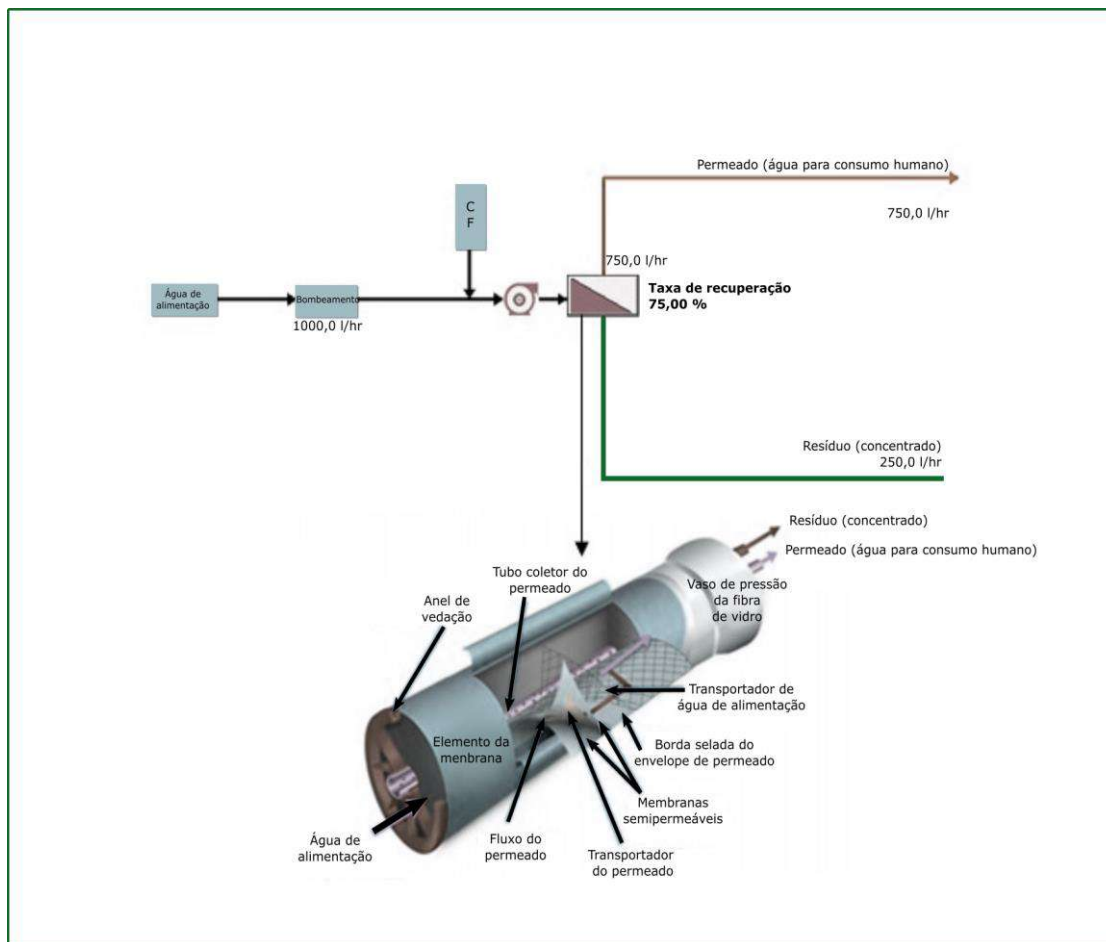


Figura 20 - Resumo da técnica Osmose Inversa de um estágio.

Para uma melhor compreensão da técnica Osmose Inversa (OSI), Voutchkov (2012, p.43) explica o processo natural de transferência de um meio de baixa concentração para um de maior concentração – denominado osmose –, definindo então o processo inverso utilizado na dessalinização. A separação da água de alta e baixa salinidade, por meio de uma membrana semipermeável, ocorre através de um processo natural de transferência de água do lado de baixa salinidade para o lado de alta salinidade da membrana, até que ambos os lados atinjam a mesma concentração. A pressão hidráulica aplicada na membrana pela água durante a sua transferência do lado de baixa para o lado de alta salinidade é denominada pressão osmótica. A pressão osmótica é uma força natural semelhante à gravidade, sendo proporcional: à diferença na concentração de sais na água em ambos os lados da membrana (independentemente do tipo); à temperatura da água da fonte e; aos tipos de íons que fazem parte do conteúdo dos sais presentes na água da fonte. Com isso, para remover a água doce de uma fonte de alta salinidade, usando a separação por membrana, o movimento natural da água por osmose deve ser revertido, ou seja, a água doce deve ser transferida do lado de alta salinidade para o lado de baixa

salinidade da membrana. Para que essa reversão da direção natural do fluxo de água doce ocorra, a água da fonte de alta salinidade deve ser pressurizada em um nível superior à pressão osmótica que ocorre naturalmente.

Se a água da fonte de alta salinidade for pressurizada continuamente em um nível maior que a pressão osmótica, ocorrerá um fluxo de água doce em estado estacionário do lado de alta salinidade para o lado de baixa salinidade da membrana. Como resultado, observa-se um processo de rejeição e acumulação de sal em um lado da membrana e produção de água doce no outro. Portanto, esse processo de movimento forçado da água através de uma membrana na direção oposta à força osmótica acionada pelo gradiente de salinidade é característica da técnica Osmose Inversa.

Nesse sentido, AL-Karaghoul; Kazmerski (2011, p. 154-155) destacam a importância da membrana e ressaltam que na técnica Osmose Inversa (OSI) a membrana utilizada é semipermeável. Possui, dessa forma, uma grande área de superfície para vazão máxima, sendo extremamente fina para oferecer resistência mínima ao fluxo de água. Apresenta-se também resistente o suficiente para suportar a pressão do fluxo de alimentação.

Um sistema típico baseado na técnica OSI consiste em quatro subsistemas principais: sistema de pré-tratamento; bomba de alta pressão; módulo de membrana e; sistema de pós-tratamento. Um fator crítico em relação à adoção da técnica OSI refere-se ao pré-tratamento da água de alimentação, isto porque as membranas são sensíveis à incrustação. O pré-tratamento geralmente inclui a esterilização da água de alimentação, a filtragem e a adição de produtos químicos para evitar incrustação e bioincrustação. Usando uma bomba de alta pressão, a água de alimentação pré-tratada é forçada a fluir através da superfície da membrana. Parte da água de alimentação – o produto ou a água do permeado – passa através da membrana, que remove a maioria dos sólidos dissolvidos. A água residual do processo, juntamente com os sais rejeitados, emerge dos módulos de membrana a alta pressão como uma corrente de rejeição concentrada.

Abdelkareem *et al.* (2018, p. 100) compactuam que as plantas de Osmose Inversa são tipicamente construídas através de módulos como forma de permitir flexibilidade na capacidade de produção de água doce e redução da energia demandada, facilitando assim, a sua adequação em termos de dimensionamento das plantas, o que facilita a sua instalação em menor tempo, tornando-as mais acessíveis em termos de custos de aquisição e operação.

Nesse sentido, o dimensionamento das plantas de dessalinização, através de

módulos, permite a utilização da técnica Osmose Inversa em locais remotos com água salobra no subsolo e diferentes demandas hídricas para abastecimento humano. Plantas superdimensionadas elevariam o custo por metro cúbico de água potável ofertada, principalmente em relação ao consumo de energia necessário ao processo. Outras vantagens corporativas dessa técnica são: i) tempo de construção reduzido; ii) maior segurança operacional; iii) tarefas de manutenção limitadas ao espaço da localidade.

A respeito das vantagens e desvantagens das principais técnicas de dessalinização em operação, a Tabela 11 apresenta um quadro comparativo onde se destacam os pontos fortes e fracos mais significativos das técnicas abordadas.

Tabela 11. Vantagens e desvantagens dos principais processos de dessalinização.

MÉTODO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
MSF	Fácil de gerenciar e operar. Pode tratar água muito salgada até 70.000 mg / l.	Não pode operar abaixo de 60% da capacidade. Não é adequado para combinar com energias renováveis que tenham fornecimento de energia intermitente. Alto consumo de energia.
MED	Pode ser operado entre 0% e 100% da capacidade enquanto a unidade MED estiver. Adequado para combinar com fontes de energia renováveis que fornecem energia intermitente.	Anti-incrustantes necessários para interromper o acúmulo de incrustações em superfícies evaporantes.
OSI	Adapta-se facilmente às condições locais. O tamanho da planta pode ser ajustado para atender a aumentos de curto prazo na demanda e expandido de forma incremental conforme necessário. Vantagem de custo significativa no tratamento de águas subterrâneas salobras. Pode remover sílica	Requer pré-tratamentos abrangentes a serem usados para água salina alta. Sujeira na membrana. Configuração complexa. Requer pessoal qualificado para operação e manutenção
ED	O custo do capital é aproximadamente 25% menor que as opções térmicas. Adapta-se facilmente às condições locais. O tamanho da planta pode ser ajustado para atender a aumentos de curto prazo na demanda e expandido de forma incremental conforme necessário. Vantagem de custo significativa no tratamento de águas subterrâneas salobras. Pode remover sílica	Intensivo e caro em termos de capital comparado ao OSI.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados (ALKAISI; MOSSAD; SHARIFIAN-BARFOROUSH, 2017, p. 270).

Para a realidade socioeconômica e características naturais da Região do Semiárido do Rio Grande do Norte, esse trabalho advoga que o processo de membrana Osmose Inversa (OSI) para dessalinização de águas salobras subterrâneas se configura em uma alternativa não convencional viável para o abastecimento de água em comunidades distantes de grandes centros, sem acesso à rede regular de abastecimento. Essa estratégia permite associar o processo de dessalinização ao aproveitamento dos recursos energéticos renováveis presentes no local onde a água é processada e consumida, a partir do emprego de tecnologias de captação e conversão da energia solar para atender à demanda elétrica dos sistemas de dessalinização baseados na técnica OSI.

5.2. USO DE FONTES RENOVÁVEIS NO SUPRIMENTO DA DEMANDA ELÉTRICA NO SISTEMA DESSALINIZAÇÃO

A demanda de energia elétrica para alimentar a técnica empregada no processo de dessalinização é um dos principais fatores que influenciam na decisão de optar pela estratégia da dessalinização e a técnica a ser utilizada. Nesse contexto, os recursos energéticos locais ganham importância.

Em média, a indústria da água consome cerca de 2% a 3% da demanda global de energia (USAID, 2002, p. 1), esse consumo influencia seriamente os custos da água no processo (SHEMER; SEMIAT, 2017, p. 11).

Para uma melhor compreensão do consumo de energia elétrica das técnicas de dessalinização, é necessário analisar o consumo de eletricidade por metro cúbico de água potável produzida nos sistemas. As faixas de consumo variam de acordo com a fonte de água de alimentação e o tamanho da planta considerada.

Para Khan, Linares e García-González (2017, p. 1126) a demanda de energia elétrica resultante dos processos de dessalinização está aproximadamente entre 2 e 6 kWh/m³, dependendo do nível de salinidade da água a ser processada. No caso da tecnologia Osmose Inversa, o consumo de energia se encontra entre 2–5 kWh/m³ (BURN *et al.*, 2015, p. 4).

Para uma planta de Osmose Inversa que utiliza a água do mar, Shemer e Semiat (2017, p. 11-12) identificam uma demanda de energia elétrica na ordem de 3,5 kWh/m³, já em instalações menores e locais remotos, o consumo de energia pode aumentar para a faixa de 3 a 7 kWh/m³. Esses autores consideram que a técnica Osmose Inversa

provavelmente prevalecerá em relação às outras, especialmente devido ao baixo custo apresentado e às mudanças tecnológicas em curso. Em termos futuro, a demanda de eletricidade para plantas de dessalinização de médio e grande porte, esperados para 2021, será de 2,8 a 3,2 KWh/m³. Para a dessalinização de água salobra, opção avaliada nesse trabalho, essa demanda cai para abaixo de 2,5 kWh/m³. Isso se deve à menor salinidade dessa fonte de água em relação à água do mar, que permite aplicar menor pressão e obter uma recuperação de água maior. O valor de 2,5 kWh/m³ está dentro do intervalo proposto por Voutchkov (2012, p. 115) em sua publicação sobre o planejamento e a engenharia de projetos de dessalinização de água salobra e do mar para o abastecimento de água.

É importante frisar que, convencionalmente, os combustíveis fósseis são usados para fornecer a energia necessária para operar as diferentes técnicas de dessalinização, em média, a produção de 1000 m³ de água doce por tecnologia de dessalinização consome cerca de 5 toneladas de petróleo bruto (tep), que produz cerca de 10 toneladas de dióxido de carbono. Nesse contexto, substituir os combustíveis fósseis por recursos energéticos renováveis e sustentáveis torna-se uma necessidade crucial de reduzir a emissão de gases intensificadores do efeito estufa de origem antropogênica (ALKAIS; MOSSAD; SHARIFIAN-BARFOROUSH 2017, p. 269-271).

Abdelkareem *et al.* (2018, p. 98) esperam que as emissões mundiais de GEE, advindas de unidades de dessalinização movidas a combustíveis fósseis, atinjam uma taxa anual de 400 milhões de toneladas de equivalentes de carbono até 2050. Os autores reiteram que essa expectativa torna imperativo encontrar fontes de energia limpas para serem empregadas na dessalinização. Nesse sentido, Zhang *et al.* (2018, p. 142-143) reforçam que ,na maioria dos casos, as externalidades negativas da expansão dos processos de dessalinização, a partir do uso de fontes não renováveis de energia, têm sido ignorada.

A preocupação com o uso de fontes energéticas, a partir de uma base limpa, em plantas de dessalinização, é pertinente e deve ser acompanhada por uma tendência de redução de custos para que essa integração possa competir com os sistemas já existentes. Para Isaka, Tosato e Gielen (2013, p.2), os custos das tecnologias renováveis estão reduzindo rapidamente e a dessalinização associada a fontes renováveis já compete com os sistemas convencionais, quando usados em regiões remotas, onde o custo de transmissão e distribuição de eletricidade é maior que o custo da geração distribuída de eletricidade. Franzitta *et al.* (2016, p.1) concordam que a associação entre energia renovável e a dessalinização é benéfica, pois é uma opção sustentável e desafiadora para

o futuro. A combinação certa de uma fonte de energia renovável com uma tecnologia de dessalinização pode ser a chave para ajustar economicamente as demandas de energia e água, de forma eficiente e ambientalmente indicada.

Abdelkareem *et al.* (2018, p. 99) entendem que o uso de energia renovável, para alimentar usinas de dessalinização, contribui para preservar a integridade ambiental, promove a sustentabilidade, além de reduzir o custo final para o usuário final.

Para a adoção de sistemas de dessalinização visando à distribuição de água para consumo humano, nos quais se integram fontes renováveis de energia presentes no local, o valor destinado para aquisição de insumos derivados de combustíveis fósseis para a geração de eletricidade pode ser direcionado para custos com tecnologias de captação e conversão da fonte renovável de energia. Nesses casos, é mister promover a análise da viabilidade econômica resultante da troca de fonte de alimentação de energia aos sistemas.

