FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA NO PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO PARA O ABASTECIMENTO HÍDRICO EM ZONAS RURAIS VULNERÁVEIS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Guilherme De Moura Haguenauer

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 de Freitas
Daniel de Berrêdo Viana

Rio de Janeiro
Dezembro de 2021

FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA NO PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO PARA O ABASTECIMENTO HÍDRICO EM ZONAS RURAIS VULNERÁVEIS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Guilherme de Moura Haguenauer

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

Examinada por:

_____

Prof. Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas, Ph.D.

_____

Dr. Daniel de Berrêdo Viana, D.Sc.

_____

Prof. David Alves Castelo Branco, Ph.D.

_____

Prof. Neilton Fidelis da Silva, Ph.D.

_____

Prof. Leonardo Duarte Batista da Silva, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

DEZEMBRO DE 2021

Haguenauer, Guilherme de Moura

Fontes renováveis de energia no processo de dessalinização para o abastecimento hídrico em zonas rurais vulneráveis do Semiárido brasileiro / Guilherme de Moura Haguenauer. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2021.

XIII, 143 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Daniel de Berrêdo Viana

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

Referências Bibliográficas: p. 138-152.

1. Dessalinização 2. Energias Renováveis 3. Semiárido. I. Freitas, Marcos Aurélio Vasconcelos et al. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

“Todo homem é culpado do bem que não fez.”

Voltaire

AGRADECIMENTOS

Ao professor Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas, pela confiança depositada e por todos os incentivos ao longo destes anos.

Aos pesquisadores Daniel de Berrêdo Viana, Mariana Padilha Lopes, Gardênio Diogo Pimentel da Silva e Sudá de Andrade Neto, pelo apoio moral e científico ao longo desta jornada.

À minha família, pelo amor e apoio incondicional. Martha, Gil, Márcia e Júlia, não existem palavras que exprimam a gratidão e alegria que possuo em tê-los em minha vida.

À minha avó Elba, pelo exemplo de coragem e de mulher.

À minha companheira, Clara, por caminhar sempre ao meu lado e fazer de mim uma pessoa melhor.

Aos meus amigos, em especial ao *pack*, pelo companheirismo e amizade. Vocês são a família que escolhi.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação até aqui, minha eterna gratidão e admiração por vocês.

A todos do PPE, em especial Sandrinha, pelas incansáveis ajudas e conselhos ao longo deste período.

Por fim, um agradecimento a todos que fazem deste mundo um lugar melhor e mais bonito de se viver.

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

FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA NO PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO PARA O ABASTECIMENTO HÍDRICO EM ZONAS RURAIS VULNERÁVEIS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Guilherme De Moura Haguenauer

Dezembro/2021

Orientadores: Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Daniel de Berrêdo Viana

Programa: Planejamento Energético

A escassez hídrica adiciona-se a uma conjunto de fatores de ordem econômica, política, social e climática que comprometem o desenvolvimento socioeconômico do Semiárido brasileiro, marcado por características climáticas severas, tais como secas prolongadas e grande presença de sais nas águas subterrâneas. Lançado em 2004, o ‘’Programa Água Doce’’ é uma iniciativa do Governo Federal que objetiva instalar e/ou recuperar sistemas de dessalinização de modo a estabelecer uma Política Pública permanente de acesso à água de qualidade para consumo humano nesta região. Em 2020, este Programa entrou em uma nova etapa, visando o alcance de maior sustentabilidade hídrica e energética em seus processos. Neste sentido, esta pesquisa tem por objetivo avaliar o potencial de implementação de instalações de dessalinização integradas a fontes renováveis de energia utilizando como base o caso da planta híbrida deste Programa localizada em Maria da Paz, no Rio Grande do Norte. Esta análise fundamenta-se em referenciais técnicos, econômicos e socioambientais da região, servindo como ferramenta de auxílio à tomada de decisão para as perspectivas futuras do Programa Água Doce. Como resultados, no aspecto técnico, um mapa da região semiárida baseado em uma Análise Multicritério Geoespacial é proposto, apontando as localidades com maior potencial de instalação para unidades de dessalinização por osmose inversa de pequeno porte integradas à sistemas solares fotovoltaicos e/ou eólicos. No aspecto econômico, uma análise comparativa do custo da água é apresentado, de modo a comprovar a viabilidade econômica da integração entre sistemas de dessalinização e fontes renováveis de energia no Semiárido brasileiro.

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

DESALINATION TECHNOLOGIES INTEGRATED TO RENEWABLE ENERGY SOURCES FOR WATER SUPPLY IN VULNERABLE AREAS OF THE BRAZILIAN SEMIARID REGION

Guilherme De Moura Haguenauer

Dezembro/2021

Advisors: Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Daniel de Berrêdo Viana

Department: Energetic Planning

Water scarcity comes along with a set of economic, political, social and climatic factors that compromise the socioeconomic development of the Brazilian semiarid region, marked by severe climatic characteristics, such as prolonged droughts and large presence of salts in its groundwater. Launched in 2004, the ‘’Freshwater Program’’ is a Federal Government initiative that aims to install and/or recover desalination systems in order to establish a permanent public policy that enables the access to quality water for human consumption in rural communities of this area. In 2020, this Program entered a new phase, aiming to achieve greater water and energy sustainability in its processes. In this sense, this research aims to evaluate the potential for implementing desalination plants integrated to renewable energy sources, using as a basis the hybrid unit of the ‘’Freshwater Program’’ located in Maria da Paz, in the state of Rio Grande do Norte. This analysis is based on technical, economic and socioenvironmental references of the Brazilian semiarid region, serving as a tool to aid decision-making for future perspectives of the ‘’Freshwater Program’’. As a result, for the technical aspect, a map of the Brazilian semiarid region based on a Geospatial Multicriteria Analysis is provided, pointing the locations with greatest potential for the installation of small-scale reverse osmosis desalination systems integrated with solar photovoltaic and/or wind energy sources. In the economic aspect, a comparative analysis of the water production cost is presented, in order to prove the economic feasibility of such integration in the Brazilian semiarid region.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Nova delimitação do Semiárido Brasileiro. 6
Figura 2 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU.....7
Figura 3 - Principais tecnologias de dessalinização. 15
Figura 4 - Diagrama esquemático do processo de osmose natural. 18
Figura 5 - Diagrama esquemático do processo de osmose inversa. 19
Figura 6 - Funcionamento de um módulo de membrana de osmose inversa em espiral. 21
Figura 7 - Diagrama esquemático simplificado de um sistema de osmose reversa. 22
Figura 8 - Possíveis integrações entre tecnologias de dessalinização e fontes de energia renovável. 29
Figura 9 - Estado da arte das principais integrações entre tecnologias de dessalinização e fontes renováveis de energia.....31
Figura 10 - Esquema de uma unidade descentralizada de dessalinização solar por osmose inversa.....32
Figura 11 - Destiladores solares de baixo custo utilizados no Oriente-Médio (a) e no Brasil (b). 33
Figura 12 – Possíveis integrações de outras fontes de energia à uma unidade de dessalinização solar por osmose inversa. 34
Figura 13 - Área de abrangência do Semiárido brasileiro. 40
Figura 14 - Localização do escudo cristalino no Semiárido brasileiro.....42
Figura 15 - Mapa do projeto de transposição/integração do Rio São Francisco. 43
Figura 16 – Histórico de Políticas Públicas de Convivência com o Semiárido Brasileiro Implementadas nos Séculos XX e XXI. 60
Figura 17 - Representação esquemática do arranjo institucional do PAD. 64
Figura 18 – Cruzamento de indicadores para obtenção do Índice de Condição de Acesso à Água (ICAA). 69
Figura 19 - Estratégia de implementação do PAD. 71
Figura 20 – Fase 1 – Comunidades diagnosticadas (esquerda) e Fase 2 - Implantação dos sistemas de dessalinização PAD no Semiárido brasileiro (direita). 73
Figura 21 - Celebração do Acordo de Gestão Compartilhada do PAD na Comunidade Sítio dos Bahias, no município de Chorrochó, Bahia.....76
Figura 22 - Descrição da Fase 3 - Operação, Manutenção e Monitoramento dos sistemas de dessalinização. 79

Figura 23 - Reunião do PAD com moradores do município de Serra Branca - PB. 85
Figura 24 - Componentes de um sistema de dessalinização padrão do PAD. 85
Figura 25 - Fluxograma de operação de um sistema de dessalinização do PAD. 86
Figura 26 - Dessalinizador por Osmose Inversa do PAD. 88
Figura 27 - Fornecimento de água no município de Serra Branca - PB. 89
Figura 28 - Etapas do Sistema Integrado de Produção PAD. 91
Figura 29 - Sistema de Produção Integrado PAD. 91
Figura 30 – Localização do Assentamento de Maria da Paz, no município de João Câmara (RN). 100
Figura 31 - Unidade de Dessalinização com o uso de energia solar fotovoltaica do PAD em Maria da Paz (RN). 101
Figura 32 - Caminhão-pipa da Operação Vertente em Jardim do Seridó (RN). 104
Figura 33 - Potencial de implementação de unidades de dessalinização por osmose inversa de pequeno porte com o uso de energia solar fotovoltaica e eólica no Semiárido brasileiro. 106
Figura 34 - Análise Econômica Comparativa do Custo da Água (R$/m3). 110
Figura 35 - Análise Econômica Comparativa do Custo da Água (R$/m3) em 20 anos. 111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos principais métodos de dessalinização. 16
Tabela 2 - Custo de produção da água dessalinizada por meio de osmose inversa.....24
Tabela 3 - Consumo médio per capita de água em diferentes estados e regiões do Brasil. 38
Tabela 4 - Classificação climática com base no índice de aridez.....39
Tabela 5 – Programa Água Doce: Apresentação, Resultados e Perspectivas Futuras. ...66
Tabela 6 - Característica das águas subterrâneas no Semiárido. 73
Tabela 7 - Custo Unitário de Implantação de Sistemas de Dessalinização PAD. 75
Tabela 8 - Serviços de manutenção e custos estimados em reais. 80
Tabela 9 - Relação dos componentes e subcomponentes do Programa Água Doce. 81
Tabela 10 - Custo Unitário de Implantação do Sistema de Produção Integrado PAD. ...92
Tabela 11 - Tabela resumo da proposta metodológica. 94
Tabela 12 - Faixas de Classificação para o Parâmetro "Restrição local de água" da Análise Multicritério Espacial. 96
Tabela 13 - Faixas de Classificação para o Parâmetro ''Velocidade média do vento'' da Análise Multicritério Espacial. 97
Tabela 14 - Faixas de Classificação para o Parâmetro ''Irradiação Solar média'' da Análise Multicritério Espacial. 98
Tabela 15 - Custo da Água em Função do Tempo. 109

SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA - Agência Nacional de Águas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ASA - Articulação Semiárido Brasileiro

BNB - Banco do Nordeste do Brasil

CAERN - Companhia de Águas e Esgoto do Rio Grande do Norte

CAPEX - Despesas de Capital (Capital expenditure)

CENTRAL - Central de Associações Comunitárias para Manutenção de Sistemas de Abastecimento de Água

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

CODEVASF - Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba

CONDEL - Conselho Deliberativo da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

CONVIVER - Programa de Desenvolvimento Integrado e Sustentável do Semiárido

COP - Conferência das Nações Unidas de Combate à Desertificação – COP

CPRM - Serviço Geológico do Brasil

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica

DAS - Declaração do Semiárido

ED - Eletrodiálise

EDR - Electrodiálise Reversível

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EMBRATER - Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural

EEA – European Environment Agency

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

FBB - Fundação Banco do Brasil

FGEB - Fundação Grupo Esquel Brasil

FUNASA - Fundação Nacional da Saúde

GHG - Gases do Efeito Estufa (Greenhouse gasses)

IFOCS - Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas

IICA - Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura

INTERÁGUAS - Programa de Desenvolvimento do Setor Água

IOCS - Obras Contra as Secas

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INSA - Instituto Nacional do Semiárido

LABREN - Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia

MCTIC - Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação

MD - Destilação por Membranas (Membrane distillation)

MDS - Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome

MI - Ministério da Integração Nacional

MED - Destilação Múltiplos Efeitos (Multiple-effect distillation)

MS - Ministério da Saúde

MSF - Destilação Flash de Múltiplos Estágios (Multi-stage flash distillation)

O&M - Operação e Manutenção

OPEX - Custos Operacionais (Operational expenditure)

PAA - Programa de Aquisição de Alimentos

PAD - Programa água Doce

PAN-BRASIL - Programa Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca

PAPP - Programa de Apoio ao Pequeno Produtor

PCPRs - Projetos de Combate à Pobreza Rural

PDSA - Plano Estratégico de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido

PDRIs - Programas de Desenvolvimento Rural Integrado

PLANSAN - Plano Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional

POLONORDESTE - Programa de Desenvolvimento de Áreas Integradas do Nordeste

PPM - Partes por milhão

PNAA - Programa Nacional de Acesso à Alimentação

PROÁGUA/Semiárido - Programa de Desenvolvimento Sustentável de Recursos Hídricos para o Semiárido Brasileiro

PROCANOR - Programa de Apoio às Populações Pobres das Zonas Canavieiras do Nordeste

PRODEEM - Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios

PROINE - Programa de Irrigação do Nordeste

PROJETO SERTANEJO - Programa Especial de Apoio ao Desenvolvimento da Região Semiárida do Nordeste

PROHIDRO - Programa de Aproveitamento de Recursos Hídricos do Nordeste

PROMATA - Programa de Apoio ao Desenvolvimento Sustentável à Zona da Mata de Pernambuco

PRONAF - Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar

PROSAR - Programa Saúde e Saneamento Básico

PROTERRA - Programa de Redistribuição de Terras e Estímulos à Agroindústria do Norte e Nordeste

PV - Fotovoltaico (Photovoltaics)

P1MC - Programa 1 Milhão de Cisternas

P1+2 - Programa Uma Terra e Duas Águas

RO - Osmose Inversa (Reverse Osmosis)

SDT – Sólidos Dissolvidos Totais

SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

SIGSAB – Sistema Brasileiro de Informação e Conhecimento do Semiárido

SIPAD - Sistema de Informações do Programa Água Doce

SISAR - Sistema Integrado de Saneamento Rural

SNIRH - Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos

SSD - Destilador Solar (Solar still distillation)

SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

UAE - Emirados Árabes Unidos (United Arab Emirates)

UFCP - Universidade de Campina Grande

WEI – Water Exploitation Index

WWDR - Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO 1

1.1 Considerações Iniciais 1

1.2 Justificativa 6

1.3 Objetivos 10

1.3.1 Geral 10

1.3.2 Específicos 10

1.4 Estrutura do Trabalho 11

CAPÍTULO II – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA SOBRE DESSALINIZAÇÃO 12

2.1 Salinidade e Potabilidade da Água 12

2.3 Principais Tecnologias de Dessalinização 13

2.4 Osmose Inversa (RO) 17

2.4.1 O Fenômeno da Osmose Inversa 17

2.4.2 Demanda Energética 22

2.4.3 Aspectos Econômicos 23

2.4.4 Cuidados com as Membranas 24

2.4.5 Questões Socioambientais 26

2.5 Dessalinização com o Uso de Fontes Renováveis 28

2.6 Dessalinização no Brasil 34

CAPÍTULO III – POLÍTICAS PÚBLICAS E O ACESSO À ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO 35

3.1 Definição de Políticas Públicas 35

3.2 Disparidade no Consumo Hídrico de Regiões Brasileiras 38

3.3 O Semiárido Brasileiro 39

3.4 Histórico de Políticas Públicas de Convivência com o Semiárido brasileiro 44

3.5 Programa Água Doce 61

3.5.1 Sobre o Programa 61

3.5.2 Arranjo Institucional 63

3.5.3 Resultados Obtidos e Esperados 65

3.5.4 Fases de Implementação 68

3.5.5 Componentes do Programa 80

CAPÍTULO IV – PROPOSTA METODOLÓGICA.....93

4.1 Avaliação do Potencial Técnico do Uso de Fontes Renováveis em Sistemas de Dessalinização do Programa Água Doce 94

4.2 Avaliação Econômica Comparativa do Custo da Água no Rio Grande do Norte..98

CAPÍTULO V – RESULTADOS.....105

5.1 Resultados quanto à Avaliação do Potencial Técnico do Uso de Fontes Renováveis em Sistemas de Dessalinização do Programa Água Doce.....105

5.2 Resultados quanto à Avaliação Econômica Comparativa do Custo da Água.....107

CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 112

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 1166

ANEXOS 1311

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A água é um recurso natural dos mais preciosos e sua disponibilidade em quantidade e qualidade adequadas é condição fundamental para a vida como a conhecemos e, portanto, para a sobrevivência do ser humano. Cerca de 70% da superfície da terra é coberta por água, mas embora essa proporção aparente abundância, o cerne da questão é a disponibilidade de água doce (FAO, 2016). Apenas cerca de 2,5% da água em nosso planeta é doce, e, dessa pequena fração, menos de 1% é accessível para uso humano, que corresponde à água encontrada em fontes subterrâneas exploráveis, chuvas, lagos naturais, reservatórios e rios (FAO, 2016).

O consumo mundial de água aumentou em seis vezes nos últimos cem anos, e continua a crescer de forma constante a uma taxa de cerca de 1% ao ano, como resultado do crescimento populacional, do desenvolvimento econômico e das mudanças nos padrões de consumo (UN WATER, 2019). Fatores como o aumento da poluição, desperdício e efeitos gerados pelas mudanças climáticas pressionam ainda mais a disponibilidade deste recurso natural (UN WATER, 2020).

Segurança alimentar, saúde humana, assentamentos urbanos e rurais, produção de energia, desenvolvimento industrial, crescimento econômico e ecossistemas são todos dependentes da água e, portanto, vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas. A adaptação e a mitigação às mudanças climáticas por meio da gestão da água são, portanto, cruciais para o desenvolvimento sustentável, e essenciais para o cumprimento dos objetivos estipulados pela Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável[1] (UN WATER, 2017a).

Dado este cenário, existe uma grande preocupação com a segurança hídrica em diversas regiões do nosso planeta. Segundo Declaração Ministerial do 2º Fórum Mundial da Água no ano de 2000, ratificada na Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+20) em 2012, o termo ‘’Segurança Hídrica’’ consiste em: “*Garantir que ecossistemas de água doce, costeira e outros relacionados sejam*

[1] Trata-se de uma coleção de 17 metas globais para 2030 estabelecidas pela Assembleia Geral das Nações Unidas, cujos temas abrangem questões de desenvolvimento social e econômico, incluindo pobreza, fome, saúde, educação, aquecimento global, igualdade de gênero, água, saneamento, energia, urbanização, meio ambiente e justiça social.

protegidos e melhorados, possibilitando que cada pessoa tenha acesso à água potável suficiente a um custo accessível para levar uma vida saudável e produtiva, e que a população vulnerável seja protegida contra os riscos relacionados à água" (ZHANG et al., 2012). De acordo com a Organização Mundial da Saúde - OMS (2003), são necessários de 50 a 100 litros de água doce por pessoa por dia e cerca de 884 milhões de pessoas no mundo não tem acesso a água potável segura, para garantir que as necessidades humanas mais básicas sejam atendidas e para minimizar os efeitos nocivos à saúde.

O acesso à água de qualidade é um direito humano essencial, e falhas crônicas no seu fornecimento às populações mais vulneráveis acarretam em guerras, fenômenos de migração, redução da expectativa de vida, disseminação de doenças e aumento da mortalidade infantil (UN WATER, 2019).

A água é usada e consumida em diversas atividades, tais como agricultura, pecuária, indústria - incluindo mineração e geração de energia elétrica -, e no uso doméstico. Segundo previsões da *Food and Agriculture Organization - FAO* (2016), as demandas industriais e domésticas pelo recurso hídrico irão avançar mais rapidamente do que para o setor agrícola, embora este continue sendo o maior consumidor em termos gerais. Atualmente, o setor agrícola responde por 69% do consumo de água doce no globo, enquanto que indústria e uso doméstico representam 19% e 12%, respectivamente.

Existem três soluções principais para o problema de desequilíbrio entre suprimento e demanda de água doce, quais sejam: (a) eficiência na utilização do recurso hídrico, incluindo tratamento e reciclagem; (b) armazenamento em reservatórios; e (c) tecnologias de dessalinização (UN WATER, 2017b).

A dessalinização é um processo que remove os sais e minerais dissolvidos em águas salgada, salobra ou insalubre para produzir água potável ou para uso industrial e/ou agrícola (ABDELKAREEM *et al*., 2018). Mesmo com os avanços tecnológicos a partir da década de 1990, as tecnologias de dessalinização são, todavia, consideradas "intensivas em termos químicos, energéticos e operacionais, com foco em sistemas de larga escala, exigindo uma considerável infusão de capital e de conhecimento técnico" (SHANNON *et al.*, 2008).

Entretanto, nota-se uma discreta, porém já iniciada, mudança de paradigma quanto à necessidade de unidades de grande porte e de altos investimentos de capital para a produção de água dessalinizada, principalmente no que diz respeito à dessalinização de

águas salobras (águas subterrâneas ou *inland desalination*) (LOUTATIDOU *et al.*, 2017). Pequenas plantas de dessalinização, com produções de até 50 m³ de água potável por dia, têm demonstrado resultados encorajadores em áreas isoladas, tais como as regiões áridas e semiáridas de países em desenvolvimento como Índia, norte da África, nordeste do Brasil, dentre outros (LOUTATIDOU *et al.*, 2017). Estes locais geralmente encontram-se em áreas intertropicais, isto é, apresentam boas condições de irradiação solar durante todo ano, facilitando assim o acoplamento destes sistemas ao uso de energia limpa e abundante.

A integração entre sistemas de dessalinização e fontes renováveis de energia é apontada como solução de grande potencial para mitigar a emissão de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera e reduzir os custos oriundos do consumo energético destes processos (SHAHABI *et al.*, 2015). Apesar de alguns desafios técnicos, tais como o armazenamento de energia, a intermitência das fontes renováveis e o elevado investimento inicial demandado, a pesquisa e desenvolvimento de sistemas de dessalinização integrados a fontes renováveis de energia tem crescido substancialmente desde o início dos anos 2000 (SHAHABI *et al.*, 2015).

O Brasil é o país com maior disponibilidade superficial de água doce no mundo, concentrando 12% da disponibilidade hídrica global, ou 18%, se a contribuição das nações vizinhas for considerada (ANA, 2017). Entretanto, o país apresenta graves problemas de distribuição espacial, desperdício, baixa qualidade e déficit de oferta em determinadas regiões do seu vasto território. Em especial, é de se notar que mais de 80% desses recursos hídricos encontram-se nas bacias do Amazonas e do Tocantins, áreas habitadas por apenas 10% de nossa população (ANA, 2017).

A experiência brasileira, em particular dos anos 2015 e 2016 com a escassez hídrica devido ao esvaziamento dos reservatórios de São Paulo, bem como as secas recorrentes no Nordeste do país, evidenciam a urgência da questão hídrica no Brasil.

É nesse contexto que se verifica o crescente interesse no Brasil pela utilização de plantas de dessalinização, desde instalações de médio a grande porte (a partir de 250m³/dia), como a que foi proposta recentemente pelo governo do Ceará para atender o equivalente às demandas de aproximadamente 700.000 pessoas em Fortaleza, à microunidades de dessalinização (até 50m³/dia) para atender pequenas comunidades

espalhadas no Semiárido brasileiro, como preconizadas pelo Programa Água Doce - PAD (COTTA *et al.*, 2019).

A região Nordeste é a segunda mais populosa do país (mais de 55 milhões de habitantes) e abriga a maior parte do Semiárido brasileiro, conforme ilustrado pela Figura 1. Ocupando cerca de 13% (1,03 milhões de km²) do território nacional, o Semiárido se estende por nove estados brasileiros (Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Minas Gerais) e abriga cerca de 28 milhões de habitantes, dos quais 38% (10,5 milhões de habitantes) vivem em meios rurais (BRASIL, 2021a).

No Semiárido ocorrem dois biomas principais: a Caatinga e o Cerrado, ambos apresentando características climáticas severas, tais como secas prolongadas, baixa precipitação pluviométrica e elevado índice de evapotranspiração[2] (FRANÇA, 1997). Além disso, a região semiárida brasileira possui como característica geológica a grande presença de sais nas águas subterrâneas em razão do chamado Embasamento Cristalino, domínio geológico onde as águas ficam armazenadas nas fissuras das rochas e acabam por adquirir suas características físico-químicas (IPEA, 2015).