De acordo Shahzad *et al.* (2017, p. 58), as usinas de dessalinização movidas à energia renovável produzem apenas 1% da água dessalinizada do mundo. Dessa produção, 43% das usinas são movidas à energia solar fotovoltaica (PV), 27% fazem uso da energia solar térmica, e 20% são alimentados com energia eólica. Os 10% restantes são baseados em fontes híbridas de energia renovável, com a combinação entre as fontes solar e eólica.

O emprego da energia solar fotovoltaica nos sistemas de dessalinização por técnica Osmose Inversa (PV-OSI) é considerado como uma das formas mais promissoras de dessalinização, especialmente quando é usada em áreas remotas, onde a água salobra tem uma pressão osmótica menor que a da água do mar, o que requer menos energia (AL-KARAGHOULI; KAZMERSKI, 2011, p. 158).

A gestão integrada dos recursos subterrâneos e superficiais, quando bem coordenada, pode gerar benefícios que extrapolam o simples potencial líquido de abatimento de déficit, incrementando, assim, a resiliência dos sistemas hídricos convencionais (ANA, 2018, p. 126). Nessa perspectiva, a presente tese aponta que a combinação das tecnologias fotovoltaica e Osmose inversa – integração PV-OSI, pode conforma-se em uma alternativa para o aproveitamento de água salobra, armazenada no subsolo no território do Estado do Rio Grande do Norte com possibilidade de expansão para a Região do Semiárido Brasileiro.

5.2.1. Uso da Fonte Solar em Plantas de Dessalinização por Osmose Inversa

A energia solar é uma fonte renovável com elevado potencial para se integrar aos sistemas de dessalinização. Abdelkareem *et al.* (2018, p. 97) categorizam a energia solar em solar térmica e solar fotovoltaica. Na energia solar térmica, o calor de radiação do sol é convertido em energia térmica, que pode ser usada diretamente ou convertida em energia mecânica ou elétrica em usinas de energia solar térmica. A energia solar fotovoltaica, por outro lado, envolve a conversão direta da luz solar em eletricidade usando materiais semicondutores nas células solares.

A capacidade de adaptação a diferentes tamanhos de plantas de dessalinização para a técnica Osmose Inversa (OSI) e a capacidade de adaptação de sistemas solares fotovoltaicos (PV) para diferentes demandas de eletricidade, tornam Sistemas de Osmose Inversa associados à energia solar fotovoltaica (PV-OSI), adequados ao atendimento de pequenas produções de água potável (inferior a 1 metro cúbico por dia), demanda esta que pode ser empregada a pequenas comunidades em áreas isoladas.

A Tabela 12 apresenta o custo da água, a partir do emprego de sistemas solar fotovoltaico em diferentes tecnologias de dessalinização, com variadas capacidades de produção. Verifica-se, na tabela, que o custo do metro cúbico de água doce ofertada se reduz com o aumento da capacidade de produção. Observa-se, também, que para ofertas de volumes inferiores a 10 metros cúbicos por dia, o Sistema de Osmose Inversa associado à energia solar fotovoltaica (PV-OSI) apresenta o menor custo da água por metro cúbico, estando este entre US \$ 6,50 e US \$12,80.

Tabela 12. Custos de água a partir de diferentes tecnologias de dessalinização associadas e energia solar em diferentes capacidades de produção.

Capacidade	Muito pequena	Pequena	Média	Grande
Tipo de técnica	< 1 m ³ /dia	< 10 m ³ /dia	10 - 1.000 m ³ /dia	> 1.000 m ³ /dia
Destilação solar	\$ 6 - 65/m ³	-	-	-
MED	-	\$18-22/m ³	\$4,1-8/m ³	\$0,9-1,3/m ³
MSF	-	-	-	\$1,4-1,6/m ³
PV - OSI	\$15,6/m ³	\$6,5-12,8/m ³	\$0,8-8,4/m ³	-
PV -ED			\$0,2-16/m ³	5,7-12,1/m ³

Fonte: Elabora própria a partir de dados de (ZHANG *et al.*, 2018, p. 140)

A respeito da inserção da energia solar fotovoltaica no contexto de sistemas de dessalinização, estudos que analisam a viabilidade dessa integração apresentam resultados promissores. Ghenai *et al.* (2018, p. 172) projetaram, em Sharjah, nos Emirados Árabes Unidos, um sistema de energia com alta fração renovável para atender à carga elétrica demandada por uma usina de dessalinização. Como resultado, o sistema apresentou baixo custo de energia e baixas emissões de CO².

Esses mesmos autores compararam dois novos sistemas de abastecimento elétrico, a partir de energia renovável, incorporados à dessalinização por Osmose Inversa, a saber:

- (1) sistema solar ligado à rede – sistema solar fotovoltaico/rede/inversor e;
- (2) sistema de energia solar fora da rede – energia fotovoltaica/gerador a diesel/bateria/sistema de energia do inversor.

Suas conclusões mostram que o sistema (1) solar fotovoltaico/rede/ inversor oferece um melhor desempenho comparado ao gerador fotovoltaico/diesel/bateria/inversor (2) devido a uma maior participação de recursos renováveis, menor custo de energia, menor dissipação de eletricidade e menor emissão de dióxido de carbono.

Para os Estados brasileiros, como o Rio Grande do Norte, os quais possuem uma situação privilegiada, em relação ao acesso à energia elétrica no meio rural, o sistema *on grid* se mostra mais atrativo, sendo menos suscetível a oscilações e quedas de tensão resultante da intermitência da fonte solar, o que poderia prejudicar a produção de água. Entretanto, para as áreas rurais sem acesso à energia elétrica, o sistema *off grid* é a opção de alimentação elétrica do sistema, a partir de um arranjo composto por módulos fotovoltaicos.

Nesse sentido, Vakilifard *et al.* (2018, p. 1424) concordam que a energia demandada na produção de água por dessalinização deve ser ofertada de forma sustentável, garantindo assim a redução de possíveis impactos ambientais. Deve-se, então, considerar o uso de fontes renováveis disponíveis na localidade, bem como o gerenciamento eficiente dos resíduos gerados (sobras de água com elevada concentração de sais).

Para Lee *et al.* (2015, p. 345), o consumo de água e energia não pode ser separado, uma vez que entre estes a dependência é direta. Nessa perspectiva, a análise desse nexo deve ser capaz de:

- i) Identificar locais ideais para o uso de tecnologia de dessalinização;

- ii) Considerar investimentos em infraestrutura, contabilizando os ativos existentes e
- iii) Avaliar a melhor alocação dos investimentos em água e energia (ISHIMATSU *et al.*, 2017, p. 65-66).

Em outro estudo que avalia a acessibilidade à eletricidade e o custo de um sistema fotovoltaico instalado em conjunto com sistemas de dessalinização solar por osmose reversa, no combate à escassez de água doce em distritos da província de Bushehr, no Irã, Mostafaeipour *et al.* (2019, p. 1) verificaram que o uso de sistemas fotovoltaicos fora da rede é uma solução técnico-econômica sustentável, com custos de produção de água potável estimados entre 1,96 US \$/m³ e 3,02 US \$/m³.

Duas questões técnico-econômicas comuns para as tecnologias associadas para o aproveitamento de água salobra e salina e energia renovável como a fonte solar fotovoltaica merecem ser destacadas:

- 1) Como combinar a intermitência da energia solar com a demanda contínua de tratamento de água;
- 2) Como proceder com o descarte econômico e de baixo impacto ambiental dos resíduos.

Uma das formas de lidar com a intermitência do Sistema Fotovoltaica, elemento presente em sistemas *off gride*, é a incorporação de baterias ao sistema para assegurar o armazenamento de energia. Essa alternativa técnica tanto ajuda em minimizar os efeitos da sazonalidade e instabilidade da produção, como também permite o funcionamento do sistema no período noturno. Em relação ao manejo do resíduo do processo de dessalinização, existe a possibilidade de se utilizarem tanques de contenção, bem como seu emprego em atividades compatíveis com o uso de uma água com alto teor de salinidade, conforme discutido na seção 4.5.2 dessa tese.

Os estudos elencados nessa seção reforçam a necessidade de avaliar o nexo água-energia em um contexto de enfrentamento da escassez hídrica em locais com características permanentes de desequilíbrio entre a disponibilidade dos recursos naturais: baixa quantidade de águas de corpos hídricos superficiais disponível para usos consuntivos; abundância de águas subterrâneas, e elevada irradiação da luz do sol. Essas características estão presentes em boa parte do território brasileiro, principalmente na região Nordeste, marcadamente no seu Semiárido. Nesse contexto, as águas subterrâneas se apresentam como mais uma fonte para compor o rol de estratégias de abastecimento, tendo a fonte solar como recurso energético, atrelado ao processo de dessalinização dessas águas, para suprir com fonte renovável o aumento da demanda de energia. Adiciona-se,

assim, uma alternativa viável às opções de combate ao déficit hídrico já existente.

5.3. DESTINAÇÃO DO RESÍDUO DO PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO

O concentrado da dessalinização da água é um rejeito salino. Ao depositá-lo diretamente no solo, ele pode contribuir para a elevação da sua salinização e contaminação das águas superficiais, próximas ao local. Para Gonçalves; Martins; Ramos (2015, p. 574-575), a salinização é um dos processos de degradação do solo, que conduz ao aumento da concentração de sais solúveis e solução do mesmo, para níveis prejudiciais à vegetação local. A insuficiência de precipitação e/ou de drenagem que permitam a sua lixiviação contribuem para a acumulação de sais no solo.

Nesse sentido, Shemer e Semiat (2017, p. 12-13) e Gude (2017, p. 6045-605) consideram imperativo avançar no conhecimento da melhor destinação dos resíduos oriundos do processo de dessalinização, uma vez que esta é um dos principais desafios desse processo. Os autores elencam opções para o manejo desses resíduos em sistemas que não fazem uso de águas oceânicas, apontando:

- i) Descarte do rejeito salino (em corpos hídricos superficiais ou no sistema de esgoto ou através da injeção em poços); i
- ii) Uso do resíduo na irrigação de culturas adaptadas a águas salobras;
- iii) Uso de técnicas de tratamento da salmoura para armazenamento e descarte,
- iv) Aplicação de técnicas de descargas líquido zero (ZLD)⁶¹,
- v) Emprego de sistemas de evaporação acionados termicamente e cristalização⁶².

No caso de Estados com parte do seu território localizado na área semiárida Brasileira, como é o caso do Rio Grande do Norte, existem diferentes concentrações de sais no rejeito salino em função da qualidade de água subterrânea que está sendo explorada, o que torna necessário o desenvolvimento de estudos e monitoramento destes rejeitos para melhor compreender seus efeitos sobre a qualidade do solo (OLIVEIRA, 2016, p. 25). Nesse sentido, o aproveitamento do concentrado em culturas adaptáveis a uma água com maior nível de salinidade é uma opção promissora para compor o rol de

⁶¹ O ZLD evita completamente a emissão de resíduos líquidos e permite a recuperação de água e sais (SEMBLANTE *et al.*, 2018).

⁶² Técnica de separação sólido-líquido a partir da formação de cristais sólidos através de uma solução homogênea.

estratégias para lidar com o resíduo dos sistemas de dessalinização.

A Figura 21 apresenta um fluxograma representativo do processo de produção de água potável e concentrado (resíduo do processo) a partir do sistema de dessalinização de águas subterrâneas salobras ou salinas. Nela se pode examinar o processo desde a coleta da água através do bombeamento, passando por um pré-tratamento e em seguida pela filtragem através das membranas, onde ocorre a separação entre: i) a água doce, destinada para o consumo humano e água com a concentração de sais removidos pelas membranas; ii) o concentrado que pode ser destinado para evaporação em tanques de contenção ou usado para atividades como a agricultura bioassalada, visando ao cultivo de espécies adaptáveis a águas com elevada salinidade, e dessedentação animal na criação de ovinos e caprinos.

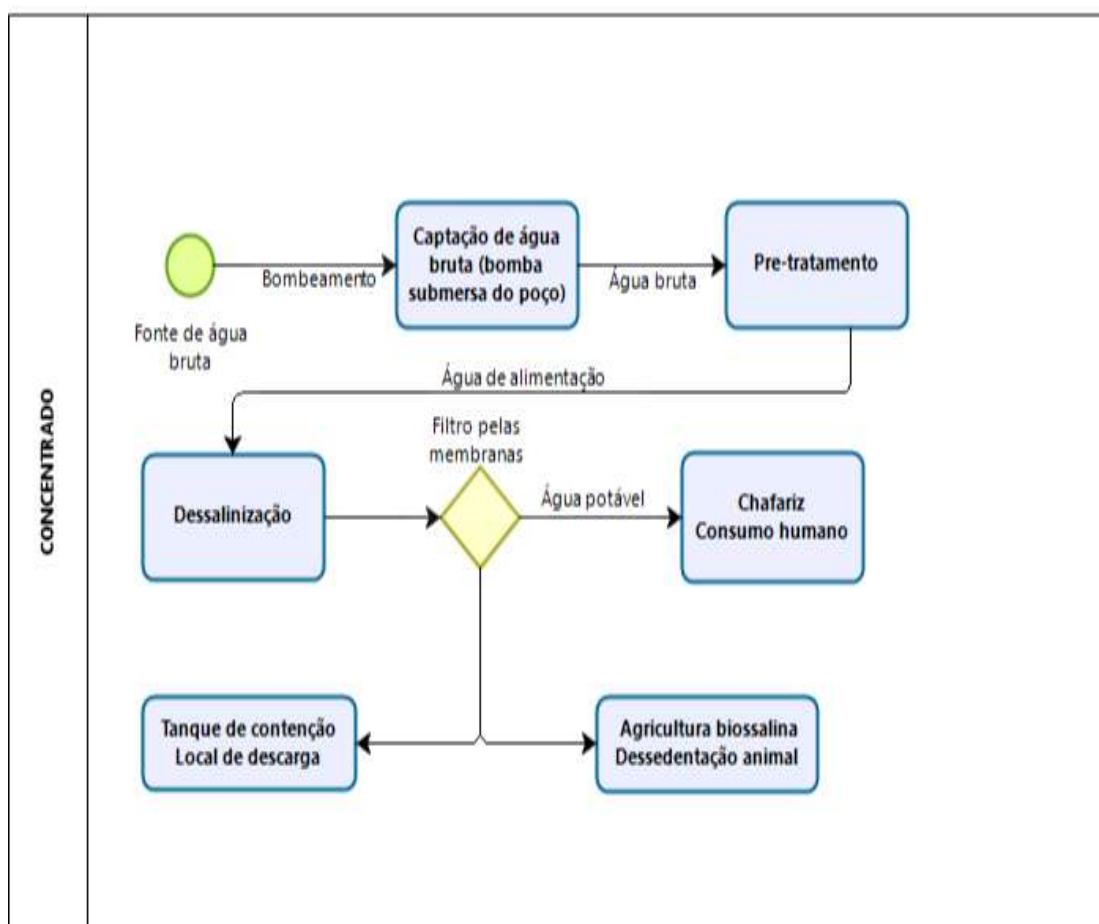


Figura 21 - Sistema de dessalinização de águas subterrâneas salobras ou salinas com destinação ambientalmente indicada das águas residuais do processo.

Fonte: Elaboração própria.