Apesar de impróprias para o consumo humano, há um manancial considerável de águas subterrâneas para ser explorado nesta região (CARVALHO, 2012). Segundo o SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (BRASIL, 2018a), há aproximadamente 160 mil poços cadastrados no Nordeste brasileiro, sendo que muitos destes poços foram abandonados por apresentarem águas salobras e salinas.

Segundo estudos do Ministério da Integração Nacional, a oferta insuficiente de água para a população na região não ocorre pela falta de chuvas, mas pela elevada taxa de evapotranspiração, aliada à má distribuição dos recursos hídricos no local (LINS *et al*., 2005). Além disso, a má gestão institucional dos recursos hídricos e a insuficiência de medidas de contingência por parte das autoridades locais agravam ainda mais os impactos adversos da escassez hídrica na região (LINS *et al*., 2005).

Dentre as tentativas de combate à escassez hídrica no Semiárido brasileiro, destacam-se os Programas “1 milhão de cisternas – P1MC”, lançado no início dos anos 2000, e o “Programa Água Doce” - PAD, lançado em 2004. Este último objetiva o estabelecimento de uma política pública permanente de acesso a água de qualidade para

[2] Trata-se do fluxo de vapor de água da superfície e seres vivos para a atmosfera, sendo um importante componente do balanço hídrico e de energia.

consumo humano, promovendo o aproveitamento sustentável de águas subterrâneas e incorporando cuidados técnicos, ambientais e sociais na implantação, recuperação e gestão de sistemas de dessalinização em comunidades remotas do Semiárido brasileiro (BRASIL, 2012a).

O Programa "Água Doce", o qual as ações de larga escala só ocorreram a partir de 2011, entrou em 2020 em uma nova etapa, que visa o alcance de maior sustentabilidade hídrica e energética em seus processos (BRASIL, 2020). Para atingir estes objetivos, muitos estudos de apoio serão necessários.

O presente estudo tem por objetivo avaliar o potencial de implementação de instalações de dessalinização integradas a fontes renováveis de energia utilizando como base o caso da planta híbrida do Programa Água Doce localizada em Maria da Paz, no Rio Grande do Norte. Esta análise fundamenta-se em referenciais técnicos, econômicos e socioambientais da região, e pretende servir como ferramenta de auxílio à tomada de decisão para as perspectivas futuras do PAD.

Os resultados gerados por esta pesquisa evidenciam determinadas barreiras e oportunidades referentes ao desenvolvimento do PAD, e geram subsídios para o processo de tomada de decisão por parte das autoridades Federal e Estaduais do Semiárido, no que tange a escolha das localidades com maior potencial de implementação de sistemas de dessaliniazação integrados à fontes renováveis de energia.

Figura 1 - Nova delimitação do Semiárido Brasileiro.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, baseado em (BRASIL, 2005)

1.2 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho se engloba no contexto do Nexo Água-Energia-Alimentos[3] e atende a diferentes Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, ilustrados pela Figura 2. Os Objetivos diretamente abordados por este estudo são: (a) ODS 1 - Erradicação da Pobreza; (b) ODS 2 - Fome Zero e Agricultura

[3] Também conhecido como *FEW Nexus (Food, Energy and Water Nexus)*, constitui em uma proposta de abordagem diferenciada no campo da sustentabilidade que tem como prerrogativa de que água, energia e alimentos são elementos essenciais ao desenvolvimento humano e de que esses são providos a partir de cadeias interdependentes complexas onde há constantes compensações (*trade-offs*) não lineares. O conceito se resume em uma busca pela eficiência sistêmica e integrada, contrapondo a ideia do desempenho isolado de distintos setores.

Sustentável; (c) ODS 3 - Saúde e Bem-Estar; (d) ODS 6 - Água Potável e Saneamento; (e) ODS 7 - Energia Acessível e Limpa; (f) ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis; (g) ODS 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima; e (h) ODS 17 - Parcerias e Meios de Implementação.

Figura 2 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU.

Fonte: UN WATER, 2017a

Referente ao **ODS 1- Erradicação da Pobreza**, diversos estudos demonstram a relação intrínseca entre a extrema pobreza e a falta de acesso à água potável (UN WATER, 2017a). Comunidades do Semiárido distantes dos grandes centros e com problemas de abastecimento hídrico e energético apresentam forte dependência de Políticas Públicas para o atendimento de questões sociais de primeira ordem. A instalação de unidades de pequeno porte de dessalinização nestas localidades, tal como preconiza o PAD, constitui em uma estratégia de desenvolvimento a favor das populações mais vulneráveis, contribuindo assim com a "erradicação da pobreza, em todas as suas formas e em todos os lugares" (UN WATER, 2017a).

Dentre as metas para 2030 propostas pelo **ODS 2 - Fome Zero e Agricultura Sustentável**, está a de ''garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e de implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo'' (UN WATER, 2017a).

O PAD, foco de estudo desta tese, propõe em uma parcela de suas unidades de dessalinização o acoplamento à Sistemas de Produção Integrados. Nestes sistemas, a água de rejeito do processo de dessalinização, antes descartada incorretamente na natureza, é destinada à tanques de reaproveitamento que servem para a criação de peixes e para a criação de caprinos, ovinos e/ou bovinos, por meio da irrigação de plantas forrageiras. A economia circular gerada por este sistema de produção integrado permite gerar renda e alimentos aos moradores das comunidades beneficiadas pelo Programa, como também promove a agricultura sustentável.

Referente ao **ODS 3 - Saúde e Bem-estar** -, e ao **ODS 6 - Água Potável e Saneamento -,** o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos Recursos Hídricos (2020) constatou que, em 2019, três entre cada dez pessoas não possuíam acesso a água potável segura. A falta de uma fonte de abastecimento de água adequada e segura tende a gerar graves problemas nutricionais, sanitários e econômicos para as populações (UN WATER, 2019). Existe uma relação direta entre a incidência de doenças e a falta de acesso à água em quantidade e qualidade adequadas (UN WATER, 2019). Diversas doenças, tais como diarreia, disenteria, febre entérica, hepatite A, leptospirose e poliomielite estão relacionadas ao consumo de água com qualidade inadequada e, juntas, são responsáveis por grande parte da mortalidade infantil no planeta (UN WATER, 2019).

A instalação de unidades de dessalinização em comunidades isoladas do Semiárido, tal como preconiza o PAD, pode reduzir a taxa de contaminação da população por doenças relacionadas ao consumo de água de má qualidade, assegurando a disponibilidade e a gestão sustentável de água de qualidade para todos. Além disso, tais instalações podem promover a melhoria do bem-estar da comunidade, uma vez que poupa os beneficiados de percorrerem grandes distâncias para buscar água em açudes ou poços distantes de suas moradias. Esta tarefa, que demanda grande dispêndio de energia e de tempo, é geralmente realizada por mulheres e crianças (UN WATER, 2019).

O ODS 7 - Energia acessível e limpa - e o ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis - também são abordados no presente estudo. O Brasil apresenta grande potencial de exploração dos seus recursos solares e eólicos, e a evolução recente destes mercados e de suas respectivas regulações é nítido.

De acordo com a ABSOLAR (2021), o país assumiu em 2019 a 16° posição no ranking mundial de capacidade instalada acumulada de energia solar fotovoltaica, com 4,5 GW. O preço médio desta fonte em leilões de energia no mercado regulado é cada vez mais competitivo, passando de 103 US$ / MWh em 2013 para 17,62 US$ / MWh em 2019 (ABSOLAR, 2021), e sua representação na matriz elétrica brasileira, apesar de discreta (1,6% em 2021), cresce a cada ano graças aos incentivos dados às políticas de geração distribuída (ABSOLAR, 2021).

A geração eólica, por sua vez, é atualmente a terceira maior fonte de geração do país, atrás apenas da hidro e da térmica. Com capacidade instalada atualmente de 20MW, seu crescimento de participação na matriz elétrica nacional é notável, passando de 0,8% em 2010 a 9,4% em 2020 (ONS, 2021).

Cabe ressaltar que o crescimento destas duas matrizes de energia renovável é observado sobretudo nas regiões brasileiras que mais carecem de energia e abastecimento hídrico de qualidade, como é o caso da região Nordeste (BRASIL, 2012a). O Nordeste conta atualmente com 84% de toda a capacidade instalada nacional de geração eólica e seus estados constam entre as primeiras colocações junto a Minas Gerais e São Paulo no que tange a capacidade instalada de usinas solares fotovoltaicas (ABSOLAR, 2021; ONS, 2021).

A integração entre sistemas de dessalinização por osmose inversa e fontes renováveis de energia, como é o caso da unidade de dessalinização do PAD em Maria da Paz (RN), pode fomentar ainda mais o mercado de energia solar fotovoltaica e eólica no Semiárido, além de reduzir a dependência de comunidades isoladas frente às grandes centrais de distribuição de energia elétrica da região.

Além disso, o PAD, o qual as ações de larga escala só ocorreram a partir de 2011, entrou em 2020 em uma nova etapa, que visa o alcance de maior sustentabilidade hídrica e energética em seus processos (BRASIL, 2020). Para atingir estes objetivos, estudos de apoio como o realizado por esta tese, serão necessários.

Finalmente, referente ao **ODS 13 - Ação contra a mudança do clima -**, pode-se afirmar que o Semiárido brasileiro é um local de grande vulnerabilidade frente às mudanças climáticas, dada a falta de chuvas e o ressecamento de açudes observados ao longo da última década (BRASIL, 2012a). Os sistemas de abastecimento hídrico e energético não alcançam determinadas comunidades isoladas da região que, por sua vez,

dependem de poços artesianos em sua grande maioria de água salobra para sobreviverem (BRASIL, 2012a). Pequenas unidades de dessalinização com o uso de energia solar fotovoltaica e/ou eólica, como as que preconizam uma pequena parcela do PAD, podem ser uma solução eficaz frente à vulnerabilidade destes locais aos adventos causados pelas mudanças do clima.

1.3 OBJETIVOS

O presente trabalho parte da hipótese de que as unidades de dessalinização do PAD geram ganhos sociais e econômicos para as comunidades beneficiadas, e que a integração destas unidades à fontes renováveis de energia (solar fotovoltaica e/ou eólica) constitui em uma medida técnica e economicamente viável.

1.3.1 GERAL

Avaliar o potencial de implementação de instalações de dessalinização por osmose inversa de pequeno porte integradas a fontes renováveis de energia (solar fotovoltaica e/ou eólica) no Semiárido brasileiro a partir de referenciais técnicos, econômicos e socioambientais, e utilizando como base o caso da instalação híbrida do PAD de Maria da Paz, no Rio Grande do Norte.

1.3.2 ESPECÍFICOS

a) Contextualizar a importância da implementação de tecnologias de dessalinização, à luz do cenário de vulnerabilidade hídrica mundial e brasileira;
b) Apresentar as diferentes possibilidades de integração entre tecnologias de dessalinização e fontes renováveis de energia, apontando suas aplicações existentes pelo mundo;
c) Apresentar um histórico de Políticas Públicas de combate à escassez hídrica no Semiárido brasileiro desde o início do século XX, dando ênfase ao Programa Água Doce;
d) Desenvolver uma metodologia de seleção das localidades no Semiárido brasileiro com o maior potencial técnico de implantação de unidades de dessalinização por osmose inversa de pequeno porte integradas à fontes renováveis de energia (solar fotovoltaica e/ou eólica);

e) Avaliar o caso da unidade PAD de Maria da Paz (RN), alimentada parcialmente por placas solares fotovoltaicas, de modo a realizar uma análise econômica comparativa entre o custo da água obtido pela planta e por outra fonte de abastecimento alternativa da região ("Operação Vertente").

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para alcançar os objetivos propostos, este trabalho será dividido em cinco capítulos. O Capítulo I, de introdução, apresenta as considerações iniciais, as justificativas, a hipótese e os objetivos geral e específicos da presente pesquisa.

O Capítulo II consiste em uma fundamentação teórica sobre o tema "dessalinização". Para tal, conceitos como salinidade e potabilidade da água, assim como o estado da arte das tecnologias de dessalinização - representatividade, custos, potencial de integração com fontes renováveis, dentre outros - são abordados. Uma atenção especial é destinada ao processo de dessalinização por osmose inversa, por tratar-se da tecnologia de dessalinização mais difundida e comercializada no mundo atualmente, e por tratar-se também da técnica selecionada para os sistemas instalados pelo PAD no Semiárido brasileiro.

O Capítulo III apresenta a área de estudo desta pesquisa, o Semiárido brasileiro, detalhando suas principais características e dando um histórico das Políticas Públicas de combate à escassez hídrica implementadas na região desde o início do século XX. Uma atenção especial é dada ao PAD que, em 2020, entrou em uma nova etapa de seu desenvolvimento, com o objetivo de aumentar a sustentabilidade hídrica e energética de seus processos.

O Capítulo IV e V apresentam, respectivamente, as propostas metodológicas e a discussão dos resultados obtidos por esta investigação.

Por fim, no Capítulo VI são apresentadas as considerações finais da tese, isto é, as conclusões e limitações do estudo, assim como uma proposta para investigações futuras.

CAPÍTULO II – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA SOBRE DESSALINIZAÇÃO

2.1 SALINIDADE E POTABILIDADE DA ÁGUA

A água ingerida pelo ser humano deve possuir sais minerais para cumprir corretamente com o seu importante papel fisiológico. Entretanto, quando a concentração de sais é inferior ou ultrapassa certo intervalo de aceitação, a água passa a ser imprópria para o consumo humano e sua ingestão pode causar problemas à saúde.

A Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e traz as seguintes definições em relação à salinidade (CONAMA, 2005):

I - Água Doce: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰ (500 mg/L);

II- Água salobra: águas com salinidade superior a 0,5 ‰ (500 mg/L) e inferior a 30 ‰ (30.000 mg/L); e

III- Água Salina: águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰ (30.000 mg/L).

A Portaria Federal do Ministério da Saúde nº 2914 de 2011 (BRASIL, 2011b) estabelece o padrão brasileiro de qualidade de água para consumo humano, por meio dos Valores Máximos Permitidos - VMP. Os parâmetros e respectivos VMPs estão organizados nos Anexos da referida Portaria, sendo os mais relevantes: (a) Anexo I – Padrão microbiológico da água para consumo humano; (b) Anexo II – Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção; (c) Anexo VII - Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde; (d) Anexo VIII - Tabela de padrão de cianotoxinas da água para consumo humano; (e) Anexo IX - Tabela de padrão de radioatividade da água para consumo humano; e (f) Anexo X - Padrão organoléptico de potabilidade.

Quanto às concentrações de Sólidos Dissolvidos Totais – SDT e a presença de Sódio na água, o Anexo VII desta Portaria estabelece como padrão de aceitação para consumo humano limites máximos de 1.000 mg/L e 200 mg/L, respectivamente (BRASIL, 2011b). Cabe lembrar que para águas subterrâneas (salobras) e para águas salinas, o nível de SDT admissível é de até 10.000 partes por milhão (ppm) e 45.000 ppm, respectivamente.

Todas as águas naturais encontradas em mananciais de abastecimento possuem, em maior ou menor grau, um conjunto de sais dissolvidos. Em geral, águas subterrâneas apresentam teores mais elevados de sais em relação às águas superficiais, resultado da solubilização dos materiais presentes no solo e nas rochas (BRASIL, 2011a). Dentre os fatores que determinam a quantidade e os tipos de sais presentes na água subterrânea, destacam-se: (a) o clima da região; (b) o meio percolado pela água; (c) o tipo e a velocidade do fluxo subterrâneo; e (d) a fonte de recarga do aquífero.

Áreas com elevado índice pluviométrico tendem a apresentar maior recarga de seus aquíferos e, portanto, uma maior diluição dos sais e renovação de suas águas subterrâneas. Entretanto, em climas áridos e semiáridos, os baixos índices pluviométricos e os altos índices de evaporação levam a uma maior salinização do solo, causando assim maior salinidade das águas que entram em contato com esse meio.

No Semiárido brasileiro, por exemplo, onde 70% da água subterrânea é salobra devido ao escudo cristalino presente (CARVALHO, 2012), muitos povoados distantes dos grandes centros de abastecimento dependem exclusivamente do instável abastecimento por Carro-Pipa. Esta situação agrava a exposição de uma população já vulnerável às doenças de veiculação hídrica, provocando enorme impacto no sistema de saúde pública. Neste sentido, a implementação de pequenas unidades de dessalinização descentralizadas poderia reduzir a dependência e a vulnerabilidade destas comunidades isoladas frente ao estado e aos efeitos das mudanças do clima, respectivamente.

2.3 PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DE DESSALINIZAÇÃO

Dessalinização consiste no processo de remover sais e minerais dissolvidos em águas salgada, salobra ou insalubre para produzir água potável ou para uso industrial e/ou agrícola (ABDELKAREEM *et al*., 2018).

O primeiro registro de dessalinização da água para fins de potabilidade data de 400 a. C. (BIRKETT, 1984). Nesta ocasião, navegantes da baía de *St. Basil*, na Capadócia, coletavam e ferviam água do mar a bordo, tampando o recipiente com esponjas naturais. A água evaporada graças ao calor era então condensada na esponja que, por sua vez, era retirada do tampo do recipiente e expremida na boca dos tripulantes.

Métodos de destilação artificial vêm sendo aperfeiçoados pelo ser humano que, com o passar do tempo e o desenvolvimento de tecnologias envolvendo processos de aquecimento e de resfriamento, tais como o uso de condensadores e a queima de gás e de petróleo, criou processos térmicos de dessalinização mais eficientes e de maior escala.

O conceito de dessalinização da água por meio do uso de membranas surgiu somente em 1950, com os cientistas Reid e Breton (GWI, 2019). Em 1960, os pesquisadores S. Loeb e S. Sourirajan desenvolveram, a partir de acetato de celulose assimétrica, a primeira membrana utilizada no processo de Osmose inversa. Desde então, com o desenvolvimento de membranas cada vez mais eficientes e resistentes, a dessalinização se tornou prática comum no globo, especialmente em regiões áridas com problemas de abastecimento hídrica, tais como os países do Oriente-Médio.

As tecnologias de dessalinização evoluíram significativamente desde 1950, particularmente desde o início dos anos 2000. De acordo com a *International Desalination Association* - IDA, em 2017, mais de 300 milhões de pessoas em 150 países dependiam diretamente da água produzida pelas 19.372 plantas de dessalinização instaladas, que forneciam cerca de 92,5 milhões de metros cúbicos de água potável diariamente (GWI, 2019). Ao final de 2017, 59% do total de capacidade instalada em dessalinização provinha dos oceanos (água salgada), enquanto que 22% advinha de águas subterrâneas (água salobra). Os 18% restantes provinham de rios e de águas residuais (GWI, 2018). O setor doméstico respondia por 60% de toda a capacidade instalada, enquanto que cerca de 30% era coberto pelas demandas industriais, especialmente no setor de óleo e gás (LOUTATIDOU *et al.*, 2017).

Os países do Oriente Médio, Estados Unidos, Austrália e China são os líderes globais em capacidade contratada e também aqueles que mais investem nestas tecnologias (WORLD BANK, 2016).

A dessalinização de água salgada ou salobra pode ser realizada por intermédio de processos de separação mecânicos, químicos, térmicos e elétricos (UN WATER, 2017b). De modo geral, processos de dessalinização podem ser divididos em processos térmicos, de separação por membranas e híbridos, conforme ilustrado pela Figura 3.

Processos térmicos, tais como a Destilação Flash de Múltiplos Estágios (MSF) e a Destilação de Múltiplos Efeitos (MED), utilizam energia térmica (calor) para simular o ciclo natural da água (evaporação e condensação), destilando a matéria-prima em água de

baixa salinidade. Como a energia necessária para a evaporação da água varia levemente em função da concentração de salinidade da mesma, a evaporação térmica é muito adequada para águas com alto grau de salinidade. Esta é uma das razões pelas quais a dessalinização térmica tem sido amplamente adotada por países da Península Arábica (Arábia Saudita, Omã, Emirados Árabes Unidos, Bahrein, Kuwait, dentre outros), que retiram água dos corpos hídricos mais salinos do planeta, tais como Mar Vermelho, Golfo Pérsico e Oceano Índico, para abastecer suas indústrias e populações (VOUTCHKOV, 2016).

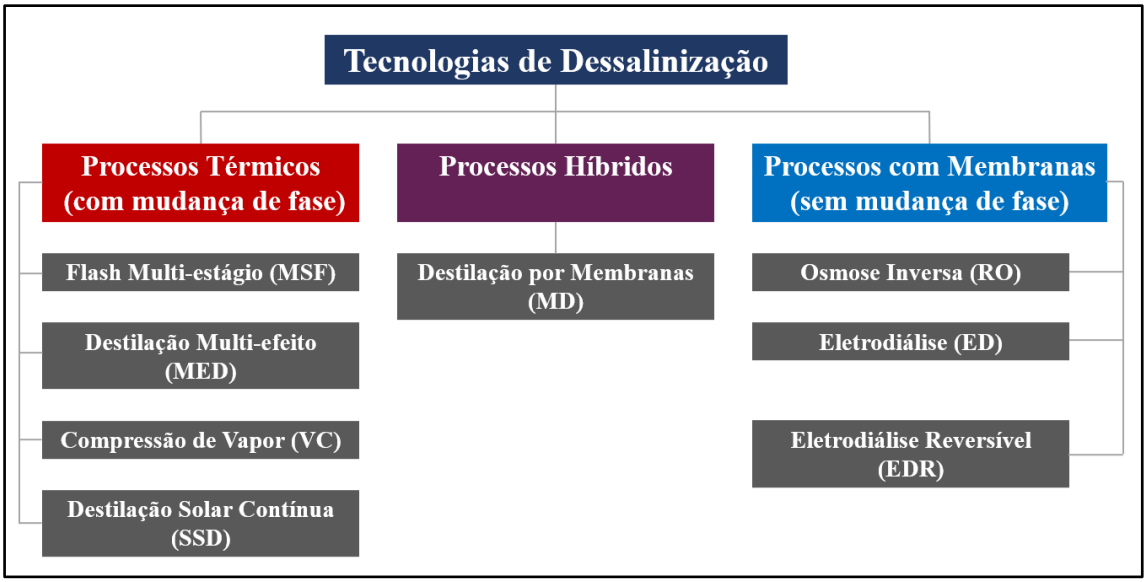


Figura 3 - Principais tecnologias de dessalinização.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2020

Por sua vez, tecnologias de separação por membranas, tais como a Eletrodiálise (ED) e a Osmose inversa (RO), utilizam energia mecânica (elétrica) para criar um diferencial de potencial químico (caso da ED) ou um gradiente de pressão (caso da RO) através de membranas semipermeáveis, retendo os íons de sal no lado de alimentação e permitindo a penetração e a passagem unicamente das moléculas de água (LIYANAARACHCHI *et al.*, 2014).

Processos híbridos de dessalinização integram técnicas de separação por membranas com processos térmicos em um único sistema ou em etapas seqüenciais (GUDE, 2016).

Há também as chamadas tecnologias de dessalinização “emergentes”, tais como a nanofiltração (NF), a compressão de vapor (VC), a destilação por membrana (MD), a *Forward Osmosis* (FO), a destilação solar contínua (SSD), dentre outras (SUBRAMANI, 2015).

As tecnologias de dessalinização mais consolidadas no mercado são: (a) Osmose inversa (RO), responsável por 65% da capacidade instalada global; (b) Destilação Flash de Multiplos Estagios (MSF) - 21%; c) Destilação Múltiplos Efeitos (MED) - 7%; (d) Eletrodiálise (ED) - 3%; e (e) outras tecnologias - 4% (ABDELKAREEM *et al*., 2018).

A Tabela 1 apresenta uma síntese dos principais métodos de dessalinização supracitados, apontando suas respectivas vantagens e limitações.

Tabela 1 – Características dos principais métodos de dessalinização.

Tipo de Processo	Tecnologia	Princípio	Vantagens	Desvantagens
Membrana	Eletrodiálise	Baseado na separação dos sais através de membranas seletivas de cátions e ânions por ação de um campo elétrico.	Maior vida útil de seus componentes por não trabalhar sob alta pressão. Recomendado para dessalinização de águas com baixa salinidade (SDT < 3.55 ppm).	Economicamente inviável para dessalinização de água com elevado teor de salinidade.
	Osmose inversa	Aplicação de uma pressão externa na solução de maior concentração de sais para forçar a água a atravessar membranas semipermeáveis, se movendo no sentido da solução de menor concentração.	- Menor consumo energético em relação às demais tecnologias comerciais. - Baixa variação de desempenho com aumento de salinidade; - Possibilidade de Modularização (água salobra e salina); - Pré-tratamento simplificado (filtração simples); - Possibilidade de operação intermitente; - Qualidade elevada da água produzida (rejeição de sais > 99,9%); e - Possibilidade de conexão direta com fontes renováveis.	Formação de incrustantes, o que reduz a vida útil das membranas e pode comprometer o sistema.

Térmico	Destilação Flash de Múltiplos Estágios (MSF)	Ebulição da água em etapas sucessivas, onde a pressão e a temperatura são controladas.	Não depende da salinidade da água e é utilizada em grandes escalas de produção.	Elevado consumo energético e necessita de uma fonte de vapor.
	Destilação Múltiplos Efeitos (MED)	Processo que se inicia com aspersão da água salgada fria diretamente sobre um conjunto de tubos quentes e cujo vapor obtido no primeiro estágio é utilizado para aquecer e evaporar a água salina no estágio seguinte.	Opera com temperaturas mais baixas, o que reduz o custo de energia necessária ao processo.	Também necessita de uma fonte de vapor.
	Compressão de Vapor (CV)	Compressão do vapor gerado na evaporação da água salgada a altas pressões.	Opera com baixas temperaturas e é adequado para aplicações de baixa e média capacidade.	O custo de produção da água é alto.
	Destilação Solar Contínua (SSD)	Utiliza a energia térmica solar direta para destilar a água salgada.	Os custos de energia desta tecnologia são muito baixos, tornando-se uma boa opção para regiões com poucos recursos tecnológicos e econômicos.	Depende das condições climatológicas e não funciona para produção de média/grande escala devido à baixa eficiência.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, baseado em ABDELKAREEM *et al*., 2018; GWI, 2019; e CABRERA *et al.,* 2018

2.4 OSMOSE INVERSA (RO)

2.4.1 O FENÔMENO DA OSMOSE INVERSA

A osmose inversa, ou *Reverse Osmosis* (RO), é o método de dessalinização mais difundido e comercializado no mundo, compreendendo 65% de toda a capacidade instalada global, e com custos da ordem de 1 USD/m³ de água dos oceanos dessalinizada em plantas comerciais (ABDELKAREEM *et al*., 2018) (BODEN & SUBBAN, 2018). Isto se deve a uma série de fatores, em especial à versatilidade do método (por funcionar com qualquer tipo de água de alimentação e para diferentes volumes), à simplicidade e robustez dos equipamentos envolvidos, e ao ganho com economia de escala adquirido a partir do início dos anos 2000 (ABDELKAREEM *et al*., 2018) (BODEN & SUBBAN, 2018). Além disso, o uso generalizado e a alta disponibilidade desta tecnologia específica aumentam as possibilidades de encontrar mão-de-obra especializada local para operar e

fazer a manutenção de suas unidades, especialmente em países em desenvolvimento e em áreas remotas.

A osmose é um fenômeno natural que ocorre quando duas soluções de concentrações diferentes são separadas por uma membrana semipermeável, ou seja, uma membrana que dá passagem a moléculas de água, mas impedem a passagem de outras moléculas. Como o potencial químico da água em uma solução é menor do que no estado puro, haverá uma passagem da água pura através da membrana, sempre do meio hipotônico (menos concentrado em soluto) para o meio hipertônico (mais concentrado em soluto), até que se atinja um equilíbrio.

A Figura 4 ilustra o processo de osmose natural. A situação "A" representa a situação inicial onde duas soluções aquosas com concentrações diferentes encontram-se separadas por uma membrana semipermeável. Em "B", observa-se a passagem do soluto do meio hipotônico para o meio hipertônico. Finalmente, em "C", observa-se o equilíbrio alcançado entre as duas soluções, e a diferença entre a pressão de cada coluna de solução representa a pressão osmótica.

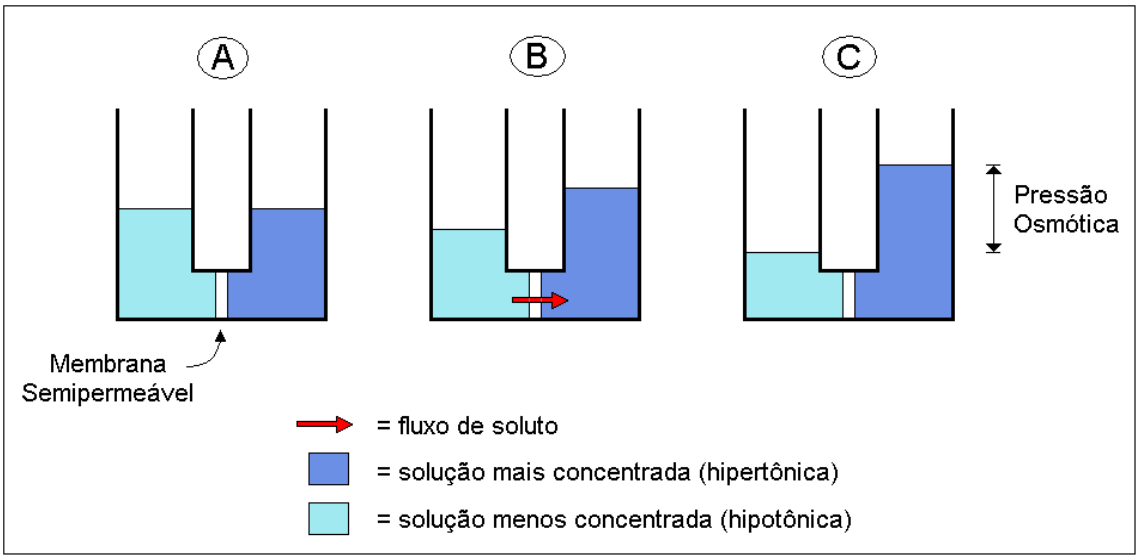


Figura 4 - Diagrama esquemático do processo de osmose natural.

Fonte: Adaptado de HABERT *et al.*, 2006

A pressão osmótica de uma solução aquosa pode ser calculada por:

$$\Pi = \iota \times \frac{C}{M} \times R \times T \qquad (1)$$

Onde:

Π = pressão osmótica (MPa)

i = número de íons produzidos na ionização do soluto C = concentração do soluto (g/L)

M = massa molecular do soluto

R = constante universal dos gases (8,3145 x 10^{-3} l.MPa.K^{-1}.mol^{-1}) T = temperatura (Kelvin)

Pela fórmula apresentada, é possível concluir que, para uma mesma temperatura e um mesmo conjunto de sais dissolvidos na água, a pressão osmótica irá variar proporcionalmente com a concentração de sais.

No processo de osmose inversa, o fluxo osmótico natural é invertido através da aplicação de uma pressão maior do que a pressão osmótica do lado da solução mais concentrada **(**Figura 5**)**. Em outras palavras, a osmose inversa ocorre se ΔP > Pressão Osmótica, conforme ilustrado pela situação "B" da Figura 5.

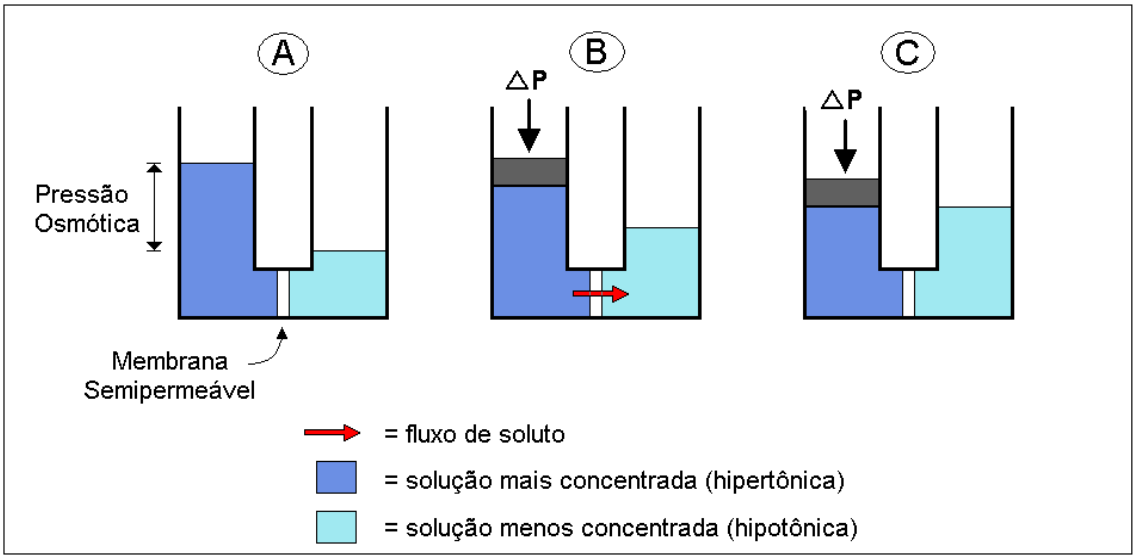


Figura 5 - Diagrama esquemático do processo de osmose inversa.

Fonte: Adaptado de HABERT et al., 2006

Desta forma, o processo de dessalinização por osmose inversa ocorre pela aplicação de uma força mecânica por meio de bombas hidráulicas de alta pressão, fazendo com que a água flua através das membranas semipermeáveis da solução mais concentrada (água salgada, salobra, ou com impurezas) para a solução menos

concentrada. Dependendo da qualidade da água de entrada do sistema e da qualidade da água que se quer produzir, seleciona-se o tamanho e a qualidade das membranas a serem instaladas. Da mesma forma, uma unidade de osmose inversa pode conter módulos de uma ou duas membranas a até milhares delas, dependendo da quantidade de água potável que se deseja produzir.

De modo geral, as pressões de trabalho variam entre 50 e 80 bar (HABERT *et al.*, 2006). As membranas utilizadas na osmose inversa apresentam poros com diâmetro menor que 0,001 μm, sendo adequadas para reter até mesmo os íons monovalentes e, dessa maneira, podem ser consideradas membranas densas, ao invés de porosas. Assim, o mecanismo de separação não pode ser entendido como uma simples filtração, mas sim um processo de natureza difusiva que depende também da afinidade das diferentes espécies com o material da membrana, ou seja, um processo de adsorção/difusão (HABERT *et al.*, 2006).

A osmose inversa é um processo contínuo em que o fluxo de alimentação é tangencial à membrana e em que nem todo o fluido de alimentação atravessa a membrana, produzindo assim um fluxo de concentrado, e outro de permeado (água dessalinizada). A eficiência do processo depende de parâmetros operacionais, propriedades da membrana e da água de alimentação.

Na dessalinização por Osmose Inversa, os módulos de membranas mais comercializados são os com configuração em espiral, isto é, membranas planas enroladas ao redor de um tubo perfurado, com a utilização de espaçadores para formar os canais de escoamento e aumentar a turbulência do fluxo, de modo a reduzir a formação de depósitos sobre a mesma. A Figura 6 ilustra o funcionamento de uma membrana de osmose inversa em espiral. Algumas das principais características que diferenciam os módulos de membranas enroladas em espiral dos demais tipos de módulos (de placas planas, de fibra oca e tubulares), são o alto grau de empacotamento das membranas (tipicamente, 1.000 metros quadrados de membrana por metro cúbico de módulo) e o fato do volume de fluído mantido no interior do módulo ser baixo.

As pressões envolvidas no processo de osmose inversa costumam variar entre 50 a 80 bar, podendo apresentar valores superiores ou inferiores, dependendo das condições de trabalho e principalmente da concentração da água de alimentação (HABERT *et al.*,

2006). Os fluxos típicos de água através da membrana variam de 15 a 25 litros por hora por metro quadrado de membrana (15 a 25 L/h.m^2).

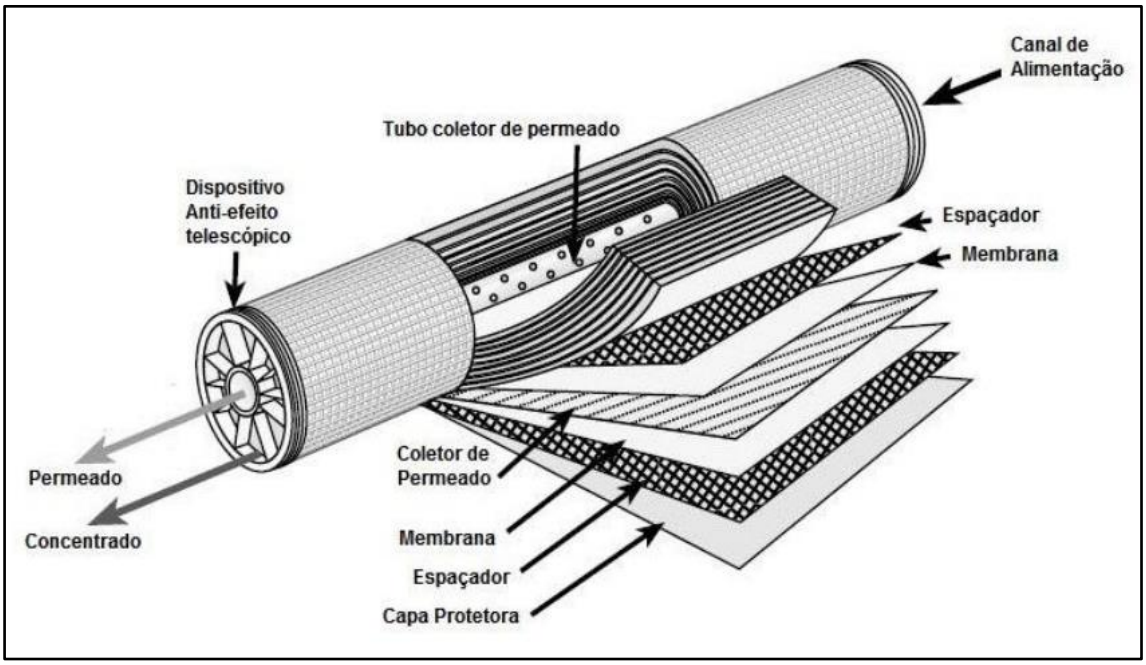


Figura 6 - Funcionamento de um módulo de membrana de osmose inversa em espiral.

Fonte: Adaptado de WAGNER (2001)

Um sistema completo de osmose reversa é composto pelos módulos arranjados em vasos de pressão, bombas de alta pressão (preferencialmente bombas centrífugas), válvulas, tubulações, medidores de vazão, medidores de pressão, medidores de temperatura e dispositivos de segurança, além dos sistemas de pré-tratamento e pós-tratamento (BRASIL, 2012a).

Desta forma, o método de dessalinização por osmose inversa conta com quatro etapas principais, conforme ilustrado pela Figura 7: (a) *water intake*, isto é, o bombeamento da água do mar ou subterrânea para a unidade de dessalinização; (b) pré-tratamento, para remoção dos sólidos (filtração, cloração, dentre outros processos); (c) processo de osmose inversa, onde a água é pressurizada contra membranas semipermeáveis que, por sua vez, retêm os sais minerais; e (d) pós-tratamento, responsável pelo ajuste de alcalinidade e acidez da água dessalinizada, por meio da adição de sais (ABDELKAREEM *et al*., 2018).

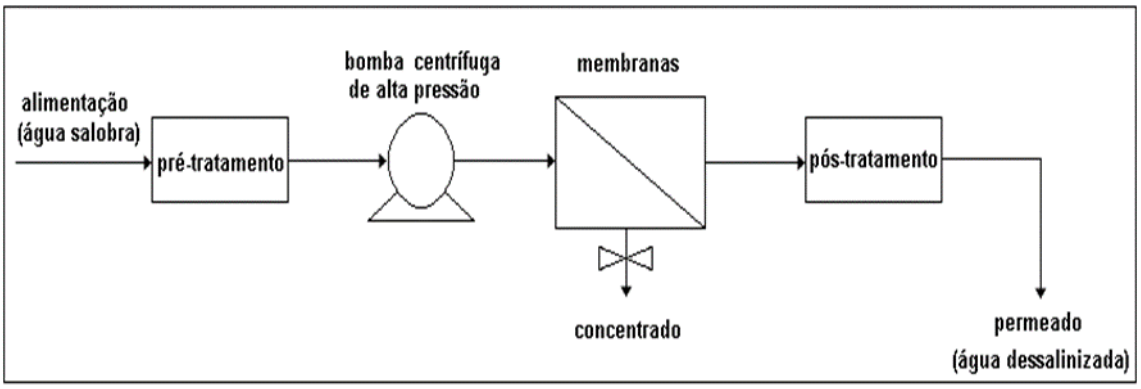


Figura 7 - Diagrama esquemático simplificado de um sistema de osmose reversa.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018

2.4.2 DEMANDA ENERGÉTICA

A demanda energética para dessalinizar água dos oceanos (salgada) se reduziu significativamente nas últimas décadas, passando de 20 kWh/m³ em 1970 para um mínimo de 2 kWh/m³ em 2016, por meio do método de osmose inversa e considerando-se uma taxa de recuperação de 50% (isto é, para cada 10 m³ de água de entrada, 5 m³ de água potável produzidos) (ALKAISI, 2017).

Em geral, processos térmicos consomem significativamente mais energia quando comparados à processos de separação por membranas (AL-KARAGHOULI *et al.*, 2013) (ISMAIL *et al.*, 2014), e, dentre os sistemas por membranas, a osmose inversa é considerada a tecnologia mais madura (GHALAVAND *et al*., 2015).

Os principais fatores que influenciam no consumo energético de uma planta de osmose inversa são: (a) o nível de salinidade da água de entrada (SDT); (b) a energia destinada ao bombeamento e responsável pelo processo de osmose inversa em si (pressão osmótica contra as membranas); (c) a taxa de recuperação de água e de energia do sistema; e (d) o design da unidade de dessalinização (arranjo das membranas, principalmente) (COHEN *et al.*, 2017).

Diferentemente de processos térmicos, processos por membrana demandam apenas energia elétrica para operar. A demanda energética das plantas mais desenvolvidas no mercado para dessalinizar água do mar (osmose inversa de grande porte) varia entre 2 e 5 kWh/m³ (LOUTATIDOU *et al.*, 2017).

Para águas salobras, em contrapartida, sistemas de osmose inversa demandam menos energia para operarem, como resultado da menor pressão exigida pelas membranas. Os consumos específicos de energia por metro cúbico de água dessalinizada produzida por Osmose Inversa a partir de água salobra são da ordem de 0,2 a 4 kWh/m^3, dependendo das características da água de entrada e das taxas de recuperação aplicadas (GHALAVAND *et al.*, 2017).

O consumo energético de processos de dessalinização por osmose inversa praticamente atingiu seu limite termodinâmico (BENNETT, 2013). Entretanto, a redução na demanda energética destes sistemas ainda é possível, e pode ser alcançada por meio do: (a) aprimoramento das membranas (desenvolvimento de compostos de baixa incrustação e de membranas altamente permeáveis e com maior vida útil) (ZHU *et al.*, 2009) (SONG *et al.*, 2003); (b) desenvolvimento de dispositivos de maior recuperação de energia e de água, como, por exemplo, a instalação de bombas *Clark*[4] na saída do concentrado (CHONG *et al.*, 2015) (PENATE & GARCÍA, 2011); (c) desenvolvimento de bombas de alta pressão mais eficientes (GUDE, 2011) (FRITZMANN *et al.*, 2007); (d) otimização dos processos de osmose inversa, em termos de condições operacionais e configuração/arranjo do sistema (LI, 2011); e (e) uso de fontes renováveis de energia.

2.4.3 ASPECTOS ECONÔMICOS

A demanda energética e o investimento de capital inicial são os fatores que mais influenciam na viabilidade econômica de uma planta de dessalinização (GHALAVAND *et al.*, 2017). O custo para dessalinizar águas dos oceanos reduziu significativamente desde os anos 2000, passando de uma média de US$ 1,25-1,50/m³ (BENNETT, 2011) em 1990, para cerca de US$ 0,50/m³ em 2018, considerando-se plantas de osmose inversa de grande porte (VOUTCHKOV, 2016). Esta redução do custo unitário de água produzida se deu graças ao desenvolvimento das tecnologias de dessalinização e a consequente redução do consumo energético por estas.

Além do gasto energético, os custos operacionais de plantas de osmose inversa incluem também a compra de produtos químicos de tratamento, peças de reposição

[4] Este tipo de bomba se baseia no movimento de ida e volta dentro de um cilindro de dois pistões solidamente ligados por uma haste e um mecanismo de válvulas internas. Desta forma, o fluxo de concentrado é reaproveitado sendo direcionado alternadamente entre os dois lados do cilindro.

(membranas, bombas, dentre outros), descarte do concentrado, mão-de-obra especializada e manutenção dos equipamentos (BODEN & SUBBAN, 2018).

Outros fatores que afetam, direta ou indiretamente, o custo da produção de água dessalinizada são: (a) salinidade da água de entrada; (b) disponibilidade e custo da fonte de energia; c) tamanho da unidade (economia de escala); (d) custo de aquisição do terreno para implantação da planta; (e) habilidades gerenciais; (f) aspectos ambientais; e (g) possibilidade de subsídios governamentais (BODEN & SUBBAN, 2018).

Importante ressaltar que, à medida que as concentrações de SDT da água de alimentação aumentam, maior o gasto energético do processo e, consequentemente, maior o custo unitário da água dessalinizada. De modo geral, este custo também varia proporcionalmente ao tamanho da planta de dessalinização, isto é, quanto maior a planta, maior a economia de escala e menor o custo unitário da água produzida. A Tabela 2 indica os diferentes custos de produção da água dessalinizada por meio do processo de osmose inversa em função do tipo de água de alimentação e da capacidade da planta.

Tabela 2 - Custo de produção da água dessalinizada por meio de osmose inversa.

Água de alimentação	**Capacidade de produção (m^3/dia)**	**Custo de produção (US$/$m^3$)**
Água Salgada	1.000 - 4.800	0.70 - 1.72
	15.000-60.000	0.48 - 1.62
	100.000 - 320.000	0.45 - 0.66
Água Salobra	< 20	0.56 - 12.99
	20 - 1.200	0.78 - 1.33
	40.000 - 46.000	0.26 - 0.54

Fonte: Adaptado de ISMAIL *et al*., 2014 ; e BENNET, 2013

2.4.4 CUIDADOS COM AS MEMBRANAS

Durante processos de osmose inversa, diversos fatores podem prejudicar a integridade e o desempenho das membranas, quais sejam: (a) os depósitos e incrustações; (b) as precipitações de soluto; (c) a formação de biofilme; e (d) a degradação química da membrana (GUDE, 2016).

Para o funcionamento de sistemas de osmose inversa, a água de alimentação não deve conter sólidos em suspensão, pois estes podem incrustar na superfície da membrana

e causar danos irreversíveis à mesma. Desta forma, é necessário que haja uma preocupação inicial com a fase de pré-tratamento, assim como na determinação das características do sistema de dessalinização por osmose inversa em si (parâmetros de pressão, taxa de recuperação, design da unidade e arranjo das membranas).

Durante a operação de um sistema de dessalinização por osmose inversa, da mesma maneira que em qualquer processo de separação por membranas, com a passagem seletiva do solvente através da membrana, os sólidos dissolvidos vão aumentando sua concentração na região da interface entre a solução e a membrana. Tal efeito é conhecido como ‘’polarização de concentração’’, podendo evoluir para a formação de uma camada ‘’gel’’ na membrana. Além de causar a diminuição no fluxo de permeado e o aumento da passagem de soluto através da membrana, este efeito pode também favorecer a ocorrência de incrustações pela deposição na superfície da membrana e de precipitação de soluto se sua concentração exceder o limite de solubilidade (GUDE, 2016).

A polarização de concentração é um processo reversível e pode ser minimizado com a aplicação de pressões de trabalho mais baixas e, consequentemente, menores taxas de recuperação. Já os depósitos e incrustações, além de prejudicarem o desempenho do sistema de dessalinização, acabam também por reduzir significativamente a vida útil das membranas e sua ocorrência depende das concentrações, temperaturas, e espécies químicas presentes na água de alimentação do sistema.