5.3.1. A água salobra na Região Semiárida e Suas Possibilidades de Usos

Visto as técnicas de dessalinização e tecnologia que permitem o suprimento de consumo de energia elétrica, a partir da associação com a energia solar fotovoltaica, além de alternativas para mitigação do impacto ambiental em relação ao processo de dessalinização, as águas subterrâneas salobras, presentes no semiárido Rio Grande do Norte, elevam sua importância na redução da vulnerabilidade hídrica.

Porto (2017, p. 2-3) considera as águas subterrâneas salobras como mais um recurso natural para a convivência com o Semiárido Brasileiro e recomenda o seu aproveitamento com cautela, ressaltando a necessidade de avaliar como utilizar águas com elevados teores de salinidade de forma sustentável, de forma a mitigar os impactos ambientais.

O mesmo autor alerta que o uso não sustentável do solo e a mudança do clima afetam a capacidade de suporte do bioma local e, por esse motivo, sugere, como alternativa para destinação ambientalmente indicada, o plantio de espécies vegetais tolerantes ao estresse salino, a partir das águas residuais do processo de dessalinização. Na Figura 22 se observam espécies vegetais avaliadas e sugeridas pelo autor (PORTO *et al.*, 2019).



Figura 22 - Espécies vegetais com potencial para a agricultura bioassalada.

Fonte: Elaboração própria a partir de (PORTO *et al.*, 2019)

As vantagens e benefícios das espécies vegetais são destacadas por Porto *et al.*, (2019, p. 28-34) da seguinte forma:

- a. A Erva-sal (*Atriplex Numulária*) tem sido plantada em solos irrigados com águas de fontes salobras ou salinas, ou ainda com dejetos de águas salinizadas. Esse cultivo vem sendo usado na alimentação de caprinos, ovinos e bovinos, não tendo apresentado nenhum prejuízo nas qualidades como alimento;
- b. A Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) é insistentemente procurada, não só pelos bovinos, mas também, por caprinos e ovinos.
- c. A Quinoa (*Chenopodium quinoa*) é um dos alimentos mais completos, de acordo com as Nações Unidas e possui em sua constituição ômega 3 e 6, o que reduz o colesterol ruim e aumenta o colesterol bom.
- d. A Leucena (*leucocephala*) apresenta grande aceitação pelo rebanho, excelente qualidade nutritiva, ótimo crescimento em solos de baixa fertilidade, e por ser leguminosa pode ser considerada para melhoramento do solo.
- e. A Gliricídia (*Gliricidia sepium*) apresenta usos múltiplos, tais como: adubação verde, fixação biológica de nitrogênio, reflorestamento de áreas degradadas, cerca viva,

ciclagem de nutrientes, melhoria das condições físicas e biológicas do solo, componente de sistemas agrossilvipastoris e forrageira.

- f. O Capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) é indicada para cultivo de capineiras e no período da seca pode ser fornecida para os animais, picada verde no cocho ou como silagem.
- g. A Melancia forrageira (*Citrilus lanatus* cv.citroides) não é plenamente aceita para consumo humano, mas tem sido utilizada como forragem em pequena escala por pequenos produtores do Nordeste.
- h. O Sorgo Forrageiro (*Sorghum bicolor*) pode ser utilizado em rações para aves, suínos e ruminantes e tem menor custo de produção, além de ser uma boa opção de forragem em situações de déficit hídrico e solos com baixa fertilidade.

A terceira, quarta e quinta seções ajudam a compreensão dos elementos que compõem a objetivo central dessa pesquisa: a redução da vulnerabilidade hídrica em comunidades rurais localizadas no Rio Grande do Norte, a partir de uma alternativa holística de convivência com o semiárido conformada pelo:

- i) Aproveitamento de fonte de água não convencional, as águas salobras subterrâneas;
- ii) Emprego de uma estratégia também não convencional, a dessalinização através da técnica Osmose Inversa, combinada ao uso de um atrativo energético renovável local, a fonte solar, e;
- iii) Descarte ambientalmente indicado do resíduo do processo, mediante a sua aplicação em cultura mais resilientes ao estresse salino.

Assim, a presente Tese, centrada na valorização do nexo água-energia para a composição de estratégia de abastecimento de água não convencional para uma convivência holística no Nordeste Brasileiro, propõe, na seção seguinte, o dimensionamento da potência instalada de sistemas fotovoltaicos necessário para suprir a demanda de energia elétrica dos sistemas de dessalinização em funcionamento nas 68 comunidades do Rio Grande do Norte, beneficiadas pelo Programa Água Doce até março de 2020.

SEÇÃO 6 - APROVEITAMENTO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REDUÇÃO DA VULNERABILIDADE HÍDRICA NO RIO GRANDE DO NORTE

De modo a dar materialidade aos nexos existentes entre a disponibilização de águas e recursos energéticos renováveis, em programas de redução de vulnerabilidade hídrica no semiárido do Rio Grande do Norte, a exemplo do Programa Água Doce, faz-se necessário considerar a viabilidade do aproveitamento de águas subterrâneas em unidades produtivas, vinculadas à agropecuária bioessalina familiar, através de tecnologias de dessalinização. Esses sistemas, ao adotarem os conceitos da sustentabilidade, devem priorizar a integração de tecnologias sociais que permitam o uso de fontes renováveis no atendimento da demanda de energia elétrica dos sistemas de dessalinização.

Em se tratando da área semiárida do Rio Grande do Norte, esta configuração possibilita o uso de um recurso natural abundante na região – a energia renovável (solar e eólica) – para aumentar a disponibilidade de um outro recurso natural, essencial à convivência com o semiárido, escasso e sensível à variabilidade climática e à mudança global do clima – a água para usos múltiplos.

6.1. POTENCIAL SOLAR FOTOVOLTAICO DO RIO GRANDE DO NORTE

O Estado do Rio Grande do Norte possui potencial solar fotovoltaico, no qual a geração de eletricidade, a partir desta fonte, está em ascensão, fundamentalmente com base na tecnologia solar fotovoltaica, conforme citado na seção 4.3. Entre 2017 e 2019, o setor energético estadual aumentou sua contribuição na geração de eletricidade a partir da fonte solar para 264 GWh de energia elétrica gerada em 2019, representando um crescimento de 1.366% em relação a 2017 (EPE, 2018, 2020).

A partir da análise do Atlas Brasileiro de Energia Solar, Pereira *et al.* (2017, p. 59) destacam que a área semiárida no Rio Grande do Norte está entre os locais do país com o maior potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual, podendo atingir 1.800 kWh/kWp.ano.

Nessa perspectiva, parte da energia irradiada pelo sol na área semiárida no Estado do Rio Grande do Norte pode ser convertida em eletricidade através do uso de

sistemas solares fotovoltaicos e assim suprir a demanda elétrica dos sistemas de dessalinização no âmbito do Programa Água Doce (CAVALCANTE *et al.*, 2019, p. 14).

Em março de 2020, 68 comunidades rurais, distribuídas em 38 municípios do Estado do Rio Grande do Norte, contavam com sistemas de dessalinização em operação. Para determinar a influência da radiação solar registrada na área das comunidades, adotou-se a irradiação solar direta normal, através de dados disponibilizados pelo Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia.

A Figura 23 apresenta a irradiação solar direta normal no Estado, bem como localiza as comunidades beneficiadas pelo Programa Água Doce no Rio Grande do Norte. Com base na distribuição da Irradiação direta normal, nela apresentada, pode-se inferir que no semiárido do Estado a mesma é superior a 4,8 kWh/m².dia, em alguns casos, sente-se registro de valores que superam 6 kWh/m².dia⁶³ (INPE, 2017; MDR, 2020b).

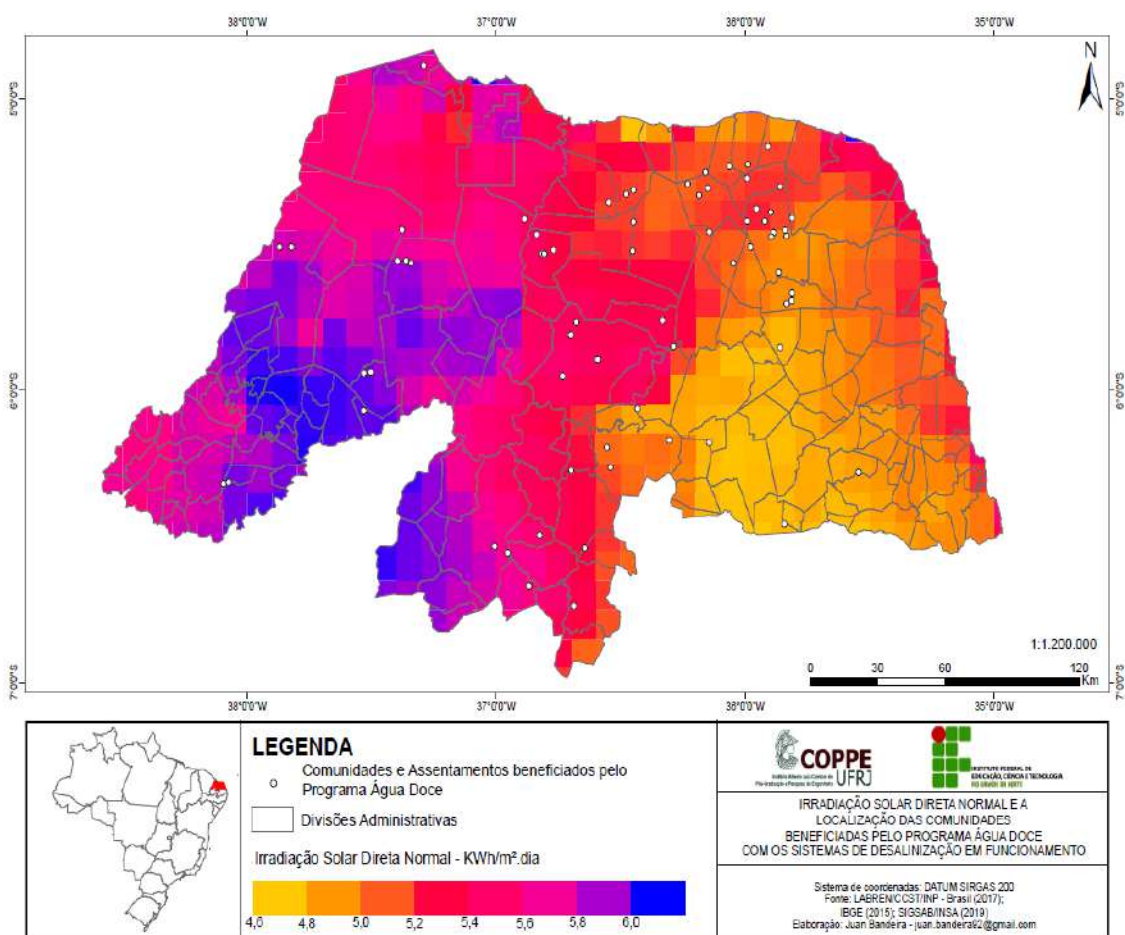


Figura 23 – Irradiação Solar Direta Normal e localização das comunidades com sistemas de dessalinização em operação no Rio Grande do Norte.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Programa Água Doce e do (INPE, 2017).

⁶³ Os dados sobre a irradiação e localização dessas comunidades no Estado são disponibilizados pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar – LABREN/CCST/INPE e pelo Ministério do Desenvolvimento Regional, respectivamente (INPE, 2017; MDR, 2020b).

O potencial de aproveitamento da energia solar fotovoltaica sugere Irradiação Solar Direta Normal mais elevada e menor variabilidade entre as irradiações apresentadas quando comparado ao registrado em países que estão entre os maiores em capacidade instalada em energia solar fotovoltaica, a exemplo da Alemanha e Itália. Na Alemanha, as áreas com maior irradiação solar apresentam rendimentos de 1.000 kWh/kWp ao ano, 44% menor do que identificado para o Rio Grande do Norte, que pode atingir 1.800 kWh/kWp ao ano. Na Itália, a variação da irradiação é de 1,8 kWh/m².dia, com o menor valor de 3,6 kWh/M².dia e maior registro de 5,4 kWh/M².dia. Para o Estado do Rio Grande do Norte, a variação é de 1,2 kWh/m².dia, com o intervalo entre 4,8 kWh/m².dia e 6 kWh/m².dia (ENISCUELA, 2020; EU - EUROPEAN UNION, 2020; WIRTH, 2020).

Verifica-se, portanto, que a área semiárida do Rio Grande do Norte – espaço de abrangência do Programa Água Doce (PAD) – contabiliza um elevado potencial para geração solar fotovoltaica e que o aproveitamento de águas subterrâneas salobras ou salinas, através da inserção de tecnologias sociais, empregando equipamentos baseados no processo de dessalinização por membrana, Osmose Inversa demanda quantidades relevantes de eletricidade – fonte nem sempre disponível, ou quando disponível, não se apresenta na qualidade necessária aos sistemas de dessalinização –. Isto posto, a estratégia de associar sistemas fotovoltaicos conforma-se em método não convencional que mostra-se aderente à realidade posta do gerenciamento integrado dos recursos hídricos no Rio Grande do Norte. Essa alternativa se reveste de maior importância quando, considerada as projeções futuras que indicam redução do regime médio de precipitações.

6.2. DEMANDAS DO PROGRAMA ÁGUA DOCE

Com base na experiência do Projeto Piloto do Maria da Paz, que faz uso da energia solar fotovoltaica, citado na seção 4.4.3 da presente tese, foi dimensionada a potência instalada em MWh necessária aos sistemas fotovoltaicos projetados para atender à demanda de energia elétrica em kWh, quando do funcionamento dos sistemas de dessalinização no âmbito da atuação do Programa Água Doce (PAD) no Rio Grande do Norte, totalizando os 68 sistemas instalados já em funcionamento, onde em apenas um sistema em operação encontra-se integrado ao uso da energia solar fotovoltaica.

6.2.1. Demanda Hídrica

A demanda hídrica por comunidade foi obtida multiplicando-se o total de famílias residentes nas comunidades beneficiadas pelo Programa por um valor de referência de 40 litros de água para o uso humano por família⁶⁴ – valor de referência adotado pelo PAD (SEMARH, 2020). A demanda hídrica diária foi estimada com base em 4.239 famílias beneficiadas e distribuídas em 68 comunidades do Estado, totalizando aproximadamente 170 m³ por dia.

A demanda hídrica das comunidades foi levantada em metro cúbico (m³), expressa como:

$$D = \frac{40 \times F}{1.000}$$

Onde:

D consiste da demanda hídrica em metros cúbicos
(m³)

F = quantidade de famílias residentes na
comunidade beneficiada

A Tabela 13 apresenta o valor da demanda hídrica estimada por comunidade beneficiada pelo Programa Água Doce no Rio Grande do Norte com sistema de dessalinização em operação. A maioria das comunidades apresenta uma demanda hídrica diária inferior a 3 metros cúbicos, 84% (57), em média, essa demanda corresponde a 2,49 metros cúbicos. A diferença entre a demanda hídrica diária das comunidades pode chegar até 8,1 metros cúbicos, a exemplo da comparação entre as comunidades Tubibal e Pelo Sinal II, justificado pela quantidade de famílias presentes em cada uma.

⁶⁴ Valor informado pelo consultor técnico do Programa Água Doce no Rio Grande do Norte em dezembro de 2019.