A formação de biofilme, por sua vez, consiste na formação de uma camada viscosa sobre a superfície da membrana, decorrente do acúmulo de material orgânico contendo partículas de proteínas, lipídeos, carboidratos e vitaminas (entre outras substâncias), formando uma crosta onde os microrganismos de uma ou mais espécies podem se desenvolver (HABERT *et al.*, 2006). Tal processo resulta dos mecanismos de adesão, responsáveis pela fixação e propagação dos microrganismos. Estes produzem polímeros adesivos que levam à sua fixação na superfície da membrana e à formação do biofilme, propriamente dito. O biofilme formado apresenta uma estrutura tridimensional complexa e concentra compostos orgânicos nesta estrutura, proporcionando os nutrientes necessários para o desenvolvimento e reprodução dos microrganismos.

Os principais efeitos da formação do biofilme são a redução do fluxo de permeado na membrana e o aumento do consumo de energia do sistema de

dessalinização. Se não tratado, o contínuo desenvolvimento da formação de biofilme pode acarretar na degradação da membrana a ponto de permitir a passagem de bactérias pela mesma, proporcionando assim a contaminação do permeado (HABERT *et al.*, 2006).

A prevenção da formação de biofilme deve ser feita principalmente por meio do controle da água de entrada que, ao apresentar matéria orgânica, deve passar por um pré-tratamento realizado com ‘’filtros cartucho’’, por exemplo. De acordo com parâmetros como a perda de fluxo ou a deterioração da qualidade do permeado, é necessária a realização de processos de sanitização e limpeza de todo o sistema de dessalinização, por meio da limpeza física e química das membranas e das demais superfícies do sistema que entram em contato com a água.

Finalmente, quanto maior for o teor de matéria orgânica na água, maior deverá ser a frequência das operações de limpeza e sanitização das membranas, de maneira a minimizar a formação de biofilme. Outra alternativa para este problema é a adição de cloro na etapa de pré-tratamento. Entretanto, ao optar por esta alternativa, deve-se atentar às concentrações de cloro utilizadas, pois este pode causar a degradação química e física das membranas (HABERT *et al.*, 2006).

2.4.5 QUESTÕES SOCIOAMBIENTAIS

A sustentabilidade dos processos de dessalinização pode ser avaliada por meio de quatro pilares: fatores econômicos, tecnológicos, ambientais e sociais (GUDE, 2016). Existem muitos estudos cobrindo os desafios econômicos e tecnológicos da dessalinização, enquanto que pesquisas referentes aos seus aspectos ambientais e sociais ainda são limitadas (MANJU & SAGAR, 2017).

Os principais impactos ambientais comumente associados aos processos de dessalinização são: (a) elevada salinidade, temperatura e descargas químicas do “concentrado”, contribuindo para a eutrofização[5], mudanças na qualidade da água dos oceanos e impactos ecológicos; (b) processo de captura da água de entrada (água do mar) e consequente captura da vida marinha; e (c) grande quantidade de poluentes atmosféricos

[5] Trate-se do processo no qual um corpo de água adquire níveis altos de nutrientes, especialmente fosfatos e nitratos, prejudicando o equilíbrio ecológico do ecossistema existente, provocando a morte de peixes e aumento de outras formas de vida como, por exemplo, algas.

e emissões de gases de efeito estufa resultantes do consumo intensivo de energia, oriunda da queima de combustíveis fósseis (LIYANAARACHCHI *et al.*, 2014).

Em relação a este último, a substituição nos processos de dessalinização do uso de combustível fóssil por fontes renováveis de energia constitue em uma alternativa promissora para o desenvolvimento e a sustentabilidade destes processos (LOUTATIDOU *et al.*, 2017) (GUDE, 2016).

No que tange a dessalinização de água salobra, também chamada de *inland desalination*, o maior desafio ambiental é a gestão do concentrado produzido, uma vez que a disposição nos oceanos não é possível (COHEN *et al.*, 2017).

No caso do Semiárido brasileiro, a Embrapa, em parceria com universidades e centros de pesquisa brasileiros, estuda alternativas para viabilizar o uso do concentrado do processo de dessalinização para a criação de peixes em tanques, tais como a *tilápia*, e na irrigação de plantas halófitas[6] que toleram sais, tais como a *erva-sal*, para a dessedentação animal (BRASIL, 2012a).

Neste sentido, a Embrapa busca o aprimoramento por meio da ampliação do número de espécies que poderiam ser utilizadas para estas finalidades. Calcula-se que existam aproximadamente 10.000 espécies de plantas tolerantes ao sal e mais de 250 espécies de halófitas com potencial de produção agrícola (BRASIL, 2012a). Avanços vêm sendo obtidos no cultivo sob irrigação sazonal com espécies como palma, melancia forrageira, sorgo ponta negra, leucena, pornunça, gliricídia, cunhã, mamona, lã de seda e milho catingueiro. No caso da aquicultura, são estudadas outras espécies além da *tilápia*, assim como formas mais flexíveis para sua criação nos tanques com água salobra proveniente do concentrado do processo de dessalinização. Outras opções estudadas para esta problemática ambiental são o uso da água salobra na hidroponia e na cultura de microalgas (GUDE, 2016).

Referente aos aspectos sociais, pode-se dizer que a substituição de um abastecimento de água convencional por processos de dessalinização constitui em mudanças significativas nas práticas societárias e, portanto, suas implicações sociais

---

[6] Plantas halófitas são plantas essencialmente terrestres que crescem no mar ou próximo dele, sendo assim tolerantes à salinidade.

devem ser cuidadosamente avaliadas. Importante notar que cada projeto de dessalinização é único em termos de contexto e comunidade local.

De modo geral, os principais impactos sociais referentes à implementação de usinas de dessalinização são: (a) desconfiança da população quanto à tecnologia de dessalinização; (b) preocupação quanto à qualidade da água produzida; c) receio pela privatização da água, bem comum e (até então) de baixo custo e de fácil acesso para grande parte do mundo; e (d) impactos ambientais referentes à construção e operação de usinas de dessalinização (poluição sonora, visual, etc.) (LOUTATIDOU *et al.*, 2017). Neste sentido, a adoção de uma postura mais ética e sustentável por parte dos projetistas e tomadores de decisão pode facilitar o processo de implementação e de aceitação de plantas de dessalinização.

Um caminho sensato e recomendado para que as autoridades ganhem a confiança e o apoio da população é a garantia da transparência ao longo de todo o processo de implementação, por meio de uma gestão de informação e comunicação eficazes, e da participação pública ativa durante todas as etapas do projeto.

Outro fator importante é a mitigação dos impactos negativos da construção de unidades de dessalinização. Como processos de dessalinização são convencionalmente relacionados a impactos ambientais negativos, integrar energias renováveis e limpas às tecnologias de dessalinização pode ser uma alternativa interessante para convencer população e autoridades locais dos potenciais benefícios destas configurações.

2.5 DESSALINIZAÇÃO COM O USO DE FONTES RENOVÁVEIS

Sistemas de dessalinização são usualmente alimentados por energia proveniente de combustíveis fósseis. Além dos elevados custos operacionais, estas fontes de energia liberam na atmosfera grandes quantidades de gases de efeito estufa. Com base nos poucos dados disponíveis na literatura, a estimação da pegada de carbono associada à operação de grandes usinas de dessalinização de osmose inversa é de 2,33 kg CO^2eq/m^3 (LIU *et al.*, 2015).

Para cenários que consideram o uso das tecnologias empregadas na atualidade, o Banco Mundial prevê que, até 2050, processos de dessalinização movidos por combustíveis fósseis liberarão cerca de 400 milhões de toneladas de CO^2eq/ano (WORLD

BANK, 2016). Tais emissões poderiam ser mitigadas por meio da adoção de fontes de energia renovável, tais como a solar fotovoltaica, CSP, eólica, dentre outras (TRAN & SMITH, 2017) (ELLABAN *et al.*, 2014). De fato, diversos sistemas de dessalinização com uso de fontes renováveis foram propostos nas últimas décadas (KHAMIS & KAVVADIA, 2013), seja por meio de sistemas descentralizados e autônomos, seja por sistemas híbridos, alimentados simultaneamente por fontes convencionais e energia renovável (GHAFFOUR et al., 2015). A Figura 8 apresenta as diferentes possibilidades de integração entre processos de dessalinização e fontes de energia renovável.

Além de reduzir os impactos ambientais, o uso de fontes renováveis na dessalinização também pode reduzir o custo da água para os usuários finais, permitindo acesso ao recurso hídrico de qualidade para habitantes de comunidades de baixa renda em áreas remotas do globo, tais como as zonas rurais do Semiárido brasileiro (WORLD BANK, 2016).

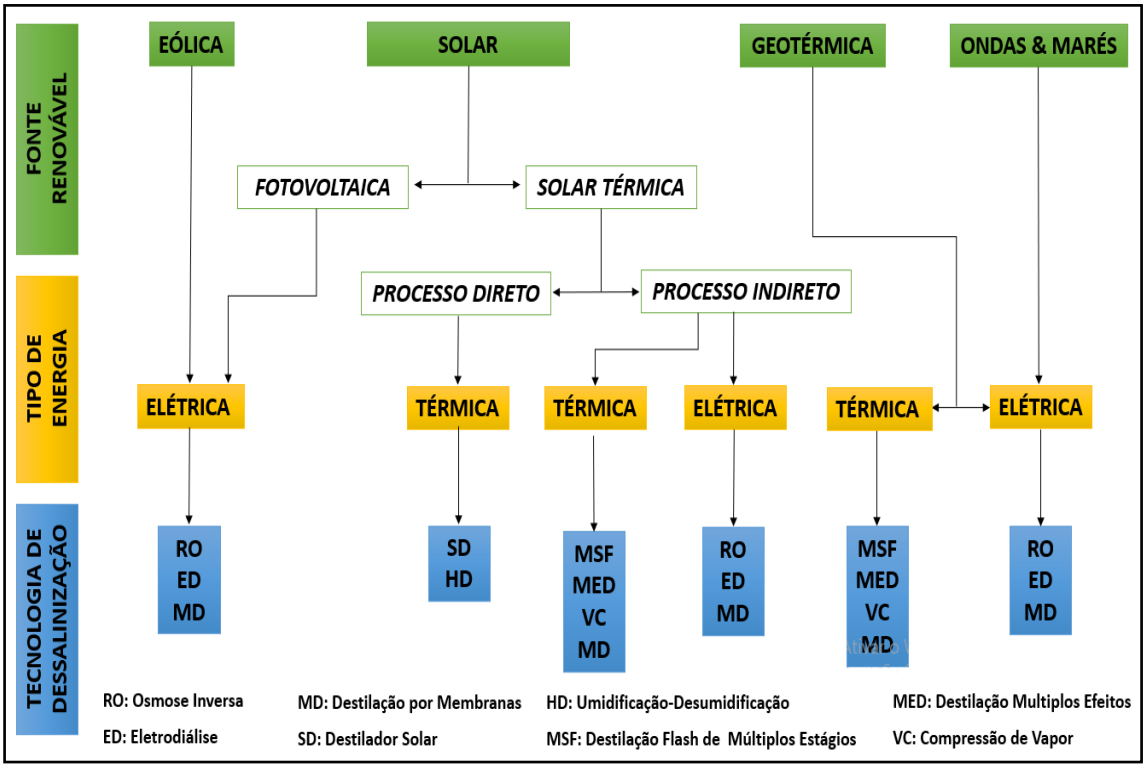


Figura 8 - Possíveis integrações entre tecnologias de dessalinização e fontes de energia renovável.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, baseado em ABDELKAREEM *et al.*, 2018 ; e SHAZAD *et al.*, 2017

Encontrar o equilíbrio adequado entre um sistema de dessalinização e uma (ou mais) fonte(s) de energia renovável de modo a maximizar a produção de água e minimizar o consumo de energia e o custo de produção não é tarefa simples. Fatores referentes às especificidades do local de instalação, tais como a infraestrutura e o conhecimento técnico local, a qualidade da água de alimentação, o acesso à rede de distribuição elétrica, a disponibilidade de fontes de energia renováveis, a dimensão da planta e a pressão necessária para a alimentação do sistema são determinantes para a tomada de decisão (MANJU & SAGAR, 2017). Cada caso deve ser analisado individualmente, levando em consideração e ponderando cada um dos fatores citados.

Apesar dos benefícios ambientais e da sua crescente viabilidade, sistemas de dessalinização integrados à fontes de energia renováveis apresentam barreiras técnicas e econômicas, tais como a constante demanda por energia e os custos de implementação. A Energia solar fotovoltaica e eólica, são tecnologias altamente intermitentes e dependentes das condições climáticas locais. Para sistemas de dessalinização autônomos, soluções de armazenamento de energia são necessárias para garantir a confiabilidade dos mesmos. Neste sentido, as principais soluções utilizadas na implementação de fontes renováveis de energia em sistemas de dessalinização são: (a) Baterias de alta performance para sistemas autônomos em áreas isoladas; (b) Hibridização entre diferentes fontes renováveis de energia; e (c) Hibridização entre uma fonte renovável de energia e conexão com a rede de transmissão (MANJU & SAGAR, 2017).

Até 2015, haviam cerca de 130 usinas de dessalinização no mundo totalmente alimentadas por energia renovável - representando apenas 1% da capacidade instalada global de dessalinização (SHAHZAD *et al.*,2017). A maioria eram sistemas de pequena escala autônomos e descentralizados (CABRERA *et al.*, 2018). Cerca de 43% destas unidades renováveis eram alimentadas por energia solar fotovoltaica, 27% por energia solar térmica, 20% por energia eólica, e os 10% restantes por sistemas híbridos (GHAFFOUR et al., 2015). Baseado na Literatura disponível, a Figura 9 apresenta o estado da arte das diferentes integrações existentes entre sistemas de dessalinização e fontes de energia renovável.

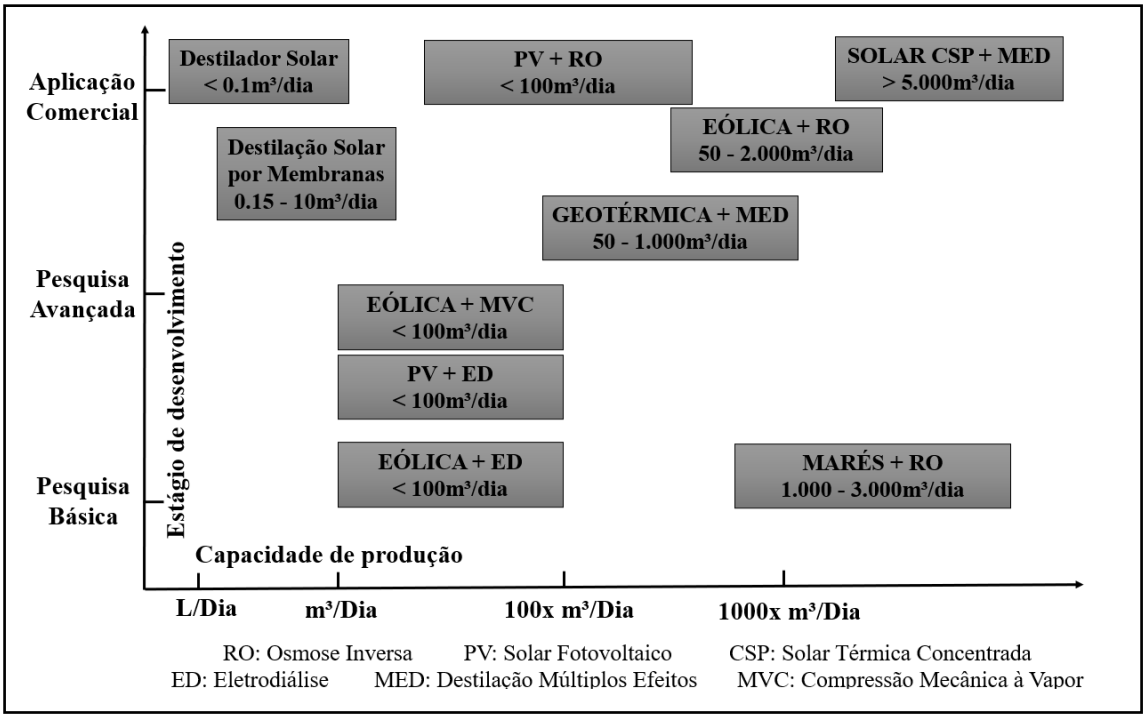


Figura 9 - Estado da arte das principais integrações entre tecnologias de dessalinização e fontes renováveis de energia.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, baseado em SHATAT *et al.*, 2013 ; ABDELKAREEM *et al.*, 2018 ; LOUTATIDOU *et al.*, 2017 ; ELLABAN *et al.*, 2014 ; DARWISH *et al.*, 2016 ; BODEN & SUBBAN, 2018 ; GUDE, 2016 ; e SHAZAD *et al.*, 2017

Sistemas de dessalinização integrados à fontes geotérmicas e de ondas e marés ainda encontram-se em estágio inicial de pesquisa e desenvolvimento (SHATAT *et al.*, 2013). Tais configurações, assim como as aplicações eólicas, geralmente convertem energia mecânica em energia elétrica para alimentar os sistemas de dessalinização por membranas.

A energia solar, por sua vez, é utilizada em sistemas de dessalinização por osmose inversa como fonte de energia elétrica ou térmica e/ou mecânica (DARWISH *et al.*, 2016). Os módulos solares fotovoltaicos (PV) convertem diretamente a luz solar em eletricidade por meio de placas feitas de silício ou outros materiais semicondutores. A Figura 10 apresenta os principais componentes e o esquema de funcionamento de uma unidade descentralizada de dessalinização solar por osmose inversa.

A energia solar também pode alimentar indiretamente as instalações de osmose inversa por meio da energia solar térmica concentrada (CSP). A energia térmica solar também pode ser aplicada indiretamente (coletores solares fornecendo energia térmica) ou convertida em eletricidade para acionar unidades de dessalinização por membranas (ABDELKAREEM, 2018).

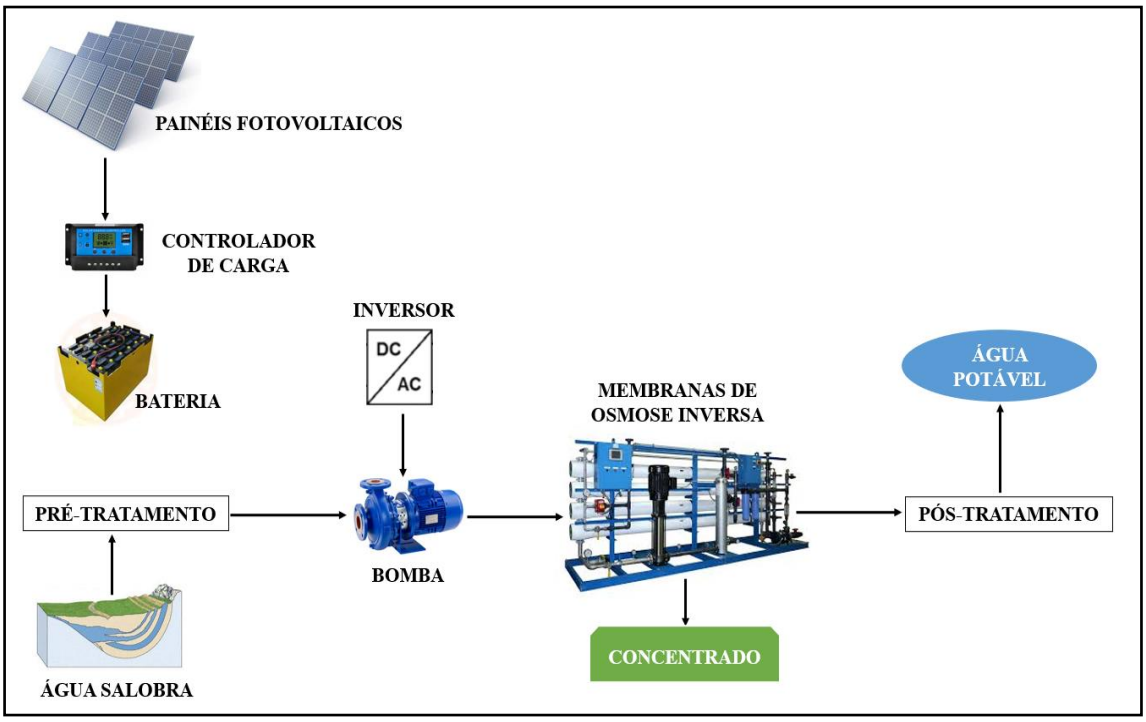


Figura 10 - Esquema de uma unidade descentralizada de dessalinização solar por osmose inversa.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, baseado em LOUTATIDOU *et al.*, 2017 ; ABDELKAREEM *et al.*, 2018 ; e BODEN & SUBBAN, 2018

A energia solar térmica também pode ser empregada diretamente nos destiladores solares (SSD), onde a absorção solar e a dessalinização da água ocorrem no mesmo dispositivo (MASHALY *et al.*, 2016), conforme ilustrado pela Figura 11. Destiladores solares são amplamente recomendados para aplicações domésticas, pois apresentam um baixo custo de investimento incial e de manutenção, apesar de apresentarem baixa produtividade por unidade de área (2-30 litros/m²/dia) (BODEN & SUBBAN, 2018). A Figura 11 apresenta duas configurações distintas de destiladores solares de baixo custo, gerando em média entre 2 L/dia (Figura 11a) e 20 L/dia (Figura 11b) de água potável por aparelho.

Figura 11 - Destiladores solares de baixo custo utilizados no Oriente-Médio (a) e no Brasil (b). Fonte: UN WATER, 2019

Finalmente, importante ressaltar o aumento do uso de sistemas de dessalinização híbridos, isto é, alimentados por diferentes fontes de energia renováveis e, em certos casos, conectados também ao grid. Nota-se na Literatura diferentes aplicações de sistemas híbridos, sobretudo em unidades de pequeno porte de dessalinização solar por osmose inversa. Tais sistemas são geralmente acoplados à fontes de energia eólica, e/ou geradores a diesel/biodiesel, e/ou conexão com o grid. A Figura 12 ilustra estas diferentes possibilidades de hibridização em uma unidade de dessalinização solar por osmose inversa.

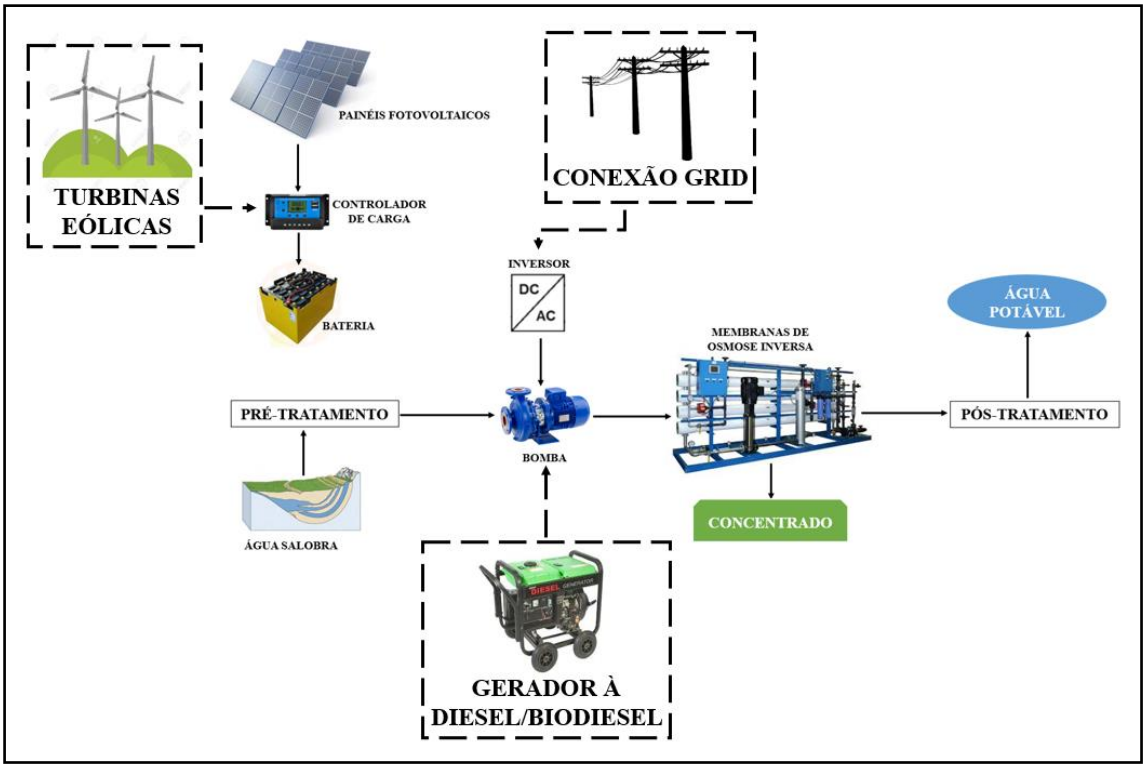


Figura 12 – Possíveis integrações de outras fontes de energia à uma unidade de dessalinização solar por osmose inversa.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, baseado em LOUTATIDOU *et al.*, 2017; ABDELKAREEM *et al.*, 2018 ; e BODEN & SUBBAN, 2018

2.6 DESSALINIZAÇÃO NO BRASIL

O Brasil produz atualmente 1,7 milhão m³/dia de água dessalinizada, dos quais 97% destinam-se a aplicações industriais, especialmente no campo de petróleo e gás das regiões sul e sudeste do país (GWI, 2019). Em contrapartida, sua produção hídrica via dessalinização para fins de potabilidade ainda é inexpressiva, com alguns casos pontuais envolvendo sistemas de dessalinização de pequeno e médio porte de água salgada e salobra por meio do processo de osmose inversa. Dentre eles, destacam-se a instalação de médio porte do arquipélago de Fernando de Noronha, PE, produzindo 288 m³ de água potável por dia (GWI, 2019), e o PAD, que uniu esforços governamentais e civil para levar água potável de qualidade às comunidades vulneráveis e isoladas do Semiárido brasileiro (BRASIL, 2012a). Além destas iniciativas, há uma proposta em andamento para a instalação de uma usina de dessalinização de água do mar de grande porte no Ceará, para atender o equivalente às demandas de aproximadamente 700.000 habitantes da cidade de Fortaleza (COTTA *et al.*, 2019).

Em 2019, o Governo Federal voltou a enfatizar a dessalinização como uma alternativa para reduzir os efeitos da crise hídrica no Brasil, em particular em sub-regiões semiáridas do Nordeste. Com o objetivo de assessorar o Ministério do Desenvolvimento Regional na garantia da segurança hídrica, inaugurou também em 2019 o Centro de Testes de Tecnologias de Dessalinização (CTTD) em Campina Grande, Paraíba. O CTTD, coordenado pelo Instituto Nacional do Semiárido (INSA), tem por objetivo testar, analisar e avaliar o desempenho de sistemas comercializáveis de dessalinização/purificação de águas salobras e salinas, visando à expansão do acesso à água potável ao povo nordestino (COTTA *et al.*, 2019).

CAPÍTULO III – POLÍTICAS PÚBLICAS E O ACESSO À ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

3.1 DEFINIÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS

Políticas Públicas são ações suscitadas pelo Estado (Governos Federal, Estadual e/ou Municipal) voltadas a atender determinadas necessidades públicas. De forma geral, Políticas Públicas podem ser: (a) de caráter social, como as relacionadas à educação, emprego, habitação, renda, saneamento, saúde, dentre outras; e (b) macroeconômicas, como, por exemplo, as ligadas a temas cambiais, industriais e monetárias.

O ciclo das Políticas Públicas é concebido como o processo de formulação, implantação, acompanhamento e avaliação (GELINSKI, SEIBEL, 2008). Pode-se classificar as Políticas Públicas em quatro tipos (LOWI, 1972): distributivas, regulatórias, redistributivas e constitutivas.

As políticas constitutivas, também chamadas de estruturadoras, são as que "determinam as regras do jogo e com isso a estrutura dos processos e conflitos políticos, isto é, as condições gerais sob as quais vêm sendo negociadas as políticas distributivas, redistributivas e regulatórias" (FREY, 2000). Partindo desta classificação elaborada por *Theodor Lowi*, podem-se considerar os seguintes critérios para definir o tipo de atuação das Políticas Públicas (TEIXEIRA, 2001):

1. Em relação à natureza ou grau da intervenção:

a. Estruturais – buscam interferir em relações estruturais como renda, emprego, propriedade, etc. Dois exemplos de políticas estruturais são a definição do valor do salário mínimo e os incentivos para aumentar a produção industrial do país e a geração de empregos;

b. Conjunturais ou emergenciais – objetivam combater uma situação imediata, de maneira sintomática. Programas de caráter assistencialista de combate à fome que forneçam alimento, mas não ataquem as causas da fome são exemplos de políticas conjunturais.

2. Quanto à abrangência dos possíveis benefícios:

a. Universais – para todos os cidadãos, ou seja, são encaradas como direitos da população. O Sistema Único de Saúde - SUS, por ter como diretriz a universalidade do acesso de toda a população aos seus serviços, pode ser incluído nessa categoria;

b. Segmentais – para um segmento da população, caracterizado por um fator determinado (idade, condição física, gênero etc.). A obrigatoriedade da educação fundamental para toda a população em idade escolar e a gratuidade no transporte coletivo público urbano para maiores de 65 anos podem ser considerados exemplos desse tipo de política;

c. Fragmentadas – destinadas a grupos sociais dentro de cada segmento. Visando atender a obrigatoriedade do ensino fundamental de toda a população em idade escolar, o Programa Bolsa-Escola está direcionado à população de baixa renda e, por isso, é um exemplo de uma política fragmentada.

3. Quanto aos impactos que podem causar aos beneficiários, ou ao seu papel nas relações sociais:

a. Distributivas – visam distribuir benefícios relacionados ao oferecimento de serviços do estado e equipamentos, em geral financiados pela sociedade por meio de um orçamento público. Correm o risco de sofrer instrumentalização pelo clientelismo. Alguns exemplos de políticas distributivas são as limpezas de córregos, a pavimentação e iluminação pública de ruas e a oferta de equipamentos para deficientes físicos, como cadeiras de rodas;

b. Redistributivas – visam redistribuir recursos entre os grupos sociais: buscando certa equidade. Retiram recursos de um grupo para beneficiar

outros, o que pode provocar conflitos. A reforma agrária e a progressividade na cobrança de impostos como o IPTU são exemplos de políticas redistributivas;

c. Regulatórias e Constitutivas – visam definir regras e procedimentos que regulem o comportamento dos atores, buscando atender interesses gerais da sociedade.

O caráter e o conteúdo das Políticas Públicas são dependentes da relação entre a sociedade civil e o Estado. A definição de Estado é alvo de muita discussão e diversas concepções podem ser utilizadas, dependendo do foco e dos objetivos de cada estudo. Para o presente trabalho, pode-se considerar Estado como o conjunto das instituições responsáveis pela organização, administração e controle social de uma nação, com poder soberano para governar um povo dentro de um determinado território. Por outro lado, a Sociedade Civil constitui a esfera das relações sociais não reguladas pelo Estado, tais como sindicatos e demais entidades profissionais, clubes cívicos, sociais e esportivos, cooperativas, corporações, movimentos religiosos, grupos de defesa de interesses comuns, movimentos populares, dentre outros (BOBBIO, 1986).

Definindo-se os conceitos de Estado, de Políticas Públicas e de Sociedade Civil, é possível se discutir o papel das mesmas no Desenvolvimento Sustentável de áreas rurais do Semiárido Brasileiro. De acordo com o Relatório *Brundtland* – Nosso Futuro Comum, elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1987, o Desenvolvimento Sustentável é aquele que "atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades". Este Relatório frisa ainda que se deve atender "sobretudo as necessidades essenciais dos mais vulneráveis, que devem receber a máxima prioridade" (WCED, 1991).

Desta forma, pode-se definir Desenvolvimento Sustentável como o modelo de desenvolvimento que, reconhecendo o caráter finito dos recursos naturais e a desigualdade social existente, leva em consideração a conexão entre sociedade, economia e meio ambiente, de modo a buscar um crescimento econômico que aconteça concomitantemente e em equilíbrio com a inclusão social e a proteção ambiental.

3.2 DISPARIDADE NO CONSUMO HÍDRICO DE REGIÕES BRASILEIRAS

O Brasil é o país com maior disponibilidade superficial de água doce no mundo, concentrando 12% da disponibilidade hídrica global, ou 18%, se a contribuição das nações vizinhas for considerada (ANA, 2017). Entretanto, o país apresenta graves problemas de distribuição espacial, desperdício, baixa qualidade e déficit de oferta em determinadas regiões do seu vasto território (ANA, 2017). Em especial, é de se notar que mais de 80% desses recursos hídricos encontram-se nas bacias do Amazonas e do Tocantins, áreas habitadas por apenas 10% da população (ANA, 2017). A região Nordeste, por outro lado, detém estimados 3% da disponibilidade hídrica superficial nacional, sendo a segunda região mais populosa do país, com cerca de 59 milhões de habitantes, ou 28% da população brasileira (ANA, 2017).

De acordo com a OMS, cada pessoa necessita entre 50 e 100 litros de água por dia para atender as necessidades básicas de consumo e higiene. No Brasil, em 2018 consumiu-se em média 154,9 litros de água por dia por habitante (BRASIL, 2018b). Entretanto, há uma extrema disparidade neste valor se consideradas as diferentes regiões do país. A Tabela 3 apresenta dados sobre o consumo diário de água por habitante em diferentes estados brasileiros em 2018, de acordo com do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - Snis, do Ministério do Desenvolvimento Regional - MDR.

Tabela 3 - Consumo médio per capita de água em diferentes estados e regiões do Brasil.

Estado / Região	Consumo em 2018 (litros / habitante / dia)	Estado / Região	Consumo em 2018 (litros / habitante / dia)
Alagoas	143,0	Espírito Santo	160,6
Bahia	115,6	Minas Gerais	155,2
Ceará	126,7	Rio de Janeiro	254,9
Maranhão	136,5	São Paulo	169,3
Paraíba	115,3	**Sudeste**	**182,6**
Pernambuco	95,3	**Centro-Oeste**	**144,9**
Piauí	105,5	**Sul**	**146,1**
Rio Grande do Norte	108,1	**Norte**	**131,8**
Sergipe	112,3	**Brasil**	**154,9**
Nordeste	**115,4**		

Fonte: BRASIL, 2018b

Como se pode observar, há uma grande disparidade de consumo per capita de água entre as diferentes regiões do país. Nota-se que todos os estados integrantes da região semiárida apresentam um consumo de água diário por habitante abaixo da média nacional.

Importante ressaltar a existência de desigualdades na distribuição do recurso hídrico dentro dos próprios estados e regiões. O consumo se concentra nas grandes cidades, o que faz com que o consumo diário médio da população rural em cada estado seja ainda menor do que a média estadual apresentada.

3.3 O SEMIÁRIDO BRASILEIRO

O Semiárido brasileiro é uma região delimitada pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE, considerando condições climáticas dominantes de semiaridez, conforme classificação do clima de *Thornthwaite* (AYOADE, 1985). A Tabela 4 apresenta esta classificação climática da Terra, baseada no Índice de Aridez (IA), conhecido como a razão entre a precipitação e a evapotranspiração potencial de cada local.

Tabela 4 - Classificação climática com base no índice de aridez.

Índice de aridez	Classificação
IA < 0,05	Hiper árido
0,05 < IA < 0,20	Árido
0,20 < IA < 0,50	Semiárido
0,50 < IA < 0,65	Subúmido seco
0,65 < IA < 1,00	Subúmido úmido
IA > 1,00	Úmido

Fonte: INSA (2011)

Em 2005, para efeito de Políticas Públicas e melhor distribuição de recursos para a região, o Ministério da Integração Nacional – MI (2005) definiu uma nova delimitação do Semiárido brasileiro (Figura 13) a partir de três critérios técnicos: (a) Precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm; (b) Índice de aridez de Thornthwaite inferior ou igual a 0,50; e (c) Percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano.

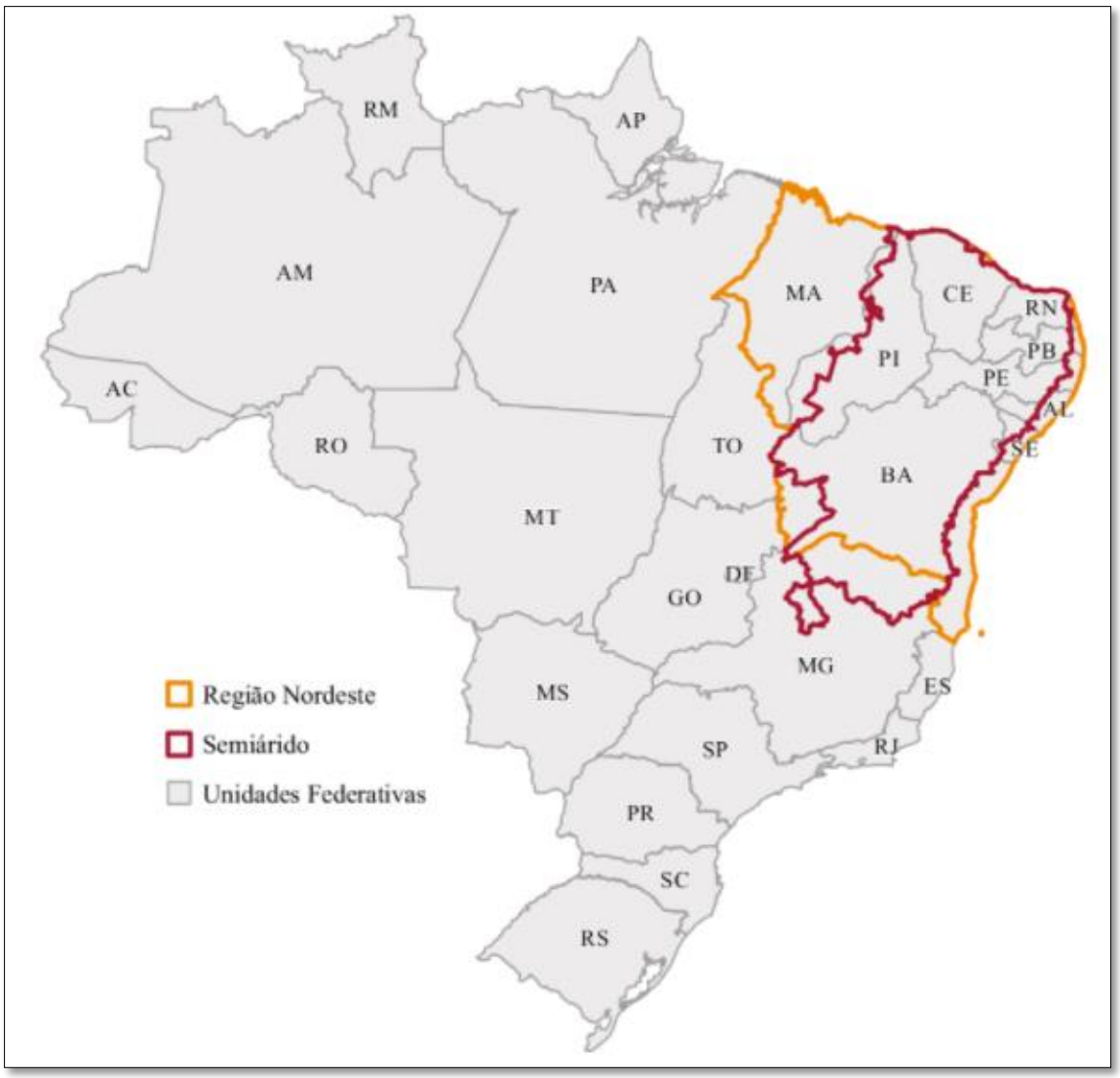


Figura 13 - Área de abrangência do Semiárido brasileiro.

Fonte: AQUINO *et al*., 2017

Após as Resoluções do Conselho Deliberativo (CONDEL) da SUDENE de n. 107, de 27.07.2017 e de n. 115, de 23.11.2017, o Semiárido brasileiro passou a ocupar cerca de 13% do território nacional (1,03 milhões de km²), abrigando cerca de 28 milhões de habitantes e se estendendo por 1.262 municípios de nove estados brasileiros: Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Minas Gerais (ANEXO I).

O Semiárido Brasileiro se destaca pela elevada concentração populacional, com uma densidade demográfica de 24,2 hab./km² (superior à nacional), o que coloca forte pressão sobre a base dos seus recursos naturais (BUAINAIN, GARCIA, 2011).

Caracterizada socialmente pelo menor IDH do país, e respondendo por apenas 5,1% do PIB nacional (IBGE, 2018), a região semiárida é marcada pela escassez hídrica e a heterogeneidade espacial. Nesta região, os açudes representam garantia da disponibilidade de água nos períodos secos, seja para consumo humano, animal ou para produção de alimentos. Entretanto, não existem critérios concretos para priorizar os diferentes usos e, muitas vezes, o homem concorre com os animais e outras atividades por uma água de baixa qualidade (BRITO et al., 2009).

No Semiárido brasileiro ocorrem dois biomas principais: a Caatinga e o Cerrado. A Caatinga, bioma predominante, apresenta grande biodiversidade composta principalmente por espécies xerófilas, isto é, árvores e arbustos de pequeno e médio porte, geralmente espinhosos, com mecanismos de economia de água rígidos, tolerantes a estresses hídricos e resistentes à seca (INSA, 2011). O domínio morfoclimático das caatingas brasileiras é fortemente caracterizado pela presença de cursos d'água periódicos e intermitentes, e pela grande dispersão da população por seu território (AB'SABER, 2012). Historicamente, a população residente na região semiárida do Brasil, em especial a população rural, vive boa parte do ano em situação de estresse hídrico, sendo a demanda de água por habitante superior à capacidade de oferta dos mananciais próximos.

A região semiárida apresenta baixa disponibilidade hídrica superficial, índices pluviométricos baixos e de distribuição irregular, com médias variando de 800 a menos de 250 mm/ano, e chuvas concentradas durante três meses do ano. Devido à proximidade da linha do equador, a região apresenta elevada irradiação solar durante todo o ano (2.800 h/ano) e evapotranspiração potencial de 1300-2000 mm/ano (MEDEIROS *et al*., 2012). O período de chuvas ocorre geralmente entre os meses de fevereiro e maio, enquanto que a estação de seca ocorre, na maior parte da região, entre os meses de agosto e outubro.

Estes fatores, somados à presença predominante de solos rasos e cristalinos na região, levam a uma maior salinização do solo, causando também maior salinidade das águas que entram em contato com este meio. Grande parte de Semiárido brasileiro encontra-se sobre o escudo cristalino, onde os teores de sólidos totais dissolvidos (STD) nas águas subterrâneas superam os 2.000 mg L-1 em 75 % dos casos (REBOUÇAS, 2003). Esta concentração de SDT é duas vezes superior ao limite máximo permitido na água para o consumo humano, de acordo com a Portaria MS nº 518 de 2004 (BRASIL, 2005).

Na Figura 14, as regiões do Semiárido assinaladas com as cores rosa e laranja compõem o Domínio Fraturado Cristalino. A região assinalada com a cor rosa corresponde à área desse domínio onde se encontram os maiores problemas de salinização das águas. A área do Semiárido que se sobrepõe ao escudo cristalino é de 701.000 km², sendo caracterizada por poços que apresentam uma vazão individual média de menos de 3 m3/h, profundidades entre 40 e 80 m e reservas exploráveis totais de 43,1 m3/s, ou seja, cerca de 155.000 m3/h (ANA, 2006).

O escudo cristalino, mesmo reconhecido como de baixo potencial hidrogeológico e com problemas de salinização, possui um papel fundamental no abastecimento da população rural do Semiárido brasileiro, principalmente nas regiões mais afastadas dos sistemas de abastecimento das cidades e dos grandes reservatórios superficiais.

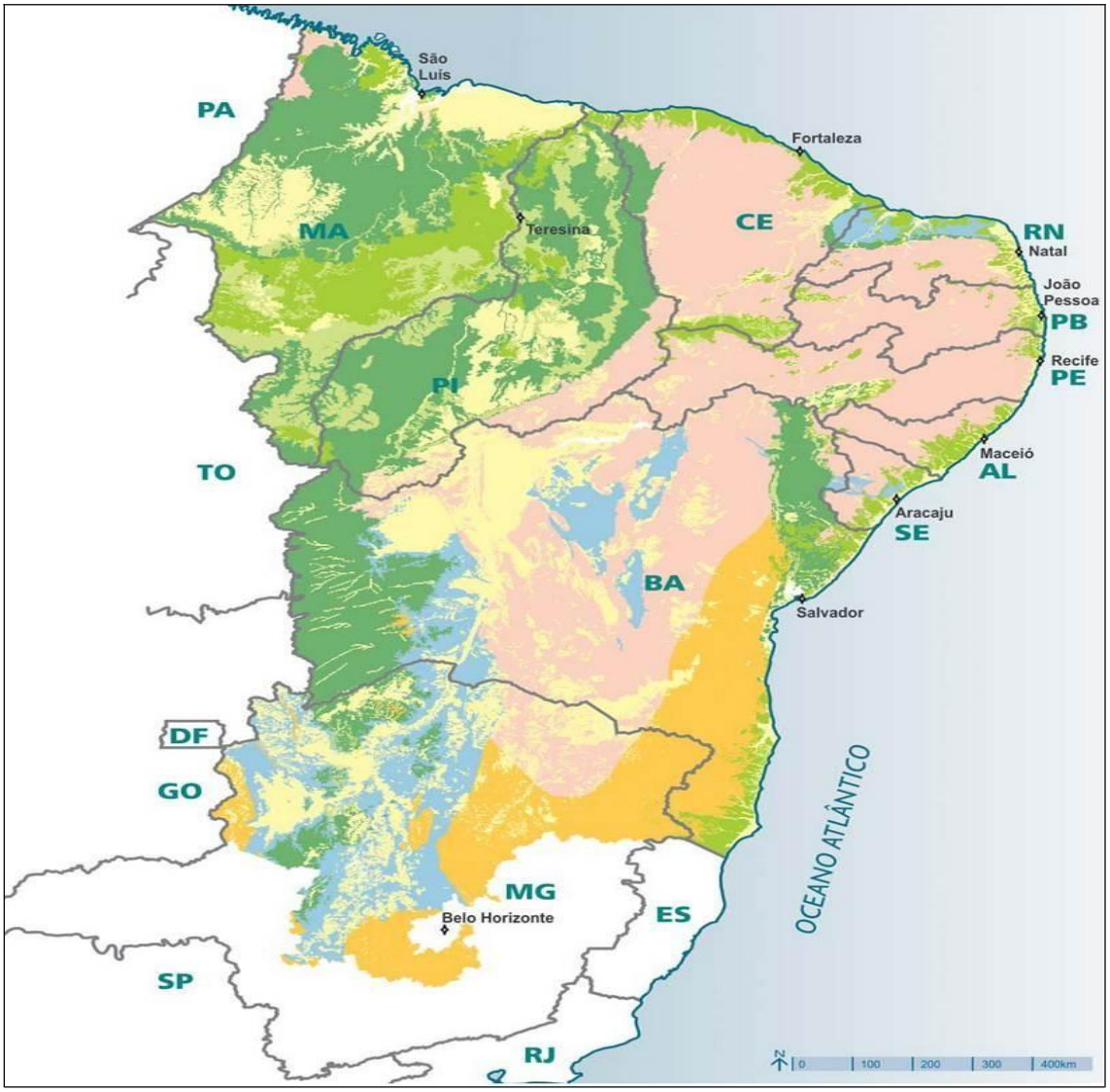


Figura 14 - Localização do escudo cristalino no Semiárido brasileiro.

Fonte: Adaptado de (ANA, 2006).

Diversas ações vêm sendo realizadas com o intuito de proporcionar o acesso à água aos habitantes do Semiárido. Dentre estas, destacam-se o Programa 1 Milhão de Cisternas, o Programa Nacional de Adutoras, dentre outros. O Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional, por exemplo, é um ambicioso e custoso projeto do Governo Federal que visa "assegurar oferta de água, em 2025, a cerca de 12 milhões de habitantes de 390 municípios do Agreste e do Sertão dos estados de Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte" (BRASIL, 2004). O Decreto nº 8.207, de 13 de março de 2014, designou a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba - CODEVASF, como Operadora Federal do Projeto de Integração. A Figura 15 traz um mapa com a localização do projeto, seus eixos de integração, adutoras e bacias de recepção.