Tabela 13. Demanda hídrica estimada por comunidade beneficiada pelo Programa Água Doce no Rio Grande do Norte.

Município	Comunidade	Demanda	Município	Comunidade	Demanda	Município	Comunidade	Demanda
Açu	Panon II	8,0	Jandaíra	Santa Inês	1,0	Parazinho	Pereiros	5,4
Afonso Bezerra	Floresta I	1,4		Tubibal	8,8	Parelhas	Várzea Do Barro	5,5
Bento Fernandes	Aldemir Lemos	1,2	Janduís	Permissão do Meio	2,4	Pedra Grande	Bom Sucesso	5,3
	Espinheiro I	4,8		Verruma	1,3	Pedra Preta	Baixa Dos Angicos	5,2
	Barra da Espingarda	3,5	Japi	Casinhas	1,7	Pedro Avelino	Aroeira	5,4
Caicó	Manhoso	3,1	Jardim de Angicos	Serrinha de Cima	3,2	Pendências	Mulungu	5,1
Carnaúba dos Dantas	Rajada	4,2		Açucena	0,8	Pilões	Algodões	6,0
	Baixa Verde	6,0		Baixa Verde/Serra dos Macacos	1,7	Pilões	Várzea Comprida	6,0
Cerro Corá	Santa Rosa	0,8		Boa Sorte	2,8	Riachuelo	Patativa do Assaré	4,9
	Cachoeira	4,0	João Câmara	Maria Da Paz	1,8	Santa Maria	Bancos	5,3
Currais Novos	Namorados	1,9		Modelo I	2,9		Coroas Limpas	5,6
	São Rafael	1,8		Modelo II	4,0	Santana do Matos	Malhadinha	5,6
Equador	Malhada Da Areia	1,3		Oiticica	1,6		Santa Tereza	5,6
Fernando Pedroza	Pelo Sinal II	0,7		Valentin	3,6	São Bento do Norte	Alto do Oriente	5,3
	Cachoeirinha	2,4		Vivará	2,4		Santa Vitória	5,3
Frutuoso Gomes	Mata Seca	3,2		Xoá	3,0	São José do Seridó	Caatinga Grande	5,7
Governador Dix-Sept Rosado	Osmar Vicente	1,8	Lajes	Mulungu	1,2	São Vicente	Torrão	5,5
	Capivara	1,3	Lajes Pintadas	Riacho Fechado	1,1	Serrinha	Pendências	5,0
	Itu	5,9		Sebastião Andrade	3,0	Tibau	Lagoa de Salsa	5,8
Ipanguaçu	Picada	5,6	Macau	Venâncio Zacarias	1,4		Padre Pedro Neffs	5,9
	Porto	2,7	Messias Targino	Trincheira da Serra	1,7	Upanema	São Manoel II	6,0
	Cabeço	1,6	Ouro Branco	São Roque	1,0		Sombreiro	6,0
Jandaíra	Guarapes	4,0	Parazinho	Limão/Limoeiro	1,0	-	-	-
DEMANDA TOTAL EM METROS CÚBICOS (M³)								169,56

¹A demanda hídrica está expressa em metros cúbicos (m³)

Fonte: Elaboração a partir de dados de (SEMARH, 2020).

6.2.2. Demanda de Eletricidade

A demanda de eletricidade consiste em definir o valor estimado para atender ao consumo de energia elétrica do sistema de dessalinização implementada na comunidade. Para tanto, considerou: i) os valores apresentados nas projeções para as expectativas de custos dos sistemas de dessalinização no Programa Água Doce para o Rio Grande do Norte na Tabela 10, item 3.5.4, no qual o consumo diário de energia elétrica por metro cúbico de água dessalinizada estimada teve o menor valor de 2,33 kWh.m³ e o maior de 7,64 kWh.m³; ii) demanda hídrica diária da comunidade, constante na tabela 13 e; iii) a classificação do valor limite de salinidade da água subterrânea salobra disponível na comunidade, a partir de quatro faixas, conforme (PORTO, 2017), em seguida, foi gerada uma matriz de quarta ordem com os consumos de energia elétrica para servir de referência e ser associada à realidade de cada comunidade, de acordo Tabela 12.

A Tabela 14 permite observar a demanda estimada diária de energia elétrica da comunidade, definida a partir do teor de salinidade e demanda diária de água para abastecimento das famílias. Consiste em uma matriz com dezesseis valores de referência dentro de um intervalo, com o menor valor observado de 2,33 kWh.m³ e o maior 7,64 kWh.m³.

Tabela 14. Consumo de energia elétrico adotado no presente estudo para o dimensionamento da potência instalada para os arranjos fotovoltaicos.

SALINIDADE	dS/m	kWh.m ³				CONSUMO
	< 4	4,10	3,510	2,920	2,33	
	4 - 6	4,10	4,100	3,510	2,92	
	6 - 10	5,87	4,690	4,100	3,51	
	> 10	7,64	5,281	4,690	4,10	
		< 0,6 m ³ /dia	0,6 - 1,2 m ³ /dia	1,2 - 2,4 m ³ /dia	> 2,4 m ³ /dia	
Produção do permeado (m ³)						

Fonte: Elaboração própria.

Dessa forma, a estimativa da demanda diária de energia elétrica para suprir todos sistemas de dessalinização do Programa Água Doce (PAD) no Rio Grande do Norte é obtida pelo produto da demanda hídrica diária das comunidades beneficiadas pelo PAD pelo consumo de energia elétrica estimado para os sistemas de dessalinização, conforme apresentado na Tabela 15. Dessa forma, a demanda diária de energia elétrica alcança 506 kWh, quando de uma oferta diária de água estimada em 169,56 m³ para abastecimento humano.

Tabela 15. Demanda de energia elétrica estimada por comunidade beneficiada pelo Programa Água Doce no Rio Grande do Norte.

Município	Comunidade	Demanda	Município	Comunidade	Demanda	Município	Comunidade	Demanda
Açu	Panon II	25,7	Jandaíra	Santa Inês	3,51	Parazinho	Pereiros	8,4
Afonso Bezerra	Floresta I	5,6		Tubibal	20,50	Parelhas	Várzea Do Barro	8,2
Bento Fernandes	Aldemir Lemos	4,2	Janduís	Permissão do Meio	7,01	Pedra Grande	Bom Sucesso	9,7
	Espinheiro I	11,2		Verruma	3,85	Pedra Preta	Baixa Dos Angicos	7,6
Caicó	Barra da Espingarda	12,2	Japi	Casinhas	8,07	Pedro Avelino	Aroeira	7,6
	Manhoso	7,3	Jardim de Angicos	Serrinha de Cima	10,29	Pendências	Mulungu	6,2
Carnaúba dos Dantas	Rajada	9,8		Açucena	3,28	Pilões	Algodões	3,7
				Baixa Verde/Serra dos Macacos	4,91	Pilões	Várzea Comprida	4,2
Cerro Corá	Baixa Verde	14,0		Boa Sorte	6,52	Riachuelo	Patativa do Assaré	3,9
	Santa Rosa	2,7		Maria Da Paz	7,38	Santa Maria	Bancos	5,0
Currais Novos	Cachoeira	9,3	João Câmara	Modelo I	6,71	Santana do Matos	Coroas Limpas	5,4
	Namorados	5,5		Modelo II	9,32		Malhadinha	2,7
	São Rafael	5,3		Oiticica	4,67		Santa Tereza	4,0
Equador	Malhada Da Areia	3,9		Valentin	11,57	São Bento do Norte	Alto do Oriente	11,1
Fernando Pedroza	Pelo Sinal II	3,7		Vivará	7,01		Santa Vitória	6,4
	Cachoeirinha	7,0		Xoá	9,52	São José do Seridó	Caatinga Grande	14,0
Frutuoso Gomes	Mata Seca	7,5						
Governador Dix-Sept Rosado	Osmar Vicente	5,4	Lajes	Mulungu	6,34	São Vicente	Torrão	6,4
	Capivara	4,9	Lajes Pintadas	Riacho Fechado	3,93	Serrinha	Pendências	4,7
Ipanguaçu	Itu	13,7		Sebastião Andrade	6,99	Tibau	Lagoa de Salsa	11,6
	Picada	17,9	Macau	Venâncio Zacarias	4,09		Padre Pedro Neffs	4,3
	Porto	6,3	Messias Targino	Trincheira da Serra	5,90	Upanema	São Manoel II	6,1
	Cabeço	6,6	Ouro Branco	São Roque	3,51		Sombreiro	8,4
Jandaíra	Guarapes	9,3	Parazinho	Limão/Limoeiro	3,51	-	-	-
DEMANTA DE ENERGIA ELÉTRICA TOTAL ESTIMADA EM KILOWATT HORA POR METRO CÚBICO (kWh.m³)								506

¹ A demanda de energia elétrica diária está expressa em kilowatt hora por metro cúbico (kWh.m³).

Fonte: Elaboração própria.

A demanda média diária de energia elétrica e volume médio diário de água requerido por comunidade, foram estimados em 7,45 kWh e 2,49 m³, respectivamente. Identificada a demanda eletricidade para fornecimento aos sistemas de dessalinização nas comunidades beneficiadas pelo Programa Água Doce no Estado, fez-se necessário dimensionar a potência instalada necessária aos sistemas solares fotovoltaicos para garantir fornecimento dessa demanda.

6.3. ESTIMATIVA DA POTÊNCIA INSTALADA DOS SISTEMAS SOLAR FOTOVOLTAICO

O dimensionamento da potência instalada necessárias aos sistemas fotovoltaicos para o atendimento da demanda de eletricidade dos sistemas de dessalinização das 68 comunidades, consideradas no presente estudo, faz uso das projeções de consumos disponibilizadas pelo Programa Água Doce, bem como de dados levantados nas comunidades beneficiadas, a saber:

- Número de habitantes;
- Salinidade da água do poço;
- Irradiação solar direta normal local.

A demanda de eletricidade, citada na seção 6.2.2, foi assumida a partir de projeções apresentadas na Tabela 15, cujo consumo varia entre 2,33 e 7,64 kWh/m³, intervalo esse, próximo ao referenciado na literatura (BURN *et al.*, 2015; KHAN; LINARES; GARCÍA-GONZÁLEZ, 2017).-

O dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico considerou: a) a demanda de água diária; b) a demanda de energia elétrica diária; c) a potência de saída do módulo fotovoltaico sob as condições locais de temperatura e irradiação; d) a quantidade de módulos necessários para o arranjo do sistema fotovoltaico.

Os valores para o coeficiente de temperatura da energia⁶⁵, temperatura do módulo fotovoltaico e temperatura do módulo sob STC⁶⁶ foram ponderados com base nos requisitos constantes na licitação realizada pela Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte para implantar o modelo adotado na comunidade Maria

⁶⁵ Mede o quanto de energia é perdido para cada °C elevado, a partir de 25°C, que é a temperatura em condições padrão teste

⁶⁶ Condições padrão teste em laboratório

da Paz em 2017 (SEMARH, 2020).

A Tabela 16 fornece os parâmetros considerados necessários no dimensionamento da Potência Instalada dos Sistemas Fotovoltaicos: dados de temperatura; potência instalada dos módulos fotovoltaicos, eficiência do sistema. O dimensionamento realizado considera uma perda de eficiência do sistema de 0,5% ao ano e vida útil de 25 anos.

Tabela 16. Dados sobre a temperatura nos módulos fotovoltaicos considerados pela Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte.

Coeficiente de temperatura da energia	-0,50%
Temperatura do módulo fotovoltaico	25 a 40°C
Temperatura do módulo sob STC	45 ± 7°C
Potência instalada (Wp)	320
Ampére (Ah)	8,64
Voltagem (v)	37
Eficiência do sistema	87,5%
Eficiência energética dos painéis	15%
Área do painel (m²)	1,94

Fonte: Elaboração própria.

A partir da metodologia apresentada por Ghenai *et al.* (2018, p. 174) para cálculo da potência instalada e definição da quantidade de módulos necessários para composição de sistema solar fotovoltaico, citado na primeira seção do presente trabalho, foi estimada a potência instalada necessária ao suprimento do consumo de energia elétrica do sistema de dessalinização por comunidade ,obtendo-se um total de 345 kWp distribuídos em 1.112 módulos de 320 Wp, de acordo com a Tabela 17. Nela se observam informações sobre a irradiação solar direta Normal local, a quantidade de famílias e das demandas estimadas de água e energia elétrica das comunidades com sistema de dessalinização em operação do Programa Água Doce no Rio Grande do Norte, tendo como referência o mês de março de 2020, bem como a potência instalada e quantidade de módulos para compor o Sistema Solar Fotovoltaica para anteder à demanda de eletricidade do sistema de dessalinização por comunidade.

Tabela 17. Potência instalada e quantidade de módulos para compor Sistema Solar Fotovoltaico.

Comunidade	Irradiação solar	Nº de famílias	Demanda		Sistema Solar Fotovoltaico	
			Hídrica	Energia elétrica	Potência instalada	Nº de Módulos
Açucena	5,11	20	0,8	3,28	2,37	8
Aldemir Lemos	5,08	30	1,2	4,21	3,07	10
Algodões	6,00	32	1,28	3,74	2,31	8
Alto do Oriente	5,29	86	3,44	11,06	7,74	25
Aroeira	5,37	50	2	7,61	5,25	17
Baixa Dos Angicos	5,22	50	2	7,61	5,40	17
Baixa Verde	4,98	150	6	13,98	10,39	33
Baixa Verde/Serra dos Macacos	5,32	42	1,68	4,91	3,41	11
Bancos	5,29	33	1,32	5,02	3,51	11
Barra da Espingarda	5,85	87	3,48	12,22	7,73	25
Boa Sorte	5,11	70	2,8	6,52	4,72	15
Bom Sucesso	5,31	69	2,76	9,69	6,75	22
Caatinga Grande	5,71	100	4	14,04	9,10	29
Cabeço	5,31	40	1,6	6,56	4,58	15
Cachoeira	5,31	100	4	9,32	6,49	21
Cachoeirinha	5,89	60	2,4	7,01	4,40	14
Capivara	5,64	32	1,28	4,87	3,20	10
Casinhas	4,87	43	1,72	8,07	6,13	20
Coroas Limpas	5,59	46	1,84	5,37	3,56	12
Espinheiro I	5,08	120	4,8	11,18	8,16	26
Floresta I	5,33	34	1,36	5,58	3,87	13
Guarapes	5,81	100	4	9,32	5,94	19
Itu	5,64	147	5,88	13,70	9,00	29
Lagoa de Salsa	5,83	90	3,6	11,57	7,35	23
Limão/Limoeiro	5,36	25	1	3,51	2,42	8
Malhada Da Areia	5,68	33	1,32	3,85	2,51	8
Malhadinha	5,60	19	0,76	2,67	1,76	6
Manhoso	5,87	78	3,12	7,27	4,58	15
Maria Da Paz	5,11	45	1,8	7,38	5,34	17
Mata Seca	5,89	80	3,2	7,46	4,68	15
Modelo I	5,38	72	2,88	6,71	4,61	15
Modelo II	5,32	100	4	9,32	6,48	21
Mulungu	5,34	30	1,2	6,34	4,40	14
Mulungu	5,08	33	1,32	6,19	4,52	15
Namorados	5,24	47	1,88	5,49	3,88	13
Oitica	5,38	40	1,6	4,67	3,21	11
Osmar Vicente	5,73	46	1,84	5,37	3,47	11
Padre Pedro Neffs	5,95	37	1,48	4,32	2,69	9
Panon II	5,62	200	8	25,72	16,94	53

Continua

Comunidade	Irradiação Solar	Nº de famílias	Demanda		Sistema Solar Fotovoltaico	
			Hídrica	Energia elétrica	Potência Instalada	Nº de módulos
Patativa do Assaré	4,90	33	1,32	3,85	2,91	10
Pelo Sinal II	5,58	17	0,68	3,69	2,45	8
Pendências	5,00	40	1,6	4,67	3,46	11
Pereiros	5,36	55	2,2	8,37	5,78	19
Permissão do Meio	6,00	60	2,4	7,01	4,32	14
Picada	5,64	139	5,56	17,87	11,74	37
Porto	5,37	68	2,72	6,34	4,37	14
Rajada	5,49	105	4,2	9,79	6,59	21
Riacho Fechado	4,88	28	1,12	3,93	2,98	10
Santa Inês	5,25	25	1	3,51	2,48	8
Santa Rosa	5,31	19	0,76	2,67	1,86	6
Santa Tereza	5,63	34	1,36	3,97	2,61	9
Santa Vitória	5,31	69	2,76	6,42	4,47	14
São Manoel II	5,95	65	2,6	6,06	3,77	12
São Rafael	5,22	45	1,8	5,26	3,73	12
São Roque	5,74	25	1	3,51	2,26	8
Sebastião Andrade	5,33	75	3	6,99	4,85	16
Serrinha de Cima	5,20	80	3,2	10,29	7,32	23
Sombreiro	5,95	65	2,6	8,36	5,20	17
Torrão	5,53	42	1,68	6,39	4,28	14
Trincheira da Serra	6,02	42	1,68	5,90	3,63	12
Tubibal	5,29	220	8,8	20,50	14,36	45
Valentin	5,09	90	3,6	11,57	8,41	27
Várzea Comprida	6,00	30	1,2	4,21	2,60	9
Várzea Do Barro	5,53	50	2	8,20	5,49	18
Venâncio Zacarias	5,33	35	1,4	4,09	2,84	9
Verruma	6,00	33	1,32	3,85	2,38	8
Vivará	5,38	60	2,4	7,01	4,82	16
Xoá	5,32	74	2,96	9,52	6,62	21
TOTAL		4239	169,56	506,52	344	1112

¹Irradiação solar Direta Normal diária expressa em Kilowatt hora por metro quadrado (KWh/m².dia)

²Demanda hídrica está expressa em metros cúbicos (m³)

³Demanda de energia elétrica diária está expressa em Kilowatt hora por metro cúbico (kWh.m³).

⁴Potência instalada expressa em Kilowatt pico (kWp)

A menor potência instalada demandada foi estimada para a comunidade malhadinha com o valor de 1,76 kWp para atender a um sistema de dessalinização que beneficia 19 famílias, e a maior potência instalada foi estimada para a comunidade Panon II, com o valor de 16,94 kWp para atender a um sistema de dessalinização que beneficia 200 famílias.

A diferente irradiação solar direta normal influencia diretamente no dimensionamento da potência instalada. Isso explica o fato de que as comunidades de Malhadinha e Panom II não serem aquelas de menor e maior demanda hídrica diária estimada, mas apresentarem a maior e menor capacidade instalada dos sistemas fotovoltaicos. As comunidades Pelo Sinal II e Tubibal foram diagnosticadas com a menor e maior demanda de água para abastecimento de seus habitantes. Nesse caso, Malhadinha e Panon II estão localizadas em uma área com maior irradiação do que Pelo Sinal II e Tubibal. A Figura 25, apresenta a localização das 68 comunidades com as suas respectivas potências instaladas por sistemas fotovoltaicos, aqui estimados.

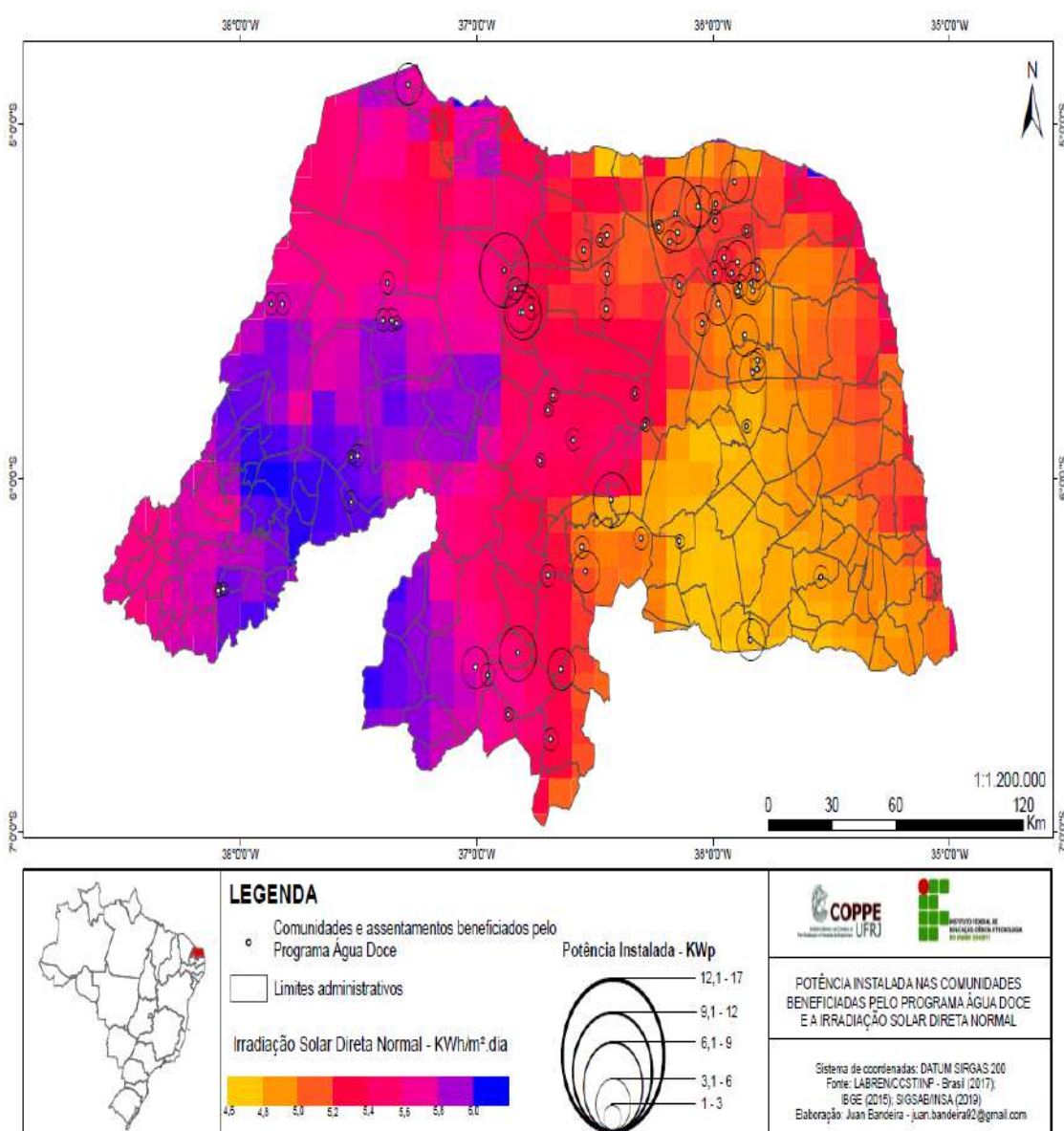


Figura 24 - Potência instalada e a irradiação solar direta normal local nas comunidades beneficiadas pelo Programa Água Doce no Rio Grande do Norte.
Fonte: Elaboração própria.

Os resultados sugerem que a maioria das comunidades beneficiadas pelo Programa Água Doce (PAD) no Rio Grande do Norte está presente em áreas com irradiação solar direta normal entre 5 e 6 kWh.m², demandando uma potência instalada entre 2 e 8 kW para o arranjo fotovoltaico atender à demanda elétrica estimada do sistema de dessalinização, visando a pequenas produções de água para abastecimento humano. A Figura 26 permite observar a relação entre a irradiação solar direta normal diária e a potência instalada estimada para as 68 comunidades do PAD consideradas nesse estudo.

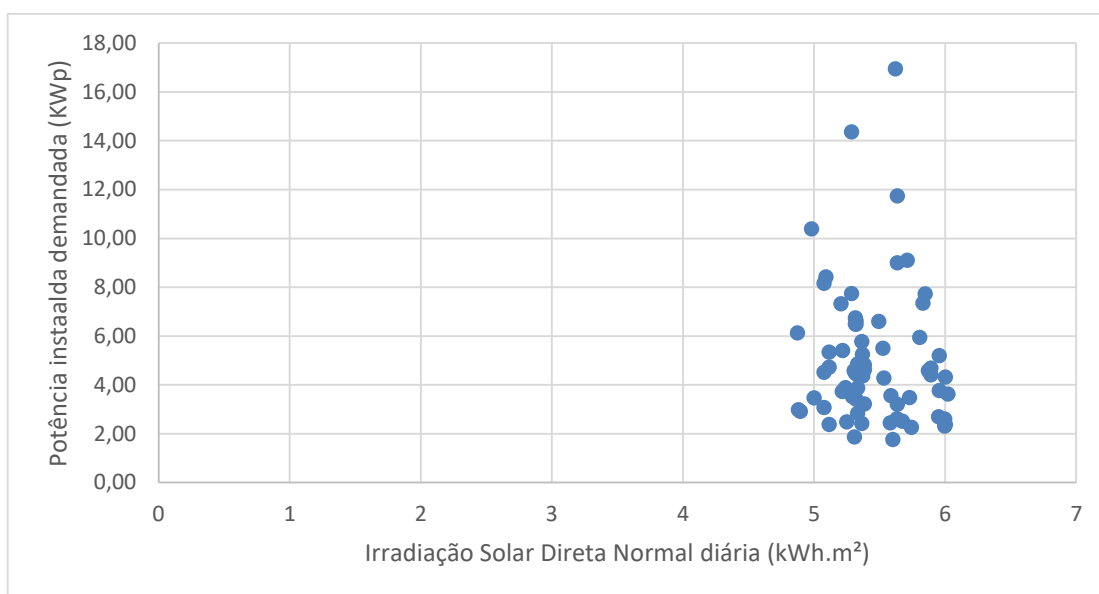


Figura 25 - Relação entre a potência instalada (kWp) estimada para atender ao sistema de dessalinização e a irradiação solar direta normal (em kWh.m²), nas comunidades beneficiadas pelo Programa Água Doce no Rio Grande do Norte.

Fonte: Elaboração própria.

A demanda de eletricidade acompanha a demanda hídrica, que está atrelada à quantidade de famílias beneficiadas em uma comunidade. No entanto, o que é padrão em todas as 68 comunidades beneficiadas pelo Programa Água Doce no Rio Grande do Norte é alta irradiação solar direta normal, relevando potencial significativo para aproveitamento da energia solar fotovoltaica. Nesse contexto, não é recomendável negligenciar o nexo água-energia, na estruturação de políticas públicas, como estratégia de acesso permanente à água potável em um ambiente natural como na área semiárida.

Ante o exposto, o conjunto de informações até aqui tratado ajuda na compreensão de que o aproveitamento de águas subterrâneas já está presente na vida dos homens e mulheres sertanejo(a)s, trata-se de mais uma fonte que pode contribuir para aumentar a disponibilidade de água e deve ser incorporada ao gerenciamento integrado

de recursos hídricos no Estado do Rio Grande do Norte, considerando as especificidades e a harmonia na atuação dos três entes federativos.

A gestão de águas acontece na esfera federal, passando pela esfera estadual, municípios, comitês de bacias hidrográficas até representantes de comunidades. No Rio Grande do Norte, outras estratégias (citadas na seção 4.4) objetivando o abastecimento de água estão presentes na sua região semiárida. Como alternativa consagrada, têm-se os reservatórios e açudes; o uso de cisternas e; já nas situações emergências – estiagens prolongadas e secas –, a distribuição de água é feita por caminhões tanque.

A respeito dessas estratégias, o Programa Água Doce pode preencher lacunas deixadas, pois apresenta menor sensibilidade à variabilidade climática, uma vez que, diferente das outras estratégias, faz uso de água subterrânea a qual sofre menor influências das altas temperaturas e alta irradiação solar e, por consequência, mostra-se menos suscetível à evapotranspiração, além de promover uma maior integração social da comunidade com o programa, com resultado de uma gestão compartilhada, que promove um maior participação da comunidade.

A mobilização social incorporada ao Programa integra a comunidade beneficiada com o processo e promove acesso de novas tecnologias à realidade local, o envolvimento de lideranças locais e técnicos do Programa Água Doce, através das ações de capacitação voltadas ao melhor entendimento técnico e das repercussões sociocultural do processo de dessalinização adotado, mostra-se importante para viabilizar o eficiente funcionamento dos sistemas de dessalinização, dando a este uma maior vida útil.

As características próprias do Programa Água Doce, em relação ao aproveitamento de fonte hídrica presente no local onde haverá o abastecimento para consumo humano e o manejo das águas resíduos do processo de dessalinização a partir de uma destinação ambientalmente indicada, conformam a estratégia como uma opção de abastecimento de água que se realiza sem demandar grandes obras de infraestrutura hídrica e impactos ambientais, que deve ser pensada tanto para o presente e quanto em um contexto futuro de possíveis impactos desfavoráveis no setor hídrico frente aos cenário de mudança global do clima.

Por se tratar de uma política social permanente na promoção do acesso à água através de recursos públicos, concebida a partir de um aproveitamento sustentável, o Programa Água Doce deve ser avaliado constantemente para minimizar erros e evoluir, buscando um maior equilíbrio entre o aproveitamento dos recursos naturais disponíveis no local, de modo a mitigar impactos ambientais e promover o aproveitamento dos

recursos energéticos renováveis.

Nessa perspectiva, o uso de fontes renováveis, como a energia solar para fornecer a eletricidade demandada pelos sistemas de dessalinização ressignifica o valor socioeconômico e ambiental dos recursos naturais locais. Nesse ambiente, o recurso solar assume um papel estratégico na garantia do funcionamento dos sistemas de dessalinização, principalmente em locais onde o acesso à eletrificação rural é precário. Assim, os sistemas *off grid* podem ser encarados como uma solução sem grandes intervenções na atual infraestrutura de rede de elétrica na zona rural do Estado do Rio Grande do Norte.