Figura 15 - Mapa do projeto de transposição/integração do Rio São Francisco.

Fonte: (BRASIL, 2010)

Importante ressaltar que os problemas de recursos hídricos no Semiárido brasileiro ocorrem em um espaço natural e social heterogêneo, impondo problemas diferentes que exigem soluções específicas. A primeira clivagem é estabelecida por aqueles que pertencem e pelos que não pertencem a um sistema de recursos hídricos (hidrossistema). Comumente, os que não pertencem a um sistema de recursos hídricos são frequentemente as populações rurais difusas e a agricultura de sequeiro.

Com a seca periódica dos mananciais e reservatórios e a elevada concentração de sais nas águas subterrâneas, estas comunidades mais dispersas acabam por depender de intermediários (Exército brasileiro ou empresas privadas) que façam o transporte da água por meio de Carros-Pipa[7] desde a rede pública de abastecimento. Isto não só gera dependência das populações, como também eleva o preço da água devido aos seus respectivos custos logísticos. De acordo com trabalho realizado por José Boaventura Teixeira, existem localidades em que a população pobre paga de cinco a 10 vezes mais que a população rica pela água consumida (BRASIL, 2011a).

Tendo em vista o manancial considerável de águas subterrâneas a ser explorado no Semiárido, os Governos Federal e Estaduais da região têm procurado, desde a década de 90, mitigar este problema por meio da instalação de equipamentos de dessalinização das águas salobras subterrâneas em suas comunidades isoladas.

3.4 HISTÓRICO DE POLÍTICAS PÚBLICAS DE CONVIVÊNCIA COM O SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Para se entender a situação em que se encontram as áreas rurais do Semiárido e o papel que o Estado pode exercer na proposição e implantação de Políticas Públicas visando melhorias na qualidade de vida da população e o desenvolvimento sustentável da região, é necessário traçar um histórico das ações do Estado em relação à seca no Sertão do Semiárido. A Figura 16, presente ao final deste subcapítulo, apresenta de forma

[7] A distribuição de água potável por Carro-Pipa nas regiões mais vulneráveis do Semiárido é realizada majoritariamente pelo Exército brasileiro desde 1998, por meio de uma ação intitulada **"Operação Carro-Pipa – OCP"**. A coleta de água é realizada em mananciais (poços, açudes, barragens, Estações de Tratamento de Água das companhias estaduais ou rios) e levada até 38 mil pontos de distribuição de água no Semiárido. Até março de 2020, a OCP atendia todos os meses cerca de 2 milhões de pessoas em 644 municípios do Semiárido. O custo desse trabalho para o Governo, em 2019, foi de 604 milhões de reais (BRASIL, 2018b).

suscinta e cronológica as principais Políticas Públicas de Convivência com o Semiárido Brasileiro implementadas desde o início do século XX até os dias atuais.

Segundo os registros históricos, é grande o número de secas ocorridas na região hoje conhecida como Nordeste brasileiro. De 1559 a 2011, está registrada a ocorrência de 72 secas na região sendo que, dessas, 40 foram secas anuais e 32 plurianuais. Esse conjunto de eventos de seca totalizou 112 anos de seca (CARVALHO, 2012).

Como as informações relativas aos dois primeiros séculos da colonização portuguesa no Brasil são fragmentárias e, provavelmente, subestimam a incidência das secas no período, pode-se fazer uma análise apenas para os séculos XVIII, XIX, XX e início do XXI. Esses dados indicam que houve 85 anos de secas durante esses 300 anos (GOMES, 2001).

Uma das secas mais catastróficas foi a ocorrida entre os anos de 1877 e 1879 que possivelmente deixou mais de 500 mil mortos, além de ter causado grande mortandade do gado, atividade econômica principal do Sertão. Durante o período do império, este foi o episódio de seca de maior impacto e, para muitos historiadores, pode ser considerada a pior seca registrada para a região, que marcou o início da sistematização do socorro, principalmente na forma da distribuição de alimentos (GOMES, 2001).

Pela primeira vez, o então governo imperial procurou se utilizar de racionalidade e sistematizar o enfrentamento do problema, nomeando uma comissão de cientistas para realização de estudos e propostas. Nos eventos de seca seguintes, como a seca de 1888-1889, a do ano 1898 e as ocorridas no início do século XX, ocorreu a continuidade das intervenções emergenciais do governo, com foco principal na facilitação da emigração dos flagelados, além da distribuição de alimentos e da criação de frentes de trabalho provisórias. Nas secas seguintes, além das ações já mencionadas, o governo iniciou a prática da criação de “campos de concentração”, locais onde os flagelados eram reunidos para receberem alimento e se abrigarem e que, devido às condições insalubres, acabaram tornando-se locais para propagação de doenças e epidemias (GOMES, 2001).

A partir do início do século XX, a gravidade dos severos eventos de seca passou a ser divulgada em todo o país. As obras contra a seca realizadas por meio do alistamento da população em frentes de trabalho e o auxílio aos flagelados tornaram-se mecanismos para as elites dominantes locais conseguirem recursos, obras e outros benefícios. Este evento dá origem ao que se convencionou chamar de “indústria das secas”. Por meio da

prática de Políticas Públicas distributivas e assistenciais, inicia-se a manipulação política da seca, com a apropriação da condição de carência e a fragilidade da região pelo discurso político, tornando a perpetuação desta condição um fator estratégico para a manutenção do poder político e econômico (CARVALHO, 2012).

Em 1909, buscando uma ação governamental mais permanente na luta contra os efeitos da seca, o governo republicano criou a primeira instituição federal com atuação no Nordeste, a Inspetoria de Obras Contra as Secas - IOCS, que deu grande ênfase a estudos cartográficos, perfuração de poços, construção de estradas e açudes públicos, além de fornecer subsídios para financiar a construção de açudes particulares. A criação do IOCS foi um marco na mudança de abordagem da busca por soluções aos problemas relacionados à seca da região, representando a passagem da fase humanitária para a fase hidráulica (CARVALHO, 2012).

Em 1919, o IOCS sofreu reestruturação e teve o nome trocado para Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas - IFOCS. Nesta época, também se destacou a realização de extenso estudo hidrológico, baseado em dados de numerosas estações pluviométricas e fluviométricas que haviam sido instaladas na região.

No ano de 1936, foi definido o “Polígono das Secas”, espaço instituído como base para as ações de apoio governamental às vítimas das secas e que teve sua área redefinida e ampliada 16 anos depois.

Em 1945, o IFOCS teve o nome mudado para Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS que, em 1963, foi transformado em uma autarquia federal. Até o final da década de 1950, o DNOCS havia sido a única instituição governamental federal responsável pelo socorro às populações flageladas e executora de obras de engenharia na região, tendo construído açudes, estradas, pontes, portos, ferrovias, campos de pouso, hospitais e usinas hidrelétricas, além da implantação de redes de energia elétrica e telegráficas (CARVALHO, 2012).

A criação em 1952 do Banco do Nordeste do Brasil - BNB, e em 1959, da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE, representou um marco histórico, refletindo uma mudança de abordagem para o desenvolvimento regional da região semiárida. Antes da seca de 1958 e da criação da SUDENE em 1959, as ações do Estado no enfrentamento às secas eram predominantemente assistenciais e emergenciais,

enquanto que durante toda década de 60, estas ações passaram a ser acompanhadas de ações programadas e centralizadas no âmbito da SUDENE.

A SUDENE, autarquia com o objetivo de promover e coordenar o desenvolvimento da região, teve todo o Semiárido brasileiro como área de atuação definida, isto é, o norte de Minas Gerais e os estados do Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. O órgão também assumiu a responsabilidade pela realização de alterações na definição da área do "Polígono das Secas" (CABRAL, 2011).

No final da década de 50, surge também a primeira denúncia oficial da "indústria da seca", quando Antônio Callado publicou uma série de reportagens revelando que latifundiários da região estavam transformando os problemas decorrentes da seca em um grande negócio (CABRAL, 2011). A repercussão da calamidade oriunda da seca permitia a obtenção de investimentos públicos para a construção de açudes, sistemas de irrigação e estradas para a população rural. Entretanto, estas obras acabavam construídas em grandes propriedades privadas, excluindo os mais necessitados e atendendo a uma elite que as utilizava para fortalecer seu poder.

A partir de 1970, outros organismos federais além da SUDENE passam a implementar ações de enfrentamento à seca no Semiárido, havendo decisiva interferência das orientações dos organismos internacionais de financiamento. Estes tentaram impor programas tecnicamente bem elaborados, mas que muitas vezes fracassaram por traduzirem receitas importadas, que não eram baseadas na realidade e no contexto das zonas rurais do Semiárido brasileiro (CHACON, 2007).

Nesta época, buscava-se reduzir as diferenças socioeconômicas existentes entre o Nordeste e o Centro-Sul do país, com o desenvolvimento do setor industrial do Nordeste, o que fortaleceu a classe empresarial da região. Buscava-se também a modernização do setor agrícola, com os Programas de Desenvolvimento Rural Integrado - PDRIs, programas ligados à Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura - FAO, e financiados pelo Banco Mundial.

Apesar da queda nas grandes mortandades que caracterizaram muitas das secas dos séculos anteriores, os pequenos agricultores e a população rural de baixa renda continuavam a sofrer com as secas frequentes e ainda serviam como justificativa para as ações emergenciais e a manutenção da chamada ''indústria da seca''.

Muitos projetos com foco no desenvolvimento da região surgiram entre as décadas de 70 e 90, sendo os principais: (a) Programa de Redistribuição de Terras e Estímulos à Agroindústria do Norte e Nordeste - PROTERRA (1971); (b) Programa de Desenvolvimento de Áreas Integradas do Nordeste - POLONORDESTE (1974); (c) Programa Especial de Apoio ao Desenvolvimento da Região Semiárida do Nordeste - PROJETO SERTANEJO (1976); (d) Programa de Aproveitamento de Recursos Hídricos do Nordeste - PROHIDRO (1979); (e) Programa de Apoio às Populações Pobres das Zonas Canavieiras do Nordeste - PROCANOR (1980); e (f) Programa de Irrigação do Nordeste - PROINE (1986).

De modo geral, tais intervenções do Estado beneficiaram menos do que o esperado os trabalhadores rurais e contribuíram ainda mais para a manutenção das relações de produção existentes na região semiárida (CHALOULT, 1985). Esta situação se deu pelas seguintes razões: (a) os pequenos agricultores e os trabalhadores rurais não tiveram participação efetiva na elaboração, planejamento e execução destes programas; (b) não se atacou dois dos principais problemas da região, a estrutura fundiária e o acesso aos recursos hídricos por parte das populações mais necessitadas; e (c) Não havia uma verdadeira integração e articulação entre os diversos programas e instituições responsáveis.

Grande parte dos recursos era utilizada na burocracia das agências executoras (PARREIRAS, 2007) e o que restava para as ações finais, muitas vezes era desviado para os grandes proprietários de terra e aplicados para outras funções que não as originalmente planejadas e que beneficiariam os pequenos e médios agricultores e pecuaristas (FREITAS, 2010). Os principais beneficiados por estes programas, ao invés dos pequenos e médios produtores rurais, foram os grandes latifundiários da região, que, além dos recursos recebidos, detinham a mão de obra dos sertanejos nas frentes de serviço.

Na década de 80, seguindo apelos do Banco Mundial de integrar todos estes programas em um único programa de desenvolvimento rural, uma Comissão Interministerial foi criada, encarregada de articular as diversas instituições de fomento da região, definir diretrizes gerais e supervisionar o processo de elaboração desse novo projeto de desenvolvimento. Em 1985, foi criado o Programa de Desenvolvimento da Região Nordeste - PROJETO NORDESTE, que previa a execução de diversos

subprogramas, tais como o Programa de Apoio ao Pequeno Produtor – PAPP e os Projetos de Combate à Pobreza Rural – PCPRs (BRASIL, 1985).

Em 1994, foi criado o Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios - PRODEEM, coordenado pelo Ministério das Minas e Energia. Este tinha como objetivo o desenvolvimento energético, o resgate social e o aumento da cidadania para a população rural do país. Dentre seus objetivos, destacavam-se a instalação de microssistemas energéticos de produção e uso locais em comunidades carentes isoladas não servidas por rede elétrica, destinados a apoiar o atendimento das demandas sociais básicas e também o aproveitamento das fontes de energia descentralizadas aos pequenos produtores e às populações mais isoladas (BRASIL, 1994).

Este programa teve grande relevância na difusão da tecnologia solar fotovoltaica no meio rural do país, havendo instalado, de acordo com MME, o equivalente a 5 MWp de painéis fotovoltaicos para fins de bombeamento de água e de acesso à luz elétrica em aproximadamente 7.000 comunidades espalhadas por todo o Brasil (WEISS, 2017). Por tratar-se de um projeto pioneiro no uso desta fonte de energia, o programa apresentou diversas falhas, como a falta de planejamento e a má capacitação dos instaladores, permitindo um aprendizado e a realização de estudos e análises que propiciaram uma evolução nos procedimentos necessários para a implementação de sistemas fotovoltaicos em localidades isoladas do Semiárido brasileiro.

Na década de 90, após a redemocratização do país, organizações da sociedade civil e órgãos públicos de pesquisa e extensão, tais como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, e a Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural - Embrater, aprofundaram seus estudos na região, com a ideia de que era possível e necessário conviver com o Semiárido. Esta convivência deveria se dar por meio da difusão de tecnologias alternativas, da incorporação de conhecimentos locais, da utilização de espécies e variedades de culturas e animais resistentes às condições locais, e do aproveitamento dos potenciais econômicos e ecológicos que o próprio Semiárido oferece.

Em 1992, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, também conhecida como Eco-92, foi sediada no Rio de Janeiro. Esta Conferência sobre o Desenvolvimento Sustentável reuniu líderes mundiais em uma cidade da América Latina pela primeira vez na história e auxiliou no fortalecimento de

movimentos sociais que defendiam a preservação do meio ambiente e o combate mais intenso aos problemas gerados pelas desigualdades setoriais, sociais e regionais.

Em 1993, o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura - IICA e a Fundação Grupo Esquel Brasil - FGEB coordenaram a formulação do Projeto Áridas, que "desenvolveu um conceito de desenvolvimento sustentável ampliado para atender às especificidades do Nordeste desde a preservação de seus frágeis ecossistemas até a inclusão de questões relacionadas à pobreza, à debilidade institucional e à descontinuidade das Políticas Públicas de desenvolvimento" (BUARQUE, TAVARES, 2008).

O Projeto Áridas contou com a colaboração de diversas ONGs e recebeu recursos do Banco Mundial, resultando na publicação de cerca de 50 relatórios técnicos abordando as maiores problemáticas e propostas para a reorientação da ação do Governo Federal na região semiárida, com ênfase à questão da variabilidade climática e seus efeitos sobre a economia, a população e o meio ambiente. Uma das principais contribuições do projeto foi a elaboração de uma metodologia para a consolidação de um corpo de ideias e princípios que servissem como fundamento para futuros projetos de desenvolvimento sustentável na região do Semiárido brasileiro (MCKAUGHAN, 2008).

A metodologia de planejamento para o desenvolvimento sustentável desenvolvida no âmbito do Projeto Áridas apresentou uma componente técnica e outra participativa. A primeira deveria gerar estudos com informações descritivas, sugestão de indicadores de desenvolvimento sustentável e recomendações de estratégias para alcançar as metas estabelecidas, enquanto a segunda deveria reunir os resultados dos fóruns participativos, produzindo um quadro abrangente de planejamento com metas para o futuro e estratégias prioritárias. O elemento participativo se mostrou fundamental, pois permitiu a obtenção de legitimidade de todo processo aos olhos dos atores e partes interessadas.

Nesse contexto, pode-se dizer que o Projeto Áridas estabeleceu novas bases conceituais para as Políticas Públicas de convivência com o Semiárido, dando visibilidade às perspectivas de sustentabilidade e de participação social, e tornando-se referência para elaboração de políticas de desenvolvimento sustentável dentro da região. O Projeto Dom Hélder Câmara (2001) e o Programa Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca - PAN/Brasil (2004) constituem dois

exemplos bem sucedidos da aplicação desta metodologia participativa proposta pelo Projeto Áridas.

No final da década de 90, notava-se uma mudança de paradigma: o objetivo das Políticas Públicas não era mais de combater a seca, mas de desenvolver e de apropriar técnicas e conhecimentos para a convivência com a mesma. Não se tratava mais apenas de programas emergenciais e de ações de combate à pobreza. Buscava-se o desenvolvimento sustentável com base na convivência com qualidade de vida no Semiárido brasileiro (SILVA, 2003).

Neste mesmo período, ocorria no país um processo de reforma do Estado, com o discurso de ter como objetivo o redirecionamento de sua ação reguladora na economia de mercado e na área social com intuito de alcançar qualidade e produtividade do serviço público, buscando o controle dos resultados e baseando-se na descentralização. A reforma foi caracterizada pelo ajuste fiscal, abertura comercial, privatização de empresas estatais e flexibilização do mercado de trabalho. O setor privado e as organizações não governamentais - ONGs passaram a ter cada vez mais poder de atuação, enquanto o Estado passou a ter um caráter menos intervencionista e mais regulador. Decidiu transferir as responsabilidades para o mercado e o chamado "terceiro setor", e repassou os recursos públicos para o âmbito privado.

A Constituição Federal de 1988, ao estabelecer princípios para a prática da democracia participativa, trouxe grande crescimento para o campo de ação da cidadania e do controle social. Em 1997, com a promulgação da Lei nº 9.433, também conhecida como ''Lei das Águas'', foi estabelecida uma nova política para os recursos hídricos que buscou a descentralização dos processos decisórios por meio do fortalecimento das práticas de participação social e a criação de Comitês de Bacia[8], isto é, espaços para "promover o debate das questões relacionadas a recursos hídricos e articular a atuação das entidades intervenientes" (BRASIL, 1997).

[8] Os Comitês de Bacia são órgãos colegiados consultivos e deliberativos de gerenciamento, que possibilitam uma maior participação no processo de negociação entre as diferentes demandas sociais. Os comitês devem contar com a participação de representantes do governo, da sociedade civil e dos usuários de água, e devem atuar como fórum de decisão no âmbito de cada bacia hidrográfica, que passa a ser considerada a unidade territorial para o planejamento, gerenciamento e implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Iniciado em 1998, o Programa de Desenvolvimento Sustentável de Recursos Hídricos para o Semiárido Brasileiro - PROÁGUA/Semiárido foi um projeto que desenvolveu ações estruturantes e promoveu o fortalecimento das instituições envolvidas com a gestão de recursos hídricos na região do Semiárido brasileiro. Segundo a ANA, este Programa buscou "garantir a ampliação da oferta de água de boa qualidade, com a promoção do uso racional desse recurso, de tal modo que sua escassez relativa não continue a constituir impedimento ao desenvolvimento sustentável da região" (ANA, 2005b).

O PROÁGUA/Semiárido seguiu uma filosofia de ações descentralizadas e de gestão participativa, tendo como objetivo principal o de melhorar a distribuição e o acesso à água de qualidade às populações mais vulneráveis do Semiárido. Como resultados, beneficiou cerca de 930.000 habitantes por meio da construção de sistemas simplificados de abastecimento de água, proporcionou a redução da mortalidade infantil e da incidência de doenças causadas pela contaminação das águas nas comunidades beneficiadas, forneceu treinamentos e elaborou diversos estudos ambientais e de disponibilidade hídrica na região. Cabe ressaltar que aproximadamente metade da população beneficiada pelas ações do PROÁGUA/Semiárido vivia em comunidades isoladas ou em pequenas aglomerações urbanas de 20 a 50 mil habitantes do Semiárido, onde cerca de 50% das famílias sobreviviam com renda às populações às populações às populações mensal menor do que um salário mínimo (ANA, 2005b). O êxito do PROÁGUA/Semiárido foi evidente, tanto que, em 2006, o Programa foi expandido para o restante do país, com o PROÁGUA/Nacional.

No início dos anos 2000, no campo do saneamento rural, surgem no Nordeste programas com parcerias governamentais, instituições financeiras internacionais e companhias de saneamento, em que os sistemas de água e esgoto implantados deveriam ser gerenciados pelas associações de moradores locais. Os programas pioneiros foram o Sistema Integrado de Saneamento Rural - SISAR, no Ceará, e a Central de Associações Comunitárias para Manutenção de Sistemas de Abastecimento de Água - CENTRAL, na Bahia. Logo se seguiram o Programa Saúde e Saneamento Básico - PROSAR, no Piauí, e o Programa de Apoio ao Desenvolvimento Sustentável à Zona da Mata de Pernambuco - PROMATA. Todos estes programas visavam não somente a expansão dos serviços de saneamento, mas também novas formas de organização da população, com o estímulo ao

processo participativo e à criação, organização e desenvolvimento das associações de moradores.

A Lei n°11.445 de janeiro de 2007, também conhecida como ‘’Lei do Saneamento Básico’’, além de reconhecer o saneamento básico como um dever da União, autorizou e previu a prestação dos serviços públicos de saneamento básico por cooperativas ou associações em localidades “*de pequeno porte, predominantemente ocupadas por população de baixa renda, onde outras formas de prestação apresentem custos de operação e manutenção incompatíveis com a capacidade de pagamento dos usuários*” (BRASIL, 2007a).

Desta forma, ganhou cada vez mais força o novo paradigma para as Políticas Públicas do Semiárido, que indicava não mais o “combate à seca”, mas a convivência com a mesma, por meio de um envolvimento maior da sociedade civil. Diversas ONGs, como a Diaconia, a Cáritas Diocesana e a Articulação do Semiárido Brasileiro - ASA, que é um fórum englobando mais de mil entidades da sociedade civil organizada, desenvolveram em parceria com o poder público um conjunto de experiências para a obtenção, acesso e estocagem de água para consumo humano, produção de alimentos, uso doméstico e dessedentação animal.

Todas estas ações descritas tiveram como base as ideias agrupadas na Declaração do Semiárido - DSA, documento elaborado por organizações integrantes da ASA durante a Terceira Conferência das Nações Unidas de Combate à Desertificação - COP3, realizada em Recife no ano de 1999, e que teve como um de seus fundamentos a atuação da sociedade civil, o manejo sustentável dos ecossistemas e a quebra do monopólio da terra, água e meios de produção.

Em 2005, sob a coordenação do Ministério da Integração Nacional - MI, foi lançado o Plano Estratégico de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido - PDSA, responsável por realizar diagnósticos dos problemas encontrados no Semiárido, resumir as ações e programas executados e apresentar o panorama das ações em andamento na região.

O PDSA buscava articular as diversas ações derivadas de distintos Projetos e Programas destinados ao Semiárido, tendo como objetivo geral o crescimento econômico regional sustentável da região, com inclusão social e redução das desigualdades entre o Nordeste Semiárido e o restante do país. Este plano integrado

também buscou discutir a questão do financiamento e a importância do acompanhamento contínuo das ações que integravam as Políticas Públicas estabelecidas no Semiárido brasileiro (BRASIL, 2005).

O Programa de Desenvolvimento Integrado e Sustentável do Semiárido - CONVIVER foi lançado nesta mesma época, com o objetivo de "*diminuir a vulnerabilidade da região, aumentando sua autonomia mediante a inserção produtiva de seus habitantes de forma sustentada e articulada com ações de combate à pobreza, de promoção de segurança alimentar e de infraestrutura hídrica*" (BRASIL, 2009a). Este programa teve como estratégia de implementação a criação de instâncias locais para a definição de prioridades, fiscalização e avaliação sobre os resultados dos subprogramas.

O governo Lula, que teve início em 2003, lançou e/ou fortaleceu inúmeras Políticas Públicas coordenadas pelo governo federal, de gestão descentralizada e compartilhada, dando continuidade ao combate à miséria da população rural, no contexto da convivência com o Semiárido brasileiro. Destacam-se, dentre as principais Políticas Públicas lançadas: (a) o Programa Bolsa Família; (b) o Programa de Aquisição de Alimentos - PAA; (c) o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar - PRONAF; e (d) o Programa Luz para Todos.

Criado em 2004, o Bolsa Família é um programa de transferência direta de renda que beneficia famílias em situação de pobreza e de extrema pobreza em todo o país. A transferência de renda reduz a pobreza, enquanto os condicionantes para o repasse reforçam o acesso a direitos sociais básicos nas áreas da educação, saúde e assistência social. Ações e programas complementares buscam propiciar aos beneficiários a conseguir superar a situação de vulnerabilidade. O Programa Bolsa Família foi criado com o intuito de unificar os procedimentos de gestão e execução das ações de transferência de renda de programas anteriores criados entre os anos de 2001 e 2003, como o Programa Nacional de Renda Mínima vinculada à Educação - Bolsa Escola, o Programa Nacional de Renda Mínima vinculada à Saúde - Bolsa Alimentação, o Programa Nacional de Acesso à Alimentação - PNAA e o Programa Auxílio-Gás.

Criado em 2003, o Programa de Aquisição de Alimentos – PAA buscou promover a inclusão social e econômica no campo por meio do fortalecimento da agricultura familiar e do acesso a alimentos em quantidade, qualidade e regularidade necessárias às famílias em situação de insegurança alimentar. Este programa beneficiou

tanto fornecedores quanto consumidores de alimentos da região, pois a aquisição de alimentos era feita diretamente de agricultores familiares, estimulando os processos de agregação de valor à produção.

Criado em 1996, o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar - PRONAF buscou financiar projetos individuais ou coletivos que gerassem renda aos agricultores familiares, por meio da aplicação de taxas de juros baixas. Tais financiamentos eram destinados ao custeio da safra, atividades agroindustriais, maquinário ou infraestrutura. Um de seus principais componentes foi a conhecida "Garantia-Safra", seguro para agricultores familiares com baixa renda familiar mensal que garantia uma renda mínima às famílias que perdessem sua safra por motivo de seca ou excesso de chuvas.

Criado em 2003, o Programa Luz para Todos teve como objetivo a universalização do acesso e uso da energia elétrica no campo, dando fim à exclusão elétrica no país e beneficiando milhões de pessoas do meio rural brasileiro. Partindo do princípio de que o acesso à energia elétrica é um vetor de desenvolvimento social e econômico, o programa contribuiu para a redução da pobreza e o aumento da renda familiar, facilitando a integração dos programas sociais do governo federal, além do acesso à serviços de saúde, educação, abastecimento de água e saneamento. Muitos dos beneficiados recebiam desconto de 100 % na tarifa de energia, enquanto os demais eram beneficiados por uma ''Tarifa Social'', de acordo com o consumo de energia. Uma atenção especial foi destinada às populações que viviam de forma isolada. Propiciar a implantação de sistemas de bombeamento de água para consumo próprio e irrigação de cultura de subsistência também foram grandes benefícios do Luz para Todos.

Para que todos estes Programas de elevação da renda e erradicação da pobreza fossem bem sucedidos, era de fundamental importância que se garantisse o suprimento sustentável de água da população nesta região.

No caso específico do Semiárido, além do aproveitamento de mananciais subterrâneos e da construção de grandes açudes, existem uma serie de alternativas de aproveitamento de mananciais que permitam oferecer segurança hídrica para as populações. Destacam-se, dentre elas: (a) a captação e estocagem da água de chuva em cisternas rurais; (b) a construção de barragens subterrâneas em áreas de baixio e leitos de riachos, garantindo a presença de água nos meses secos; (c) a construção de barragens sucessivas no leito de rios, permitindo aumentar o nível de água nos poços

escavados nos baixios próximos, ou até mesmo a perenização de rios temporários; (d) a implantação de barreiros-trincheira de lona, de maneira a reservar água destinada à irrigação de plantios de pequena escala e dessedentação animal; ; e (e) a construção de pequenos açudes sucessivos, conhecidos como "barraginhas", de maneira à segurar a água das enxurradas e garantir sua infiltração no solo (ASA, 2008).

Desde o início dos anos 2000, diversas Políticas Públicas para o abastecimento de água da população rural do Semiárido foram criadas. Destacam-se, dentre elas: (a) o Programa Um Milhão de Cisternas - P1MC; (b) o Programa Uma Terra e Duas Águas - P1+2; (c) o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Água - Água para Todos; (d) o Programa de Desenvolvimento do Setor Água - INTERÁGUAS; e (f) o Programa Água Doce - PAD (ASA, 2008).

- **Programa Um Milhão de Cisternas - P1MC**

O Programa Um Milhão de Cisternas - P1MC resultou de uma proposta elaborada pela ASA, em 1999, para a construção de cisternas de placas para o armazenamento da água de chuva captada nos telhados das residências. Em 2003, o programa ganhou representação ao ser financiado pelo Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome - MDS.

Cada cisterna possui uma capacidade de armazenamento de 16.000 litros, volume necessário para abastecer uma família de até cinco pessoas durante o período de seca. Cada sistema tem um custo médio de cerca de R$ 2.800,00 (BRASIL, 2013a)[9] e é construído com placas de cimento pré-moldadas feitas pela própria comunidade. Como contrapartida, as famílias beneficiadas ajudam na construção, que é feita por pedreiros locais, formados e capacitados pelo P1MC.

O P1MC tem como meta de beneficiar com água potável para beber e cozinhar cerca de cinco milhões de pessoas da região semiárida, formando uma infraestrutura descentralizada de abastecimento com capacidade para 16 bilhões de litros de água. O público alvo do programa são as famílias residentes de forma permanente na área rural,

[9] No mesmo número do Diário Oficial da União (Nº 240, publicado em 11 de dezembro de 2013), estão publicadas também instruções operacionais que trazem os seguintes custos médios para outras Tecnologias Sociais de Acesso à Água: Cisterna Calçadão de 52 mil litros = R$ 12.400,00; Barreiro Trincheira Familiar = R$ 8.250,00; Barragem Subterrânea = R$ 13.400,00.

com renda até meio salário mínimo por membro da família, que não tenham acesso ao sistema público de abastecimento de água e estejam inscritas no Cadastro Único para Programas Sociais do Governo Federal.

A execução do P1MC é coordenada pela ASA, em parceria com o governo federal, governos estaduais e municípios, além de agências de cooperação, empresas privadas, pessoas físicas e ONGs, como a Diaconia. Além de promover a democratização do acesso à água, o P1MC busca provocar mudanças sociais, sanitárias, políticas e econômicas na região semiárida, como a diminuição da incidência de doenças como verminoses e diarreias, o fim da necessidade das pessoas caminhar grandes distâncias em busca de água e mesmo o fortalecimento da autoestima e a cidadania da população.

Além da construção das cisternas, são necessários cuidados no que diz respeito à qualidade da água armazenada. Nesse sentido, Agentes Comunitárias de Saúde do município são responsáveis por darem apoio e orientação à população no que tangente às limpezas e manutenção periódicas. O procedimento ideal sugere a realização do descarte da primeira descarga, jogando-se fora os primeiros litros de água de chuva coletados após os períodos de estiagem, assim como um processo de filtração antes do tratamento da cloração, de maneira a evitar a presença de matéria orgânica na água.

De 2003 até setembro de 2021, foram construídas cerca de 630 mil cisternas de 16.000 litros financiadas pelo MDS, beneficiando um total de mais de 1,5 milhões de habitantes do Semiárido (ASA, 2021). Em 2012, o P1MC passou a integrar o Programa Água para Todos, do Ministério da Integração Nacional (MI).

- **Programa Uma Terra e Duas Águas - P1+2**

O Programa Uma Terra e Duas Águas - P1+2 foi criado no ano de 2007 com o objetivo de promover a segurança alimentar e nutricional, assim como a geração de empregos às famílias agricultoras, por meio do acesso e manejo sustentáveis da terra e da água para produção de alimentos. O P1+2 é uma realização da ASA, em parceria com o Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome - MDS e tem também como princípio fomentar a construção de processos participativos de desenvolvimento rural no Semiárido brasileiro. O próprio nome do programa já traz seus conceitos principais, a terra para produção e o abastecimento por dois tipos de água: – a água potável, para consumo humano e a água para produção de alimentos.

As famílias a serem atendidas pelo programa são escolhidas de acordo com uma série de critérios sociais, além da verificação de características locais como solo e formação rochosa, tipo de produção e formas de manejo. O P1+2 pode ser considerado uma segunda fase do P1MC, em que as cisternas de 16 mil litros servem para a "primeira água", água para consumo humano, enquanto a "segunda água' refere-se àquela da produção na lavoura e da dessedentação animal.

O P1+2 prevê também a construção de cisternas-calçadão, com capacidade de armazenar 52 mil litros de água de chuva e, dependendo das condições locais, de outras opções para o fornecimento de água para a produção, tais como barragens subterrâneas, cisternas-enxurrada barraginhas, bombas d'água populares, barreiros-trincheira e tanques de pedra ou caldeirão (ASA, 2008). O programa conta também com ações de intercâmbios entre agricultores e técnicos de diferentes localidades, capacitação de pedreiros das comunidades e sistematização do conhecimento por meio de um processo coletivo de recuperação e registro de práticas locais de convivência com o Semiárido.

De 2007 até setembro de 2021, o P1+2 construiu 14.113 mil cisternas-calçadão, 1.575 cisternas- enxurrada, 660 barragens subterrâneas, 631 tanques de pedra, 502 bombas d'água popular, 2.214 barreiros-trincheira e 963 barraginhas (ASA, 2021). Em 2012, o P1+2 passou a integrar o Programa Água para Todos, do Ministério da Integração Nacional (MI).

- **Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Água - Água para Todos**

Criado em 2011 como parte integrante do Programa do Governo Federal conhecido como Plano Brasil Sem Miséria, o Programa Água para Todos consiste em um conjunto de ações preventivas e corretivas contra a seca, objetivando universalizar o acesso e uso da água à população em situação de extrema pobreza (BRASIL, 2011c).

O Programa Água para Todos, ao incorporar e fortalecer os Programas P1MC e P1+2, busca acelerar a universalização do acesso à água em zonas rurais por meio da instalação de cisternas, sistemas simplificados de abastecimento de água, kits de irrigação e barreiros, dependendo das especificidades de cada região.

O Água Para Todos dá continuidade às ações e segue os requisitos dos programas P1MC e P1+2, com a diferença da opção pela utilização de cisternas de polietileno.

Apesar desta opção implicar em um menor envolvimento das comunidades na implantação dos sistemas, a justificativa é de que as cisternas de polietileno são mais duráveis, de instalação mais rápida, e possibilitam um maior número de instalações do que seria possível fazer apenas com as cisternas de placas. Em contrapartida, seu custo é quase o dobro do das cisternas de placas, ficando por volta de R$ 5.000,00, considerando-se a instalação completa.

A gestão do programa, que conta com recursos federais, estaduais e de organismos internacionais de financiamento, é realizada pelo MDS, MMA, MCIDADES, Fundação Banco do Brasil - FBB, Ministério da Saúde - MS, Fundação Nacional da Saúde - FUNASA, ANA e Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba - CODEVASF, com a coordenação da Secretaria de Desenvolvimento Regional do Ministério da Integração Nacional - SDR/MI.

- **Programa de Desenvolvimento do Setor Água - INTERÁGUAS**

O Programa de Desenvolvimento do Setor Água - INTERÁGUAS foi criado em 2012 para melhorar a articulação e coordenação das ações relacionadas à questão hídrica no país, com foco no planejamento, gestão, fortalecimento institucional e elaboração de estudos e projetos. Apesar de possuir abrangência nacional, o programa destina atenção especial para "*áreas onde as questões da vulnerabilidade dos pobres à água e os riscos são maiores, especialmente no Nordeste"* (ANA, 2010).

O INTERÁGUAS contou com recursos do Banco Mundial, e parcerias entre o MMA, o Ministério das Cidades – MCIDADES, o MIN e a ANA. Para cumprimento de seus objetivos, o Programa foi estruturado em cinco componentes, sendo estes: (a) Gestão de Recursos Hídricos; (b) Água, Irrigação e Defesa Civil; (c) Abastecimento de Água e Saneamento; (d) Coordenação Intersetorial e Planejamento Integrado; e (e) Gerenciamento, Monitoramento e Avaliação (ANA, 2010). (BRASIL, 2012b). Dentre estes, o 3ºcomponente - Abastecimento de Água e Saneamento é o que prevê ações mais diretamente relacionadas ao saneamento e à problemática da universalização do acesso à água, como a elaboração de projetos de saneamento, estudos de abordagem inovadora para expansão dos serviços em áreas carentes, divulgação de boas práticas e disseminação tecnológica.

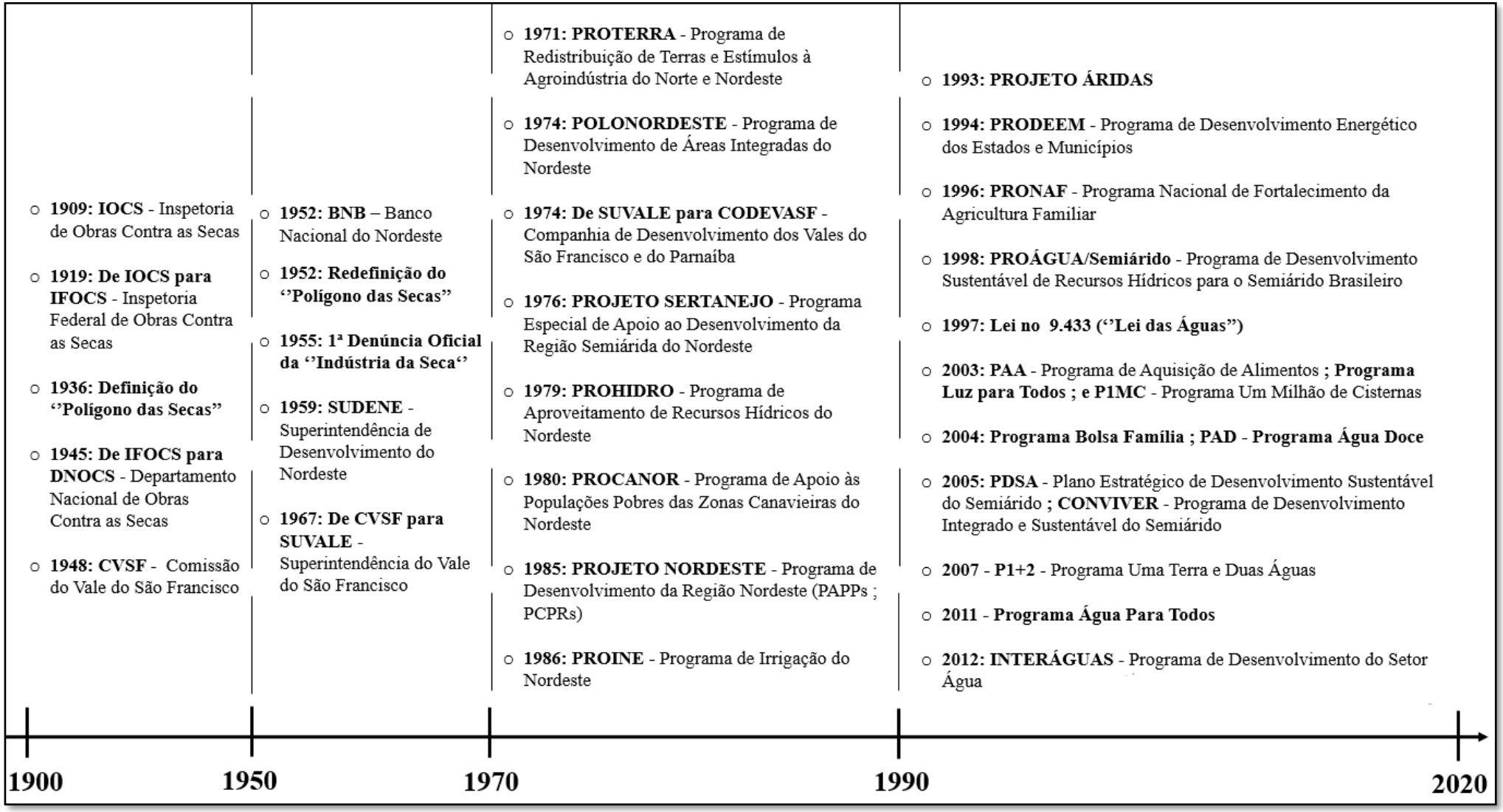


Figura 16 – Histórico de Políticas Públicas de Convivência com o Semiárido Brasileiro Implementadas nos Séculos XX e XXI.

Fonte: Elaboração do próprio autor, 2020

3.5 PROGRAMA ÁGUA DOCE

3.5.1 SOBRE O PROGRAMA

Desde o início da década de 90, diversos estudos e experimentos sobre dessalinização foram realizados na região semiárida, tendo em vista o manancial considerável de águas subterrâneas da região e o elevado teor de sais presentes nas mesmas. Formulado em 1996 e sob coordenação da Universidade de Campina Grande - UFCP, o Programa "Água Boa" foi uma tentativa neste sentido. O Programa instalou cerca de 2.000 dessalinizadores em comunidades rurais do Semiárido, com o objetivo de aproveitar os poços com águas salinas e salobras. Entretanto, devido à falta de manutenção e custeio, assim como de um modelo de gestão adequado à tecnologia escolhida, grande parte destes sistemas quebraram, sendo abandonados pela população.

Percebendo a falta de integração e a dificuldade de implementação enfrentada por esta iniciativa, o MMA, em parcerias com Embrapa, BNDES, UFCP, FBB, DNOCS, Serviço Geológico do Brasil - CPRM e outras instituições, elaborou em 2003 uma metodologia para que as tecnologias de dessalinização tivessem maior êxito na região.

Lançado em 2004, o PAD é uma ação do Governo Federal, coordenada pelo Ministério do Desenvolvimento Regional - MDR em parceria com empresas, instituições federais, estaduais, municipais e sociedade civil, que visa estabelecer uma Política Pública permanente de acesso à água de qualidade para o consumo humano por meio do aproveitamento sustentável de águas subterrâneas. Para tal, incorpora cuidados técnicos, ambientais e sociais na implantação e gestão de sistemas de dessalinização por Osmose Inversa de pequeno porte para atender, prioritariamente, as populações de baixa renda em localidades difusas do Semiárido brasileiro (BRASIL, 2012a).

Um dos principais diferenciais do PAD é a forma participativa pela qual o Programa foi concebido, contando com uma rede de cerca de 200 instituições envolvidas, e unindo participação social, proteção ambiental, envolvimento institucional e gestão comunitária local. Para tal, o Programa é estruturado em seis componentes principais: (a) Gestão; (b) Pesquisa e Desenvolvimento; (c) Mobilização Social; (d) Sistemas de Dessalinização; (e) Sustentabilidade Ambiental; e (f) Sistemas de Produção Integrado.

O PAD é executado por meio de parcerias com todos os estados do Semiárido brasileiro, isto é, Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco,

Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. São dez convênios firmados (um para cada estado), conhecidos como Planos Estaduais, com o objetivo de garantir a troca de saberes, boas práticas e soluções para lidar com aspectos locais e regionais. Os recursos para execução dos convênios foram obtidos do Orçamento Geral da União, destinados no âmbito do Plano Brasil Sem Miséria que, em 2011, era coordenado pelo Ministério do Desenvolvimento Social – MDS. Além dos recursos da União, cada estado aportou uma contrapartida legal de dez por cento do valor total do projeto, em conformidade com a Lei Orçamentária Anual.

O PAD se fundamenta nas seguintes premissas básicas no contexto mundial e nacional: (a) A Resolução das Nações Unidas A/RES/64/292, de 28 de julho de 2010, que declara o acesso à água de qualidade como um direito de todos; (b) O cumprimento dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030, em especial o ODS 6, que visa garantir disponibilidade e gerenciamento sustentável de água e saneamento para todos; (c) A Política Nacional de Recursos Hídricos (Le Federal 9.433/1997), que visa garantir às gerações atuais e futuras a disponibilidade necessária de água, em padrões adequados aos respectivos usos; (d) A Política Nacional de Mudanças Climáticas (Lei Federal 12.187/2009) que visa, entre outros objetivos, implementar medidas que promovam a adaptação às mudanças do clima, principalmente em locais de grande vulnerabilidade; e (e) A Política Nacional de Combate à Desertificação e a Mitigação dos Efeitos da Seca (Lei Federal n°13.153/2015), que visa, entre outros objetivos, promover a segurança ambiental, alimentar e hídrica em áreas suscetíveis à desertificação.

Entre os anos de 2005 e 2009, o PAD passou por sua fase de consolidação. Dentre outros objetivos, buscou-se a descentralização da operação, de forma a estimular a participação dos estados nas atividades do Programa e o desenvolvimento de estudos que aprofundassem o conhecimento da utilização de equipamentos de dessalinização e aproveitamento do rejeito no Semiárido brasileiro. O apoio da Embrapa Semiárido (CPATSA) foi fundamental para a realização destas pesquisas.

As principais atividades desenvolvidas nesta primeira etapa de consolidação do PAD foram: (a) estruturação das coordenações estaduais; (b) execução de atividades de mobilização social e sustentabilidade ambiental; (c) capacitação de técnicos nos estados e de operadores nas comunidades; (d) compra de equipamentos; (e) otimização

de sistemas produtivos; (f) implantação de unidades demonstrativas; e (g) celebração de convênios.

A partir de 2011, em razão dos bons resultados obtidos com os primeiros projetos implantados, o PAD entrou em sua fase de escala, ganhando mais visibilidade e apoio, e passando a fazer parte do Programa ‘’Água Para Todos’’, no âmbito do Plano Brasil Sem Miséria, por meio do Decreto nº 7535, de 26 de julho de 2011, com recursos do Plano Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional - PLANSAN. A partir de então foram implementados os Planos Estaduais do PAD, e o programa foi institucionalizado por meio de decreto dos governadores, que também instituíram os núcleos de gestão e as coordenações estaduais.

Após reforma administrativa do Governo Federal, ocorrida em 2019, toda a agenda de água foi transferida do MMA para o MDR, por meio da Lei nº 13.844, de 18 de junho de 2019. Neste contexto, o Departamento de Recursos Hídricos e Revitalização de Bacias Hidrográficas - DRHB, da Secretaria Nacional de Segurança Hídrica, passou a coordenar o PAD.

A proposta de inovação do PAD é sustentada por princípios de orientação na gestão de bens comuns em comunidades, gerando uma forma diferente de planejar e executar políticas públicas que envolvam o fornecimento de bens e serviços à população. O Estado permanece presente após a entrega do objeto, monitorando e participando da gestão para garantir os resultados propostos. Isto só é possível com a criação de estruturas permanentes de gestão fortalecidas por um arranjo institucional bem construído e que tenha a participação efetiva de todos os atores.

3.5.2 ARRANJO INSTITUCIONAL

O arranjo institucional do PAD (Figura 17) é repartido em esferas municipal, estadual e federal, por meio de Núcleos Locais de Gestão, Núcleos Estaduais de Gestão e um Núcleo Nacional de Gestão, respectivamente. Importante citar o papel imprescindível dos parceiros do Programa, tanto no âmbito de Pesquisa e Desenvolvimento, como é o caso da Embrapa Semiárido e da UFCP, como no âmbito financeiro, com as parcerias firmadas entre MDR e BNDES, Petrobrás, FBB, Codevasf, MDS, dentre outros.