No âmbito do Programa Água Doce (PAD), o incentivo ao uso de painéis fotovoltaicos necessita ser bem avaliado quanto à contribuição à emissão de gases de efeito estufa originários desses sistemas. Isto porque o local de origem dos painéis requer cuidados, uma vez que o PAD os importou da China e da Malásia, países que apresentam altos fatores de emissão em sua matriz elétrica. Promover o desenvolvimento sustentável, incentivando o uso de sistemas fotovoltaicos, deve priorizar a importação dos sistemas fotovoltaicos de países cuja matriz elétrica apresenta baixos fatores de emissão, a fim de evitar importações indiretas de quantidades significativas de carbono incorporado (CONSTANTINO *et al.*, 2018)

Lima (2019) , ao avaliar a Eficiência Energética em termos de redução de demanda de energia e adoção de Geração Distribuída (GD) e a mitigação de Gases de Efeito Estufa, em Sistemas Solar Fotovoltaico instalados no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, destaca que as emissões provenientes da energia requerida na fabricação e instalação dos Sistemas Solares Fotovoltaicos representaram em média 84% do total de emissões de Dióxido de Carbono (CO²) dos sistemas estudados, devido à alta influência do fator de emissão da matriz elétrica do país de fabricação dos painéis, a China, estabelecendo assim, espaço para reflexões sobre a importância de se avaliar a matriz energética do país de origem. Nessa perspectiva, em países com grande participação de fontes renováveis na sua matriz elétrica, como Brasil, a importação de sistemas Solar Fotovoltaico deve ser analisada com a finalidade de evitar que se importem sistemas provenientes de países de matriz elétrica com elevada participação de combustíveis fósseis, que no caso chinês representam 72,8%, dos quais 70% são carvão. O que pode configurar de certa forma, em importação de “carvão” embutido em sistemas de energia renovável.

Para António Guterres (2020), o Secretário-geral das Nações Unidas, cada país

e cidade devem adotar um plano de transição para emissões zero – cortar as emissões mundiais de carbono em 45% até 2030 e promover um planeta neutro em carbono até 2050. Nesse ambiente, o Programa Água Doce, deve estar aderente a tais premissas, avaliando continuamente os materiais e equipamentos necessários à sua execução, em um contexto de descarbonização da economia.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta tese avalia o aproveitamento de águas subterrâneas no Nordeste brasileiro integrando a esse aproveitamento: i) tecnologias/técnicas de dessalinização utilizadas no mundo; ii) Osmose Inversa; iii) atrativos energéticos proporcionados pela fonte solar fotovoltaica abundante na região; iv) destinação ambientalmente indicada das sobras de águas do processo de dessalinização contendo elevada concentração de sais, tendo como recorte espacial a área semiárida delimitada presente no Estado do Rio Grande do Norte.

A revisão da literatura indica que a Região do Semiárido Brasileiro é caracterizada por uma condição de vulnerabilidade socioeconômica e ambiental, marcada por períodos de estresse hídrico e fortemente sensível ao fenômeno recorrente de secas, que causam desastres naturais e moldam a vida social e as atividades econômicas da população residente.

Historicamente, o fenômeno da seca é usado como justificativa dominante para determinar uma condição de subdesenvolvimento da região Nordeste, que concentra cerca de 90% da área semiárida delimitada. A tese rechaça essa narrativa, e com base no seu referencial teórico, entende que essa condição de menor desenvolvimento em relação a outras regiões do país é resultado de um duplo efeito de transferência de renda do Nordeste para o Centro-Sul do Brasil, promovendo a manutenção de uma economia primária no Nordeste à custa de uma dependência de importação de bens industrializados do Centro-Sul, a preços mais altos que os praticados por outros países. Os superávits comerciais auferidos na região eram transferidos para fora do seu território, como forma de garantir importações de outras regiões do Brasil, dessa forma, as regiões sul e sudeste eram privilegiadas na adoção de novas técnicas e tecnologias.

A Região Nordeste, desde de sua invenção foi associada ao fenômeno da seca em um contexto de naturalização da escassez de recursos, a exemplo da baixa disponibilidade de águas superficiais, pode ser “redescoberta” como região com capacidade de conviver com estes eventos climático, a partir de políticas orientadas a superar tais adversidades, incorporando os avanços técnicos e tecnológicos para o aproveitamento de fontes hídricas alternativas, a exemplo de águas subterrâneas, e de fontes renováveis de energia, a exemplo do sol e vento.

A inserção de soluções técnicas e tecnológicas que contribuam para o desenvolvimento da região, de forma a superar os obstáculos postos pelas variabilidades climáticas locais, além de inserir no contexto as apreensões advindas dos cenários

concernentes à mudança global do clima, tais alternativas tem potencial de contribuir para um processo que integre diferentes alternativas de convivência com o Semiárido Brasileiro, ampliando, assim, a capacidade regional de enfrentar cenários futuros de agravamento de extremos climáticos.

A combinação entre a técnica de dessalinização por Osmose Inversa e energia solar fotovoltaica, contemplando a correta destinação dos resíduos está centrada em um esforço voltado para que a Região Nordeste possa conviver sem tropeços com as condições naturais de seu clima, de modo a contribuir com a redução da desigualdade socioeconômica regional inserida em um contexto que projeta, para o século em curso, o agravamento do seu déficit hídrico, em função da potencial redução do regime médio de precipitações.

A experiência do aproveitamento de água salobra e salina no Brasil à luz do Programa Água Doce, o qual adota uma estratégia capaz de proporcionar o acesso à água potável como um bem público, fundamental na promoção da garantia de direitos sociais presente na Constituição Federal de 1988, como a alimentação (consumo humano) e saúde, evita ou mitiga a propagação de doenças relacionadas a ingestão de água contaminada. A oferta de água dessalinizada tem potencial de contribuir no aumento da oferta de proteína animal, seja através da piscicultura, criação de tilápias, seja através da ovinocaprinocultura.

A investigação sobre o aproveitamento de águas subterrâneas salobras no Rio Grande do Norte, à luz do Programa Água Doce, revela a promoção de acesso à água potável, com a preocupação em mitigar o impacto ambiental, mas sem explorar de forma equilibrada o nexo água-energia-alimento. Negligencia, portanto, o potencial energético renovável local – solar e eólico – e a aplicação dos resíduos do processo de dessalinização em atividades econômicas adaptáveis às características naturais do semiárido vinculadas à agropecuária familiar.

A pesquisa revelou que o Programa Água Doce (PAD) tem um longo caminho a percorrer para consolidar a integração de seus sistemas de dessalinização a unidades produtivas com o emprego de sistemas fotovoltaicos. O aproveitamento, ora tido como “sustentável”, de águas subterrâneas proposto pelo PAD vincula a sua atuação à destinação ambientalmente indicada do resíduo do processo de dessalinização. Até o momento o enfoque está centrado na mitigação do impacto ambiental, e não no reuso da água para a agricultura bioessalina e criação de animais, a depender das características físico-químicas das águas residuais. O uso da energia solar também encontra porto no

PAD como uma estratégia a ser objetivada, mas até o momento não se registra avanço significativos nesse aspecto.

Cabe ressaltar que a adoção de sistemas fotovoltaicos aos sistemas de dessalinização apresenta um grande atrativo para seu aproveitamento, isto porque contabiliza uma significativa irradiação solar direta normal na quase totalidade da região abrangida pelo Programa Água Doce.

No caso das águas residuais do processo de dessalinização, inserir técnicas de manejo, a exemplo de tanques para evaporação, demonstra preocupação com a mitigação dos impactos ambientais gerados no processo. A essas águas, é possível dar valor econômico, tornando-as atrativas à economia local, mantendo o impacto positivo na preservação do meio ambiente, mediante uma estratégia de economia circular, com foco no uso cíclico dos recursos hídricos, aumentando o seu tempo de vida no sistema.

Durante as realizações da pesquisa, as limitações observadas recaíram na reduzida disponibilidade e desatualização dos dados relativos aos sistemas de dessalinização em funcionamento no Programa Água Doce, a exemplo dos dados relativos às características físico-químicas e bacteriológicas das águas subterrâneas disponíveis. Para superar essa limitação, foram cruzados dados obtidos a partir de fontes secundárias da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Em seus resultados a pesquisa indica que a maioria das comunidades beneficiadas pelo Programa Água Doce (PAD) no Rio Grande do Norte (94%), está presente em áreas com irradiação solar direta normal superior a 5 kWh.m², demandando uma potência instalada entre 2 e 8 kW para que um arranjo fotovoltaico projetado a integrar-se ao sistemas de dessalinização possa atender à demanda de energia elétrica requerida pelo sistema de dessalinização.

Tendo em vista o potencial significativo revelado para aproveitamento da energia solar fotovoltaico, independente da demanda de eletricidade, que acompanha a demanda hídrica, atrelada à quantidade de famílias beneficiadas nas comunidades, não é recomendável negligenciar o nexo água-energia, na estruturação de políticas públicas, como estratégia de acesso permanente à água potável em um ambiente natural como na área semiárida.

Presente no contexto do Programa Água Doce, a sustentabilidade deve ser responsável pela inserção da descarbonização em seu contexto, os responsáveis pela implementação de sistemas de dessalinização, sistemas produtivos e sistemas

fotovoltaicos devem pautar duas escolhas em prol da neutralidade de carbono em seus processos, insumos e equipamentos demandados.

O aproveitamento de águas subterrâneas já está presente na vida dos homens e mulheres que ocupam o semiárido brasileiro, como mais uma fonte que pode contribuir para aumentar a disponibilidade de água, a qual deve ser incorporada ao gerenciamento integrado de recursos hídricos, considerando as especificidades e a harmonia na atuação dos três entes federativos.

Para uma melhor experiência com o uso da fonte hídrica subterrânea, o protagonismo não deve ser atribuído ao aspecto técnico e tecnológico, e sim a mobilização social. Independente da opção técnica e tecnológica adotada, o que deve ser comum é a disseminação do conhecimento através da mobilização da comunidade, visando à criação de estruturas permanentes de gestão para a autonomia a longo prazo, a partir de aspectos relacionados à convivência local.

Reconhecendo o papel que a academia desempenha na sociedade, um diferencial deste estudo é avaliar uma política pública de acesso à água para comunidades rurais sem negligenciar o nexo água-energia-alimento e importância em buscar alternativas que além de mitigar impacto ambiental também proporcionem condições para um maior retorno, seja econômico, seja de aumento na oferta de proteína animal, para as famílias residentes na Região Nordeste, em especial no Semiárido Brasileiro. Pode-se afirmar que a pesquisa esteve centrada em um objetivo maior, a busca por uma melhor convivência com o Semiárido

A repercussão científica do estudo em tela deve além do impacto acadêmico, conforma-se, portanto, em um subsídio às políticas de abastecimento de água no meio rural, voltadas para o espaço objeto de pesquisa desta tese. Nesse sentido, os resultados da presente pesquisa possibilitam a oportunidade dos estudos elaborados em trabalhos futuros que promovam a inserção da fonte de energia eólica, bem como da água do mar para o estudo do desenvolvimento de sistemas de tratamento de água para o Nordeste Brasileiro, tendo em vista o significativo potencial da Região para o aproveitamento dessa fonte. Além de novos estudos para o desenvolvimento de uma agropecuária bioessalina de referência e adequada às características naturais da Região Nordeste.

REFERÊNCIAS

ABDELKAREEM, M. A. *et al.* Recent progress in the use of renewable energy sources to power water desalination plants. **Desalination** v. 435, pp. 97-113, Out. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.11.018>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

ABS - AUSTRALIAN BUREAU OF STATISTICS. **National, state and territory population**. 2020. Disponível em: <<https://www.abs.gov.au/AUSSTATS/abs@.nsf/mf/3101.0>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

AL-KARAGHOULI, A. A.; KAZMERSKI, L. . Renewable Energy Opportunities in Water Desalination. **Desalination, Trends and Technologies** pp. 149–194, Fev. 2011. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/books/desalination-trends-and-technologies/renewable-energy-opportunities-in-water-desalination>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

ALKAISI, A.; MOSSAD, R.; SHARIFIAN-BARFOROUSH, A. A Review of the Water Desalination Systems Integrated with Renewable Energy. **Energy Procedia** v. 110, pp. 268–274, Mar. 2017. Disponível em: <[dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.138](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.138)>. Acesso em: 10 ago. 2020.

AMARANTE, O. A. C. DO *et al.* **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. 1 ed. Brasília, Ministério de Minas e Energia, 2001. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=publicacoes&task=livro&cid=1>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil - Informe 2014 - Encarte Especial sobre a Crise Hídrica**. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras - Edição especial**. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos: Informe 2016**. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Mudanças Climáticas E Recursos Hídricos - Avaliações E Diretrizes Para Adaptação**. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, Brasília, 2016. Disponível em: <https://biblioteca.ana.gov.br/asp/download.asp?codigo=123428&tipo_midia=2&iIndexSrv=1&iUsuario=0&obra=67800&tipo=1&iBanner=0&iIdioma=0>. Acesso em: 15 mar. 2019.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno.** Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, Brasília, 2017. Disponível em: < <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos> >. Acesso em: 15 mar. 2019.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Análise custo-benefício de medidas de adaptação à mudança do clima: Trajetórias da aplicação na bacia hidrográfica dos rios Piancó-Piranhas-Açu.** Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/328432832_Analise_custo-beneficio_de_medidas_de_adaptacao_a_mudanca_do_clima_Trajatorias_da_aplicacao_na_bacia_hidrografica_dos_rios_Pianco-Piranhas-Acu>. Acesso em: 15 mar. 2019.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual** Agência Nacional de Águas. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, Brasília, 2019. Disponível em: < <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos> >. Acesso em: 10 jul. 2020.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Plano Nacional de Segurança Hídrica.** Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, Brasília, 2019. Disponível em: < <https://arquivos.ana.gov.br/pnsh/pnsh.pdf> >. Acesso em: 10 jul. 2020.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.** 2020. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/>>. Acesso em: 13 jul. 2020.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Monitor de secas.** 2020. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/sala-de-situacao/monitor-de-secas>> Acesso em: 13 jul. 2020.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Sistema de Acompanhamento de Reservatórios.** 2020. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/sar/>>. Acesso em: 13 jul. 2020.

ANAZAWA, T. M.; FEITOSA, F. DA F.; MONTEIRO, A. M. V. Vulnerabilidade socioecológica nas áreas ocupadas nos municípios de Caraguatatuba e São Sebastião, litoral norte de São Paulo: medidas e representações. **Revista Espinhaço | UFVJM** v. 3, pp. 138–151, Jun. 2014. Disponível em: <<http://www.revistaespinhaco.com/index.php/journal/article/view/46>>. Acesso em: 13 jul. 2020.

ANDRADE, T. D. S., 2017. *resiliência à secas futuras, índices de seca e análise de vulnerabilidade em bacias hidrográficas do semiárido brasileiro.* Tese de D.Sc., CTRN/UFCEG, Campina Grande, PB, Brasil. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/1685>>. Acesso em: 13 jul. 2020

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Sistema de Informações de Geração.** 2020. Disponível em: < <https://www.aneel.gov.br/signa> >. Acesso em: 8 jun. 2020.

ARAÚJO, T. B. Herança de Diferenciação e futuro de fragmentação. **Dossiê Nordeste - Estudos Avançados** v. 11, pp. 7–36, 1997. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/ea/v11n29/v11n29a02.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

- ARAÚJO, T. B. Economia do semiárido nordestino : a crise como oportunidade. **Revista Coletiva** n. 6, pp. 1–4, Out. 2011. Disponível em: <<http://coletiva.labjor.unicamp.br/index.php/artigo/economia-do-semiarido-nordestino-a-crise-como-oportunidade/>>. Acesso em: 15 mar. 2019.
- BALUGANI, E. *et al.* Groundwater and unsaturated zone evaporation and transpiration in a semi-arid open woodland. **Journal of Hydrology** v. 547, pp. 54–66, Abr. 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.01.042>>. Acesso em: 15 mar. 2019.
- BARROS, A. D. P., 2015. *Governança e sustentabilidade institucional das ações de combate à desertificação: uma proposta metodológica de avaliação*. Tese de D.Sc., CTRN/UFCG, Campina Grande, PB, Brasil. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/1685>>. Acesso em: 13 jul. 2020.
- BASTOS, D. C. O., 2004. *Manejo da salinidade em irrigação localizada: análise da alternativa de lixiviação incompleta*. Dissertação de M.Sc., PPCS/UFRPE, Recife, PE, Brasil. Disponível em: <<http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/bitstream/tede2/4914/2/Danilo%20Cesar%20Oliveira%20Bastos.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2020.
- BIGHASH, P.; MURGULET, D. Application of factor analysis and electrical resistivity to understand groundwater contributions to coastal embayments in semi-arid and hypersaline coastal settings. **Science of the Total Environment** v. 532, pp. 688–701, Nov. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.077>>. Acesso em: 13 jul. 2020.
- BIZIKOVA, L. *et al.* Review of key initiatives and approaches to adaptation planning at the national level in semi-arid areas. **Regional Environmental Change** v. 15, n. 5, pp. 837–850, Fev. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10113-014-0710-0>>. Acesso em: 13 jul. 2020.
- BROWN, J. R. *et al.* Assessing Drought Vulnerability Using a Socioecological Framework. **Rangelands**, v. 38, n. 4, pp 162–168, Ago. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rala.2016.06.007>>. Acesso em: 13 jul. 2020.
- BURITI, C.; AGUIAR, J. O TEMPO E A CULTURA DA NATUREZA: uma análise das sensibilidades dos escritores regionais em relação ao semiárido do Nordeste brasileiro. v. 38. **Histórica**, São Paulo, 2009.
- BURN, S. *et al.* Desalination techniques - A review of the opportunities for desalination in agriculture. **Desalination** v. 364, pp. 2–16, Mai. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.01.041>>. Acesso em: 13 jul. 2020.
- CARMO, R. L. DO ;; CAMARGO, K. C. M. **Dinâmica Demográfica Brasileira Recente: padrões regionais de diferenciação**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, DF, 2018. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_2415.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2020.
- CAVALCANTE, R. G. *et al.* Sustainable groundwater exploitation aiming at the reduction of water vulnerability in the Brazilian semi-arid region. **Energies** v. 12, n. 5, pp. 1–20, Mar. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/en12050904>>. Acesso em: 13 jul. 2020.

CAVALCANTI, E. R., 2015 *Vulnerabilidade de comunidades rurais diante da variabilidade climática no semiárido pernambucano: perspectiva de governança adaptativa dos recursos hídricos*. Tese de D.Sc., PPEC/UFPE, Recife, PE, Brasil. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/17812>>. Acesso em: 13 jul. 2020.

CBS - CENTRAL BUREAU OF STATISTICS. **População**. 2020. Disponível em: <<https://www.cbs.gov.il/he/pages/default.aspx>>. Acesso em: 8 out. 2020.

CDWR - CALIFORNIA DEPARTMENT OF WATER RESOURCES. "Desalination (Brackish and Sea Water)". In: California Department of Water Resources, *Resource Management Strategies*, v. 3, chapter 10, Sacramento, USA, State of California, 2013. Disponível em: <<https://water.ca.gov>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Eixo 1 - Cenários de Mudanças para Estudos de Adaptação no Setor de Recursos Hídricos**. In: Estudos Relativos às Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos para Embasar o Plano Climáticas, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Fortaleza, CE, 2014. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/portais/MudancasClimaticas_FundamentosConceituais.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2019.

CHENG, H. *et al.* A circular economy system for breaking the development dilemma of 'ecological Fragility–Economic poverty' vicious circle: A CEEPS-SD analysis. **Journal of Cleaner Production** v. 212, pp. 381–392, Dez. 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/329422229_A_circular_economy_system_for_breaking_the_development_dilemma_of_'ecological_Fragility-Economic_poverty'_vicious_circle_A_CEEPS-SD_analysis>. Acesso em: 15 mar. 2019.

CONSTANTINO, G. *et al.* Adoption of photovoltaic systems along a sure path: A life-cycle assessment (LCA) study applied to the analysis of GHG emission impacts. **Energies** v. 11, n. 2806, pp. 1-28, Set. 2018. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1073/11/10/2806#cite>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL**. 2020, Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>>. Acesso em: 8 out. 2020.

DE JONG, P. *et al.* Hydroelectric production from Brazil's São Francisco River could cease due to climate change and inter-annual variability. **Science of the Total Environment** v. 634, pp. 1540–1553, Set. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.256>>. Acesso em: 8 out. 2020.

DE NYS, E.; ENGLE, N.L.; MAGALHÃES, A.R. **Secas no Brasil : Política e gestão proativas**. Brasília, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos; Banco Mundial, 2016. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10182/734063/seca_brasil-web.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2019.

DINIZ, C. C. Celso Furtado e o desenvolvimento regional. **Nova Economia** v. 19, n. 2, pp. 227–249, Set. 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-63512009000200001>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/>>. Acesso em: 8 out. 2020.

ENISCUELA. **Annual solar radiation in Italy**. 2020. Disponível em: <<http://www.eniscuola.net/en/mediateca/annual-solar-radiation-in-italy/>>. Acesso em: 3 ago. 2020.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2018: Ano base 2017**, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, RJ, 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2019.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2020: Ano base 2019**, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, RJ, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf>. Acesso em: 3 ago. 2020.

ESTEVES, L. A.; BERNARDO, T. R. R.; JUNIOR, A. S. V. Conjuntura Econômica nº 55 abr/jun - 2018. **Banco do Nordeste do Brasil** v. 55, pp. 1-50, Abr. 2018. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/documents/80223/3844531/Conjuntura_55.pdf/22a29e99-736a-e8c1-570d-ba228f629ad3>. Acesso em: 3 ago. 2020.

EU - EUROPEAN UNION. **Photovoltaic Geographical Information System**. 2020. Disponível em: <https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/>. Acesso em: 8 mar. 2020.

FARIAS, J. F.; AMORIM, R. DE F.; JÚNIOR, J. C. S. Gestão dos recursos hídricos no Rio Grande do Norte. **Confins** n. 34, pp. 1–15, Abr. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.4000/confins.12886>>. Acesso em: 8 mar. 2020.

FILGUEIRA, J. M., 2020. *Produção de Petróleo e Desenvolvimento Socioeconômico: o Caso de Municípios do Rio Grande do Norte*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/doutorado/Tese_JMFilgueiras.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2020.

FRANCHINI, G.; PERDICHIZZI, A. Modeling of a solar driven HD (humidification-dehumidification) desalination system. **Energy Procedia** v. 45, pp. 588–597, Jan. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.063>>. Acesso em: 8 mar. 2020.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D. "Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba". *Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia*, 66, Maceió, AL, Brasil, 21-24 Agosto 2018. Disponível em: <http://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/agronomia/66_ccdketpoedp.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2020.

FRANZITTA, V. *et al.* The Desalination Process Driven by Wave Energy : A Challenge for the Future. **Energies** v. 9, n. 1032, pp. 1–16, Dez. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/en9121032>>. Acesso em: 8 mar. 2020.

GHENAI, C. *et al.* Grid-tied and stand-alone hybrid solar power system for desalination plant. **Desalination** v. 435, pp. 172–180, Jun. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.10.044>>. Acesso em: 8 mar. 2020.

GIL, A. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo, Atlas, 2002.

- GONÇALVES, M. C.; MARTINS, J. C.; RAMOS, T. B. A salinização do solo em Portugal. Causas, extensão e soluções. **Revista de Ciências Agrárias** v. 38, n. 4, pp. 574–586, Dez. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.19084/RCA15140>>. Acesso em: 8 mar. 2020.
- GRILO, J. A. *et al.* Avaliação do Efluente do Dessalinizador e da Tilapicultura em São José do Seridó-Rn. **Holos**, v. 7, n. 6938, p. 194, Set. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.15628/holos.2016.3643>>. Acesso em: 8 mar. 2020.
- GUALDANI, C.; FERNÁNDEZ, L.; GUILLÉN, M. L. **Convivência com o semiárido brasileiro: reaplicando saberes através de tecnologias sociais**. Brasília, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade, 2015. Disponível em: <<http://editora.iabs.org.br/site/index.php/portfolio-items/13277/>>. Acesso em: 8 mar. 2020.
- GUDE, V. G. Desalination and water reuse to address global water scarcity. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology** v. 16, pp. 591–609, Out. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11157-017-9449-7>>. Acesso em: 8 mar. 2020.
- GUDE, V. G.; NIRMALAKHANDAN, N.; DENG, S. Renewable and sustainable approaches for desalination. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** v. 14, pp. 2641-2654, Dez. 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.06.008>>. Acesso em: 8 mar. 2020.
- GUTERRES, A. **Neutralidade carbônica até 2050: a missão mundial mais urgente**. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2020/12/1736002>>. Acesso em: 15 mar. 2021.
- HANASAKI, N. *et al.* A seawater desalination scheme for global hydrological models. **Hydrology and Earth System Sciences** v. 20, n. 10, pp. 3143-4157, Out. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/hess-20-4143-2016>>. Acesso em: 15 mar. 2019.
- HASTINGS, J. T.; HILL, L. L. **Georeferencing**. In: Encyclopedia of Database Systems, Springer, Boston, MA, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-39940-9_181>. Acesso em: 15 mar. 2019.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Divisão Regional do Brasil**. 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/divisao-regional/15778-divisoes-regionais-do-brasil.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas Nacional Digital do Brasil**. 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/atlas_nacional/>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas da População**. 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 10 fev. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema de Contas Regionais : Brasil - 2017 Principais destaques por Unidade da Federação.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Brasília, DF, 2020. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/77e8b10de4ed9e8125968e56d9d720b7.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Energia limpa tem impacto no PIB de municípios do Nordeste. **Revista Retratos** n. 17, pp. 16-18, Ago. 2019. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/25294-energia-limpa-tem-impacto-no-pib-de-municipios-do-nordeste>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades.** 2020. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática.** 2020. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/estimapop/tabelas>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Contas econômicas ambientais da água: Brasil 2013-2017,** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, RJ, 2020. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias/ana-e-ibge-atualizam-levantamento-que-aponta-o-papel-da-agua-na-economia-brasileira/ceaa_2013-2017_informativo.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2020.

IDEMA. **Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte.** 2020. Disponível em: <<http://www.idema.rn.gov.br/>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN).** 2017. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html#mod>. Acesso em: 10 fev. 2020.

INSA - INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO. **Sistema de Gestão da Informação e do Conhecimento do Semiárido Brasileiro.** 2019. Disponível em: <<http://sigsab.insa.gov.br/acervoDigital>>. Acesso em: 10 fev. 2020.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability Part A.** In: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379>>. Acesso em: 10 fev. 2020.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Desertification.** In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems, Geneve, CH, 2019. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/srccl/>>. Acesso em: 10 fev. 2020.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **ipeadata.** 2020. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=31924>>. Acesso em: 10 set. 2020.

- ISAKA, M.; TOSATO, G.; GIELEN, D. **Water Desalination Using Renewable Energy**, International renewable Energy Agency, Abu Dhabi, UAE, 2013. Disponível em: < http://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/I12IR_Desalin_MI_Jan2013_final_GSOK.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- ISHIMATSU, T. *et al.* Desalination network model driven decision support system: A case study of Saudi Arabia. **Desalination** v. 423, pp. 65-78, Dez. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.09.009>>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- JANE KUCERA. **Desalination: Water from Water**. Beverly: Scrivener Publishing, 2014.
- JÚNIOR, C. F. **Guia do Trabalho Científico: do projeto à Redação Final: monografia, dissertação e tese**. 4 ed. São Paulo: Contexto, 2015.
- KHAN, Z.; LINARES, P.; GARCÍA-GONZÁLEZ, J. Integrating water and energy models for policy driven applications. A review of contemporary work and recommendations for future developments. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** v. 67, pp. 1123-1138, Jan. 2017. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.043>>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- LAVILLE, C.; DIONNE, J. **construção do saber: manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas**. 1 ed. Porto Alegre, EDUEMG, 1999.
- LEE, S. W. *et al.* Smart water grid: the future water management platform. **Desalination and Water Treatment** v. 55, n. 2, pp. 339–346, Jun. 2015. Disponível em: < <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19443994.2014.917887>>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- MENDONÇA, M. H. M., *et al.* Análise bacteriológica da água de consumo comercializada por caminhões-pipa. **Revista Ambiente e Água**, v. 12, n. 3, p. 468–475, Mai. 2017. Disponível em: < <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1934>>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- LIMA, G. C. DE. *Eficiência energética e energia solar fotovoltaica em prédios públicos no setor de educação no nordeste do brasil: o caso da expansão do ifrn*. Tese de D.Sc., COFFPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2019. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/doutorado/Gabriel_Constantino-_DOUTORADO_2019.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- LINDOSO, D. P. VULNERABILIDADE E RESILIÊNCIA : POTENCIAIS , CONVERGÊNCIAS E LIMITAÇÕES NA PESQUISA INTERDISCIPLINAR. **Ambiente & Sociedade** v. 20, n. 4, pp. 127-144, Dez 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0248r1v2042017>>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- LOPES, M. P. C. *et al.* Water-energy nexus: Floating photovoltaic systems promoting water security and energy generation in the semiarid region of Brazil. **Journal of Cleaner Production** v. 273, pp. 1-15, Nov. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122010>>. Acesso em: 10 jul. 2020.
- LOPEZ-GUNN, E. *et al.* Lost in translation? Water efficiency in Spanish agriculture. **Agricultural Water Management** v. 108, pp. 83–95, Fev. 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377412000212>>. Acesso em: 10 fev. 2020.

- LUCIONI, M. **Mapa global do clima semiárido de acordo com o sistema de Köppen-Geiger para o período de 1980-2016**. 2019. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:BS_climate.png>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- MACHADO, L. W., 2018, *Climate change resilient development of family farmers in the brazilian semiarid: an analysis of public policies and of the coexisting with the semiarid paradigm*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, BRASIL. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/doutorado/lwmachado.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- MACHADO, T. T. V.; DIAS, J. T.; SILVA, T. C. DA. Evolução e avaliação das políticas públicas para a atenuação dos efeitos da seca no semiárido brasileiro. **Gaia Scientia** v. 11, n. 2, p. 84–103, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.21707/gaia.v11.n02a07>>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- MALEK, P.; ORTIZ, J. M.; SCHULTE-HERBRÜGGEN, H. M. A. Decentralized desalination of brackish water using an electrodialysis system directly powered by wind energy. **Desalination** v. 377, pp. 54-64, Jan. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.08.023>>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- MALEKI, S. *et al.* Geological controlling soil organic carbon and nitrogen density in a hillslope landscape , semiarid area of Golestan province , Iran. **Desert (BIABAN)** v. 22, n. 2, pp. 221–228, 2017. Disponível em: <<https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=601561>>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- MARIN, M. P.; SANTOS, A. P. DOS. **O semiárido brasileiro: riquezas, diversidades e saberes**. 1 ed. Campina Grande, INSA/MCTI, 2013. Disponível em: <<https://portal.insa.gov.br/images/acervo-cartilhas/O%20Semi%C3%A1rido%20brasileiro%20riquezas%20diversidades%20e%20saberes.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- MCTI - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Modelagem Climática e Vulnerabilidades Setoriais à Mudança do Clima no Brasil**. Brasília, MCTI, 2016. Disponível em: <https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/ciencia/SEPED/clima/publicacao/Comunicacoes_Nacionais/MCTI-LivroModelagemClimatica-edicao-eletroenica-31mai2016_baixa_resolucao.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2020.
- MDR - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Programa Água Doce**. 2020. Disponível em: <<https://www.mdr.gov.br/seguranca-hidrica/programa-agua-doce>>. Acesso em: 10 jul. 2020.
- MDR - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **PROGRAMA ÁGUA DOCE**. 2020. Disponível em: <<http://aguadoce.mdr.gov.br/#>>. Acesso em: 10 jul. 2020.
- MDR - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. 2020. **Programa Água Doce**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/programa-agua-doce/programa-agua-doce-1>>. Acesso em: 10 jul. 2020.
- MEI, Y.; TANG, C. Y. Recent developments and future perspectives of reverse electrodialysis technology: A review. **Desalination** v. 425, pp. 156-174, Jan. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.10.021>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

- MILGROOM, J.; GILLER, K. E. Courting the rain: Rethinking seasonality and adaptation to recurrent drought in semi-arid southern africa. **Agricultural Systems** v. 118, pp. 91–104, Jun. 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.03.002>>. Acesso em: 10 jul. 2020.
- MIRIAM BALABAN. “Desalination 1966-2016, The origins, evolution and role of the Desalination Journal”, by Miriam Balaban. **Desalination** v. 401, p. xvi–xx, Jan. 2017. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(16\)31652-6](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(16)31652-6)>. Acesso em: 10 jul. 2020.
- MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Documento base - Programa Água Doce**. Brasília, MMA, 2012. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/aguadoce/ArquivosPDF/ANEXO_I_-_PAD_-_Documento_Base_Final_2012.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2020.
- MORAIS, R. D. **Análise espacial do perfil hidro geoquímico das águas subterrâneas nos municípios atendidos pelo programa água doce no estado do rio grande do norte, com base nas informações dos diagnósticos socioambientais e técnicos e fase de monitoramento, por amostra**. Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura, Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<http://www.iica.int/pt/countries/brasil>>. Acesso em: 10 jul. 2020.
- MOREIRA, M. DE M.; FUSCO, W. **Dinâmica Demográfica do Nordeste**. Fundação Joaquim Nabuco, Recife, PE, 2015. Disponível em: <http://www.fundaj.gov.br/images/stories/pesquisas_concluidas/2010_Atualmente/382_dinamica_demografica_ne_final.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2020.
- MOSTAFAEIPOUR, A. *et al.* Investigation of off-grid photovoltaic systems for a reverse osmosis desalination system: A case study. **Desalination** v. 454, p. 91–103, Mar. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.03.007>>. Acesso em: 10 jul. 2020.
- MS - MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria 2914/2011. Diário Oficial da União**. 2011. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 10 jul. 2020.
- NAIR, S. *et al.* Water-energy-greenhouse gas nexus of urban water systems: Review of concepts, state-of-art and methods. **Resources, Conservation and Recycling** v. 89, pp. 1–10, Ago. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.05.007>>. Acesso em: 10 jul. 2020.
- NICOLLI, H. B. *et al.* Sources and controls for the mobility of arsenic in oxidizing groundwaters from loess-type sediments in arid/semi-arid dry climates - Evidence from the Chaco-Pampean plain (Argentina). **Water Research**, v. 44, n. 19, pp. 5589–5604, Nov. 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.09.029>>. Acesso em: 10 jul. 2020.
- NOGUEIRA, D.; MILHORANCE, C.; MENDES, P. Do Programa Um Milhão de Cisternas ao Água para Todos: divergências políticas e bricolagem institucional na promoção do acesso à água no Semiárido brasileiro. **IdeAs** v. 15, pp. 1–22, Mar. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.4000/ideas.7219>>. Acesso em: 10 jul. 2020.
- OECD. **Governança dos Recursos Hídricos no Brasil**. OECD Publishing, Paris, FR, 2015. Disponível em: <https://read.oecd-ilibrary.org/governance/governanca-dos-recursos-hidricos-no-brasil_9789264238169-pt#page3>. Acesso em: 10 jul. 2020.

OLIVEIRA, M., A.; BARBOSA, E., M.; DANTAS NETO, J. Gestão de recursos hídricos no rio grande do norte: uma análise da implementação da política hídrica.

Holos v. 1, pp. 3–27, Fev. 2013. Disponível em:

<<https://doi.org/10.15628/holos.2013.1186>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

OLIVEIRA, A. M. DE., 2016, *Impactos físico-químicos da disposição de rejeito de dessalinizadores das águas de poços em solos do oeste potiguar*. Tese de D.Sc.,

PPMS/UFERSA, Mossoró, RN, Brasil. Disponível em:

<https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/tede/630/1/AndreMO_TESE.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2020.

PACE - PLATFORM FOR ACCELERATING THE CIRCULAR ECONOMY. **The Circularity Gap Report: Closing the Circularity Gap in a 9% World Circle Economy**. Platform for Accelerating the Circular Economy, Hague, NL, 2019.

Disponível em:

<https://docs.wixstatic.com/ugd/ad6e59_ba1e4d16c64f44fa94fbd8708eae8e34.pdf>.

Acesso em: 10 jul. 2020.

PBMC - PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Impactos, Vulnerabilidades e Adaptação: Primeiro relatório de avaliação nacional**. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas, Rio de Janeiro, RJ, 2014. Disponível em:

<http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/RAN1_completo_vol2.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2020.

PBMC - PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Mudanças Climáticas e Cidades**. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, Rio de Janeiro, RJ, 2016. Disponível em: <www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/Relatorio_UM_v10-2017-1.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2020.

PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. INPE, São José dos Campos, SP, 2017. Disponível em:

<http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/atlas_solar.html>. Acesso em: 10 jul. 2020.

PETROBRAS. **Novos Caminhos**. 2020. Disponível em:

<<https://novoscaminhos.petrobras.com.br/por-que-focar-nas-atividades-offshore-em-especial-no-pre-sal.html>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

PNUD; IPEA; FJP. **Desenvolvimento humano nas macrorregiões brasileiras**. PNUD; IPEA; FJP, Brasília, DF, 2016. Disponível em:

<[http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/6217/1/Desenvolvimento humano nas macrorregiões brasileiras.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/6217/1/Desenvolvimento%20humano%20nas%20macrorregi%C3%B5es%20brasileiras.pdf)>. Acesso em: 10 jul. 2020.

PORTO, E. R. **Apoio à Formulação de Estratégias e ao Desenvolvimento de Ações Voltadas para a Melhoria do Acesso à Água e para Revitalização de Bacias Hidrográficas**. Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura, Petrolina, PE, 2017. Disponível em: <<http://www.iica.int/pt/countries/brasil>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

PORTO, E. R. *et al.* **Agricultura Biossalina: Desafios e Alternativas para o uso de Águas Salobras**. EMBRAPA, Jaguariúna, SP, 2019. Disponível em:

<[https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1113051/1/Agricultura BiossalinaPortoDoc121.pdf](https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1113051/1/Agricultura%20BiossalinaPortoDoc121.pdf)>. Acesso em: 10 jul. 2020.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. DE. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2 ed. Novo Hamburgo, FEEVALE, 2013. Disponível em: < <https://www.feevale.br/Comum/midias/0163c988-1f5d-496f-b118-a6e009a7a2f9/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

RITTER, F.; ROSA, R. DOS S.; FLORES, R. Avaliação da situação de saúde por profissionais da atenção primária em saúde com base no georreferenciamento dos sistemas de informação. **Cadernos de Saude Publica** v. 29, n. 12, p. 2523–2534, Dez. 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0102-311X00132812>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

RODRIGUEZ, R. D. G.; PRUSKI, F. F.; SINGH, V. P. Estimated Per Capita Water Usage Associated with Different Levels of Water Scarcity Risk in Arid and Semiarid Regions. **Water Resources Management** v. 30, pp. 1311–1324, Mar, 2016. Disponível em: < <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1236-7>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

ROLIM, G. D. S. *et al.* Climatic classification of köppen and thornthwaite systems and their applicability in the determination of agroclimatic zoning for the state of São Paulo, Brazil. **Bragantia** v. 66, n. 4, pp. 711–720, Mai. 2007. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000400022>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

SEMARH. **Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte**. 2020. Disponível em: <<http://www.semarh.rn.gov.br/>>. Acesso em: 13 jul. 2020

SEMBLANTE, G. U. *et al.* Brine pre-treatment technologies for zero liquid discharge systems. **Desalination** v. 441, pp. 96–111, Set. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.04.006>>. Acesso em: 13 jul. 2020.

SHAHZAD, M. W. *et al.* Energy-water-environment nexus underpinning future desalination sustainability. **Desalination** v. 413, pp 52-64, Jul. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.03.009>>. Acesso em: 13 jul. 2020.

SHARON, H.; REDDY, K. S. A review of solar energy driven desalination technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** v. 41, pp 1080-1118, Jan. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.002>>. Acesso em: 13 jul. 2020.

SHATAT, M.; WORALL, M.; RIFFAT, S. Opportunities for solar water desalination worldwide: Review. **Sustainable Cities and Society** v. 9, pp. 67-80, Dez. 2013. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.scs.2013.03.004>>. Acesso em: 13 jul. 2020.

SHEMER, H.; SEMIAT, R. Sustainable RO desalination – Energy demand and environmental impact. **Desalination** v. 424, pp. 10-16, Dez. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.09.021> <https://doi.org/10.1016/j.scs.2013.03.004>>. Acesso em: 13 jul. 2020.

SOUZA, P. H. F. *et al.* **Os Efeitos do Programa Bolsa Família sobre a Pobreza e a Desigualdade: Um Balanço dos Primeiros Quinze Anos**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, DF, 2019. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_2499.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2020.

SUDENE - SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL.

Delimitação do semiárido. 2017. Disponível em:

<<http://antigo.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

TROLEI, A. L.; SILVA, B. L. DA. Os recursos hídricos do Rio Grande do Norte: uma análise da vulnerabilidade territorial ao colapso no abastecimento de água. **Confins** v. 34, pp 1-21, Abr. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.4000/confins.12901>>.

Acesso em: 10 jul. 2020.

TUPY, I.; SILVA, F. F. **A questão das secas e o desenvolvimento econômico no semiárido brasileiro em Hirschman e Furtado : contribuições para uma discussão sobre resiliência econômica na região.** UFMG/CEDEPLAR, Belo Horizonte, MG, 2017. Disponível em: <<http://www.cedeplar.ufmg.br/pesquisas/td/TD%20549.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

UN WATER - THE UNITED NATIONS WORLD WATER DEVELOPMENT REPORT. **Water for a Sustainable World.** Paris, UNESCO, 2015. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

UN WATER - THE UNITED NATIONS WORLD WATER DEVELOPMENT REPORT. **Nature-based Solutions for Water.** Paris, UNESCO, 2018. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002614/261494s.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

UN - UNITED NATIONS. **Global Drylands : A UN system-wide response.**, Cambridge, United Nations Environment Management Group, 2011. Disponível em: <https://www.unep-wcmc.org/system/dataset_file_fields/files/000/000/091/original/Global-Drylands-FINAL-LR.pdf?1398440625> <http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002614/261494s.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

UN - UNITED NATIONS. **World Population Prospects: The 2015 Revision, key findings and Advance Tables.** New York, Department of Economic and Social Affairs of the United Nations, 2015. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21798940>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

UN WATER - THE UNITED NATIONS WORLD WATER DEVELOPMENT REPORT. **Leaving No One Behind.** Paris, UNESCO, 2019. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367306/PDF/367306eng.pdf.multi>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

USAID - U.S. NATIONAL SECURITY AND ECONOMIC PROSPERITY. **Watergy: taking advantage of untapped energy and water efficiency opportunities in municipal water systems.** Alliance to Save Energy, Washington, D.C., 2002. Disponível em: <https://www.ase.org/sites/ase.org/files/watergy_2002.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2020.

VAKILIFARD, N. *et al.* The role of water-energy nexus in optimising water supply systems – Review of techniques and approaches. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** v. 82, pp. 1424–1432, Fev. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.125>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

- VAN WYK, E.; VAN TONDER, G.; VERMEULEN, D. Characteristics of local groundwater recharge cycles in South African semi-arid hard rock terrains: Rainfall-groundwater interaction. **Water SA** v. 38, n. 5, p. 747–754, Jan. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1816-79502012000500014>. Acesso em: 10 jul. 2020.
- VIANA, J. P. **Ações do governo federal na área de influência do projeto de integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional: Uma avaliação dos investimentos nos municípios do plano de ação**, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília; Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=22265>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- VERHEYE, W. **Land Use, Land Cover and Soil Sciences, Dry Lands and Desertification**. 5. Oxford, EOLSS Publications/UNESCO, 2009. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=GYfTCwAAQBAJ&lpg=PP1&hl=pt-BR&pg=PP4#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- VOUTCHKOV, N. **Desalination Engineering Planning and Design**. Chicago, McGraw-Hill, 2012. Disponível em: <https://www.academia.edu/31057784/Desalination_Engineering_Planning_and_Design_pdf>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- WIRTH, H. **Recent facts about photovoltaics in Germany** Fraunhofer ISE. Fraunhofer ISE, Freiburg, DE, 2020. Disponível em: <<http://pschuetzenduebe.webclient5.de/wp-content/uploads/130912-Recent-Facts-PV-Germany.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- WORLD BANK. **DataBank Home**. 2020. Disponível em: <<https://databank.worldbank.org/home.aspx>>. Acesso em: 10 set. 2020.
- YACKERSON, N. S. *et al.* The influence of several changes in atmospheric states over semi-arid areas on the incidence of mental health disorders. **International Journal of Biometeorology** v. 55, pp. 403–410, Mai. 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00484-010-0350-0>>. Acesso em: 10 abr. 2020.
- YANG, X.; WILLIAMS, M. Landforms and processes in arid and semi-arid environments. **Catena** v. 134, pp. 1–3, Nov. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/journal/catena/vol/134/suppl/C>>. Acesso em: 10 abr. 2020.
- ZARZO, D.; PRATS, D. Desalination and energy consumption. What can we expect in the near future? **Desalination** v. 427, pp. 1–9, Fev. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.10.046>>. Acesso em: 10 abr. 2020.
- ZHANG, J. *et al.* Responses of crop water use efficiency to climate change and agronomic measures in the semiarid area of Northern China. **PLoS ONE** v. 10, n. 9, pp. 1–22, Set. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137409>>. Acesso em: 10 abr. 2020.
- ZHANG, Y. *et al.* Application of solar energy in water treatment processes: A review. **Desalination** v. 428, pp. 116–145, Fev. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.11.020>>. Acesso em: 10 abr. 2020.