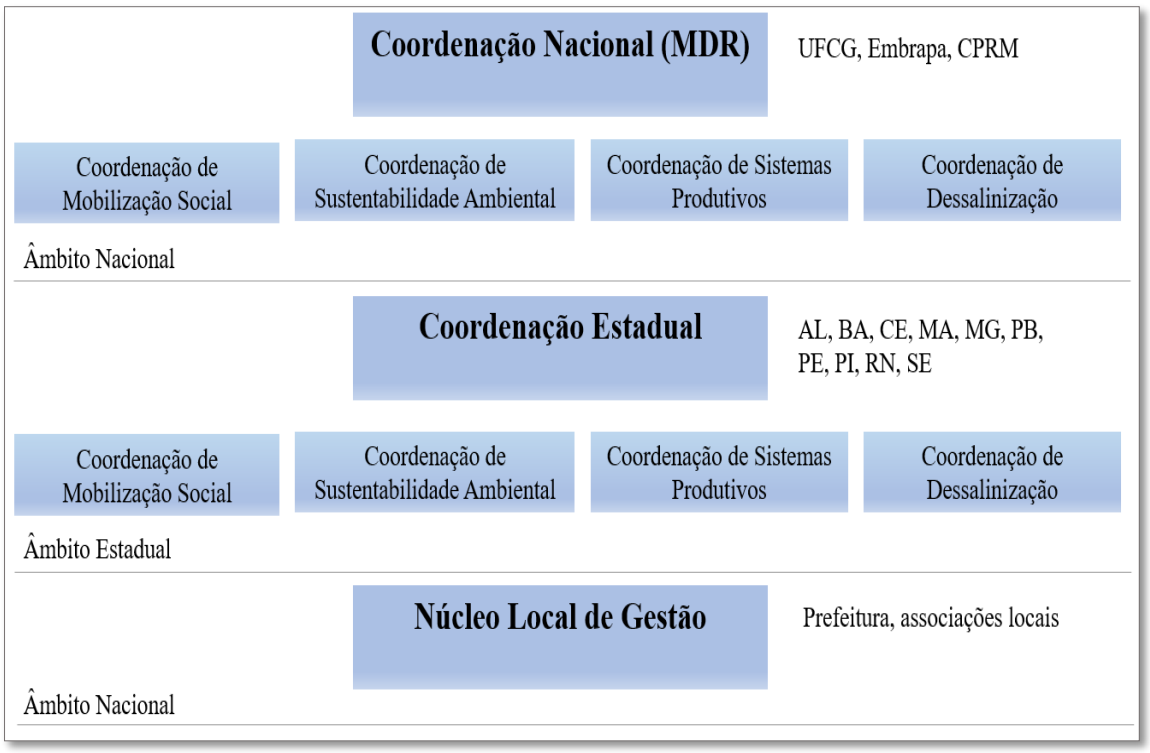


Figura 17 - Representação esquemática do arranjo institucional do PAD.

Fonte: BRASIL, 2012a

O Núcleo Nacional de Gestão é a instância máxima de direção e orientação das ações do Programa e tem caráter deliberativo. É coordenado pela Secretaria Nacional de Segurança Hídrica do Ministério de Desenvolvimento Regional, por meio do Departamento de Recursos Hídricos e Revitalização de Bacias Hidrográficas - DRHB.

O Núcleo Nacional de Gestão é responsável pela coordenação, supervisão e gerenciamento das ações do Programa, tendo como principais atribuições e competências: (a) Ratificar o documento base de diretrizes do Programa; (b) Ratificar os Planos Estaduais de Gestão e Implementação do Programa; (c) Aprovar e acompanhar a execução dos planos plurianuais e anuais de investimentos do Programa; (d) Definir a participação de outras instituições no Programa; (e) Zelar pela participação dos interessados no Programa e Políticas Públicas relacionadas; e (f) Promover a articulação intra e intergovernamental de Políticas relacionadas ao tema.

Os Núcleos Estaduais de Gestão são as instancias máximas de decisão em cada um dos dez estados beneficiados pelo PAD. Estes possuem caráter deliberativo e são coordenados pelo órgão de recursos hídricos de cada estado ou outra entidade afim, a critério de cada Governo Estadual. São constituídos pelo conjunto de representações de

órgãos federais, estaduais, municipais, organizações não governamentais, universidades, associações técnico-cientificas, comunitárias e de produtores rurais. Devem ter estrutura mínima de um representante de cada segmento e apresentam as seguintes atribuições e competências: (a) Supervisão geral, avaliação e andamento do Programa no estado; (b) Supervisionar, coordenar e acompanhar a elaboração do Plano Estadual de Gestão e Implementação do Programa, assim como dos planos plurianuais e anuais de investimentos do Programa; (c) Delegar funções e atribuições entre os elementos pertencentes à estrutura institucional, como, por exemplo, a Coordenação Estadual; e (d) Definir a participação de outras instituições no Programa no estado.

Os Núcleos Locais de Gestão são constituídos nas localidades selecionadas para serem beneficiadas pelo Programa e têm por objetivo de orientar a sustentabilidade ambiental e social de implementação do Programa. Caso já exista uma associação ou conjunto de associações que assumam este papel, estes serão considerados o Núcleo Local de Gestão a partir da deliberação da própria comunidade. Possui como principais atribuições e competências: (a) Promover e acompanhar a gestão, visando a sustentabilidade dos sistemas de dessalinização; (b) Realizar reuniões periódicas para avaliação do andamento do sistema local e, se necessário, propor ações e encaminhamentos; (c) Elaborar relatório simplificado e encaminhar à Coordenação Estadual responsável; (d) Definir a localização dos sistemas; e (e) Deliberar e zelar pelo bom cumprimento dos Acordos de Gestão Compartilhada, prevendo adequações e ajustes, quando necessários.

3.5.3 RESULTADOS OBTIDOS E ESPERADOS

O PAD, que totalizava em dezembro de 2020 investimentos da ordem de R$ 330 milhões, tem como meta de fornecer água de qualidade para meio milhão de habitantes em 1200 comunidades rurais da região semiárida até 2025, conforme indicado pela

Tabela 5.

Como resultados alcançados, até julho de 2021, o PAD havia diagnosticado 3.963 comunidades, em 338 dos municípios mais críticos da região semiárida brasileira. Foram cerca de 2600 operadores capacitados e 891 sistemas de dessalinização em funcionamento, distribuídos entre os 10 estados do Semiárido, sendo: 94 unidades em funcionamento em Alagoas, 286 na Bahia, 252 no Ceará, 93 na Paraíba, 39 no Piauí, 98

no Rio Grande do Norte, e 29 em Sergipe. O Estado de Pernambuco deu início à etapa de implantação, manutenção e monitoramento dos sistemas, enquanto que os convênios dos estados de Minas Gerais e Maranhão encontram-se em fase de diagnóstico (BRASIL, 2020).

Considerando a vazão mínima de aproximadamente 1.000 litros/hora como referência para utilização de um poço profundo para abastecer um unidade do PAD, um sistema do Programa possui potencial para produzir até 4.000 litros de água dessalinizada por dia, permitindo atender até 400 pessoas residentes de comunidades rurais com 10 litros de água potável por dia por pessoa (BRASIL, 2020).

Até julho de 2021, o Programa apresentava uma capacidade instalada para produzir cerca de 3,5 milhões de litros de água potável por dia, atendendo diretamente 214 mil habitantes da região com água de qualidade (BRASIL, 2020).

Tabela 5 – Programa Água Doce: Apresentação, Resultados e Perspectivas Futuras.

PROGRAMA ÁGUA DOCE – PAD	
Objetivo:	Garantir de forma contínua e permanente acesso à água de qualidade para o consumo humano por meio do aproveitamento sustentável de águas subterrâneas. Para tal, incorpora cuidados técnicos, ambientais e sociais na implantação e gestão de sistemas de dessalinização por Osmose Inversa de pequeno porte para atender, prioritariamente, populações de baixa renda em localidades difusas do Semiárido brasileiro.
Meta:	Até 2025, fornecer água de qualidade para 500.000 habitantes em 1200 comunidades rurais da região semiárida.
Órgão Gestor e Parcerias:	Ação do Governo Federal, coordenada pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) em parceria com empresas, instituições federais, estaduais, municipais e sociedade civil[10].
Raio de Ação:	Semiárido brasileiro (Estados do Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe).

[10] Agência Nacional de Águas (ANA); Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES); Embrapa Semiárido; Embrapa Meio Ambiente; Fundação Banco do Brasil; Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ); Petrobras; Serviço Geológico do Brasil (CPRM); Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (dnocs); Instituto Nacional do Semiárido (INSA); Universidade Federal de Campina Grande (UFCG); dentre outros.

Unidade de Dessalinização:	- Sistema de Dessalinização por Osmose Inversa; - Potencial para produzir até 4.000 litros/dia/dessalinizador; e - 400 pessoas para cada dessalinizador, abastecidas com 10 litros/dia cada.
Investimentos até Julho 2021:	~ R$ 330 Milhões (equivalendo a uma média de R$1540,00 investidos por pessoa diretamente atendida pelo Programa).
Resultados alcançados até Julho 2021:	- 3.963 comunidades diagnosticadas em 338 municípios do Semiárido; - 891 sistemas de dessalinização em funcionamento; - 2600 operadores capacitados; - Capacidade instalada para produzir cerca de 3,5 milhões de litros de água potável por dia; e - 214 mil habitantes diretamente atendidos com água de qualidade.
Novos Desafios:	- Aprimorar o processo de implementação dos sistemas (instalação, gestão e monitoramento); - Avançar na utilização de energias renováveis para alimentar os sistemas de dessalinização; e - Avançar na utilização da agricultura biossalina para formação dos Sistemas Integrados de Dessalinização (água dessalinizada/irrigação/dessedentação animal).

Fonte: BRASIL, 2020

A nova fase do Programa foi iniciada em 2020 com a atualização dos planos estaduais para o período 2020-2029. Em 2020 , foi também lançada a primeira etapa do Programa Nacional de Formação Profissional para Operação e Manutenção de Sistemas de Dessalinização, voltado especialmente para as comunidades beneficiadas pelo Programa. A iniciativa envolve o MDR e o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação – MCTIC (BRASIL, 2020).

Como perspectivas, há o desafio de avançar na utilização de energias renováveis para alimentar os sistemas de dessalinização, a exemplo do projeto piloto de energia solar fotovoltaica implantado no município de João Câmara (RN). Por último há a possibilidade de avançar na utilização da agricultura biossalina[11], por meio de Unidades

[11] Técnica que utiliza a água salobra para fins de irrigação. Esta técnica é comumente associada a pequenos cultivos de forrageiras para a alimentação de rebanhos. Para a obtenção de resultados satisfatórios, é preciso

Demonstrativas do PAD aliadas à difusão de cultivos apropriados ao Semiárido brasileiro que utilizem águas salinas ou salobras no processo de irrigação.

O êxito da metodologia do PAD foi reconhecido com a premiação do PAD pela Associação Internacional de Dessalinização - IDA, durante o Congresso Mundial de Dessalinização realizado em outubro de 2017, em São Paulo/SP. Além disso, destaca-se a participação do PAD em evento paralelo ao Conselho Econômico e Social da ONU realizado em maio de 2017 em Nova Iorque, onde o programa foi reconhecido como uma inciativa que adota uma abordagem integrada para o desenvolvimento sustentável e combate à pobreza.

3.5.4 FASES DE IMPLEMENTAÇÃO

A primeira etapa de implementação do PAD consistiu na definição dos municípios mais vulneráveis à escassez hídrica do Semiárido. Para tal, foi desenvolvido pelo MMA o Índice de Condição de Acesso à Água (ICAA). O ICAA é um índice composto que combina os seguintes indicadores para os diferentes municípios da região: (a) IDH-M, isto é, a adequação do Índice de Desenvolvimento Humano Global (longevidade, educação e renda) aos Municípios brasileiros; (b) taxa de precipitação; (c) taxa de mortalidade infantil; (d) taxa de pobreza; e (e) ocorrência de águas subterrâneas salobras e salinas e ausência ou dificuldade de acesso a outras fontes de abastecimento (FERREIRA *et al.*, 2017).

A indicação dos municípios prioritários a receberem o sistema de dessalinização ocorre após o cruzamento destes indicadores por meio de *softwares* de geoprocessamento. As localidades prioritárias são aquelas que apresentam níveis mais baixos de precipitação e de IDH, níveis mais altos de pobreza, de mortalidade infantil e de salinidade das águas subterrâneas. A Figura 18 ilustra o princípio de cruzamento de algumas destas informações para a obtenção do ICAA. Uma vez concluído o mapeamento, o ICAA permite apontar os locais de maior criticidade e, consequentemente, mais propícios a receberem o sistema de dessalinização oferecido pelo PAD.

---

tomar alguns cuidados, tais como a associação da irrigação a uma adubação orgânica e a realização de análises de solo periódicas na área de cultivo.

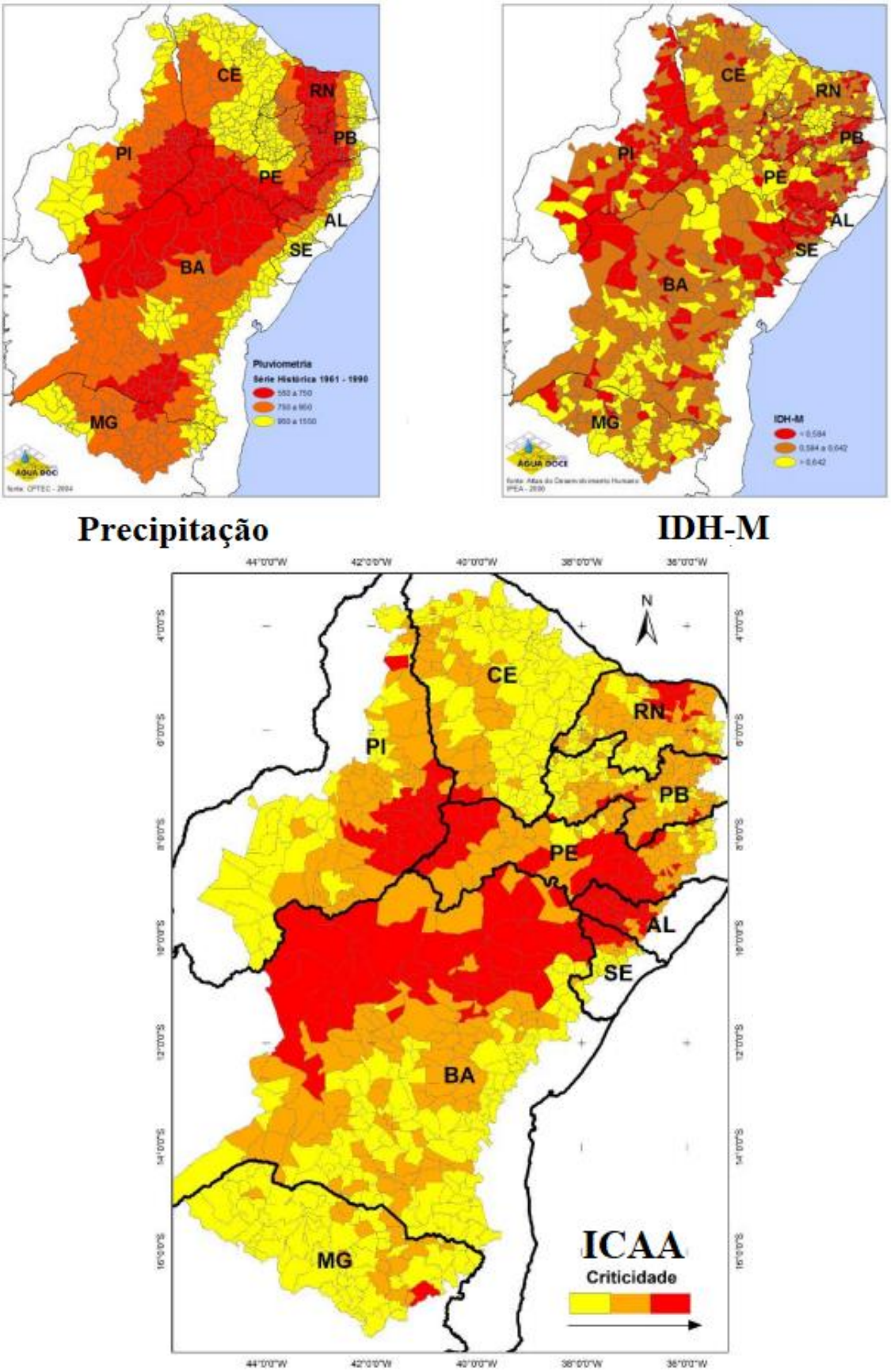


Figura 18 – Cruzamento de indicadores para obtenção do Índice de Condição de Acesso à Água (ICAA).

Fonte: FERREIRA *et al.*, 2017

Uma vez realizado este levantamento dos municípios mais críticos pelo ICAA, a implementação do PAD em cada estado é dividida em três fases: (1) Avaliação das comunidades por meio da realização de relatórios técnicos e socioambientais; (2) Implantação e/ou recuperação dos sistemas de dessalinização; e (3) Operação, manutenção preventiva e monitoramento dos sistemas. A Figura 19 apresenta de forma resumida as três fases de implementação do PAD.

Para uma melhor gestão e controle das etapas de implementação do PAD, o MMA lançou 2016 o Sistema de Informações do Programa Água Doce - SIPAD. Oriundo de uma parceria entre MMA, ANA e CPRM, o SIPAD é um banco de dados georreferenciados com informações provenientes das fases de diagnóstico, implantação/recuperação, e manutenção e monitoramento dos sistemas de dessalinização instalados pelo Programa. Este *software*, ao centralizar informações e acompanhar em tempo real a execução do Programa, permite induzir a tomada de decisão por meio de análises embasadas e constantemente atualizadas, de forma a garantir o bom funcionamento dos sistemas de dessalinização e a sustentabilidade dos seus processos.

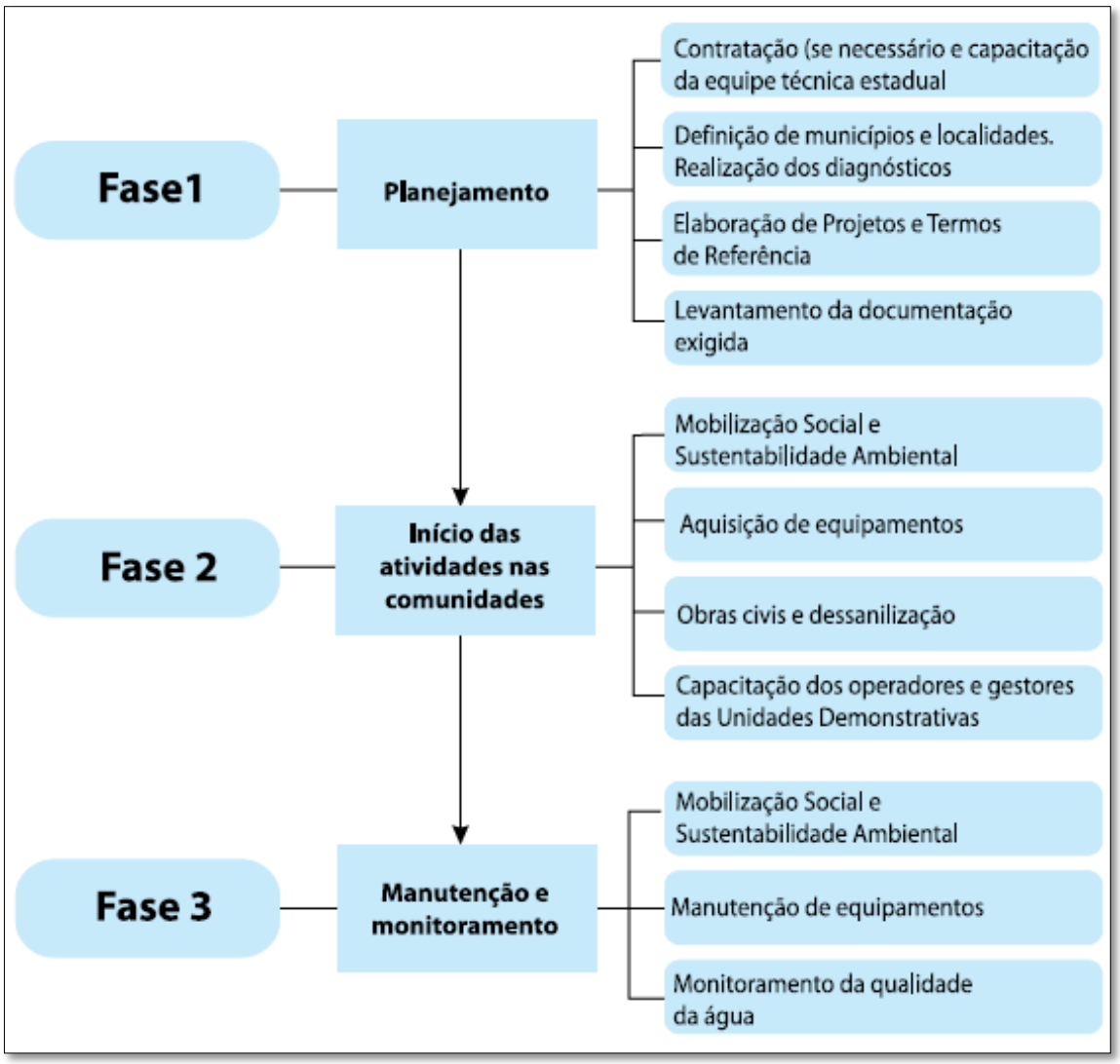


Figura 19 - Estratégia de implementação do PAD.

Fonte: BRASIL, 2012a

- **FASE 1 – DIAGNÓSTICO TÉCNICO E SOCIOAMBIENTAL**

A Fase 1 consiste na elaboração de diagnósticos das comunidades, sendo considerada a base de todo o PAD. Antes de diagnosticar a comunidade, os técnicos do PAD visitam a prefeitura para apresentar o Programa, utilizando material de divulgação desenvolvido para tal propósito.

Neste momento, obtêm-se informações sobre a infraestrutura local, tais como unidades de saúde e escolas existentes, presença ou não de agentes comunitários de saúde, dentre outras informações relevantes para compor o relatório de diagnóstico socioambiental. Ainda na prefeitura, os técnicos do PAD identificam o secretário municipal que irá acompanhar as ações do Programa na comunidade futuramente

beneficiada, além de buscar o comprometimento dos gestores municipais no que diz respeito à aquisição da documentação de titularidade do terreno dos sistemas e na cogestão das unidades de dessalinização que serão implantadas.

Uma vez na comunidade, os técnicos do PAD coletam as informações do diagnóstico socioambiental em formulários próprios (ANEXO II), entrevistando famílias residentes na comunidade.

As informações obtidas neste diagnóstico por comunidade vão compor um relatório que é agrupado por município. Tais informações também são inseridas no Sistema de Informações do Programa Água Doce - SIPAD. Os relatórios técnicos e socioambientais gerados aportam o máximo de informações sobre cada uma das comunidades diagnosticadas. Encontram-se nestes relatórios, de informações técnicas, como testes de vazão e análises físico-químicas e bacteriológicas da água dos poços, à informações de cunho socioambiental, como a organização social da comunidade, existência ou não de conflitos internos, sua relação com as esferas política, econômica e cultural do município, condições de saneamento básico nos domicílios, e o número de pessoas que poderiam ser beneficiadas direta ou indiretamente pela unidade de dessalinização. O relatório também apresenta o projeto executivo do possível sistema de dessalinização.

Para estar apta a receber a unidade de dessalinização do PAD, a comunidade precisa atender a três requisitos básicos: (a) possuir pelo menos 20 famílias em um raio de 1 km; (b) possuir poços perfurados ativos ou facilmente ativáveis (em manutenção); e (c) possuir poços com fluxo suficiente de água para executar o sistema, isto é, vazões de no mínimo 1m³/hora (FERREIRA *et al.*, 2017).

Outros critérios determinantes para a seleção da comunidade a ser beneficiada são a salinidade da água dos poços, o tipo de energia que abastece a comunidade, e as questões que envolvem a escolha e a titularidade do terreno onde será instalado o sistema.

Uma das maiores dificuldades encontradas pelo Programa nesta primeira Fase é justamente a detecção de poços com condições adequadas de exploração. Conforme ilustrado pela Tabela 6, dos primeiros mil poços testados pelo Programa, apenas 17 estavam aptos a serem explorados sem necessidade de um tratamento prévio da água.

Tabela 6 - Característica das águas subterrâneas no Semiárido.

Total de Comunidades Diagnosticadas (até abril 2017)	Características Analisadas de Fluxo e de Água (testes físico-químicos)	Água elegível para consumo humano sem necessidade de pré-tratamento (Padrões do Ministério da Saúde - Regulamento nº 2914/2011)
3.142	1.000 (31.83%)	17 (1%)

* Salinidade média das fontes de água subterrânea = 3.523,99 mg/L

Fonte: FERREIRA *et al.*, 2017

A Figura 20 apresenta mapas referentes às Fases 1 e 2, de Diagnóstico das comunidades e de Implantação dos sistemas de dessalinização, respectivamente. As áreas em verde representam os municípios de maior criticidade segundo e ICAA e já diagnosticados pela Fase 1 do Programa. Os pontos azuis na Fase 1 (mapa da esquerda) representam as comunidades diagnosticadas e, na Fase 2 (mapa da direita), os sistemas de dessalinização em funcionamento. Os pontos pretos na Fase 2 referem-se aos sistemas ainda em construção.

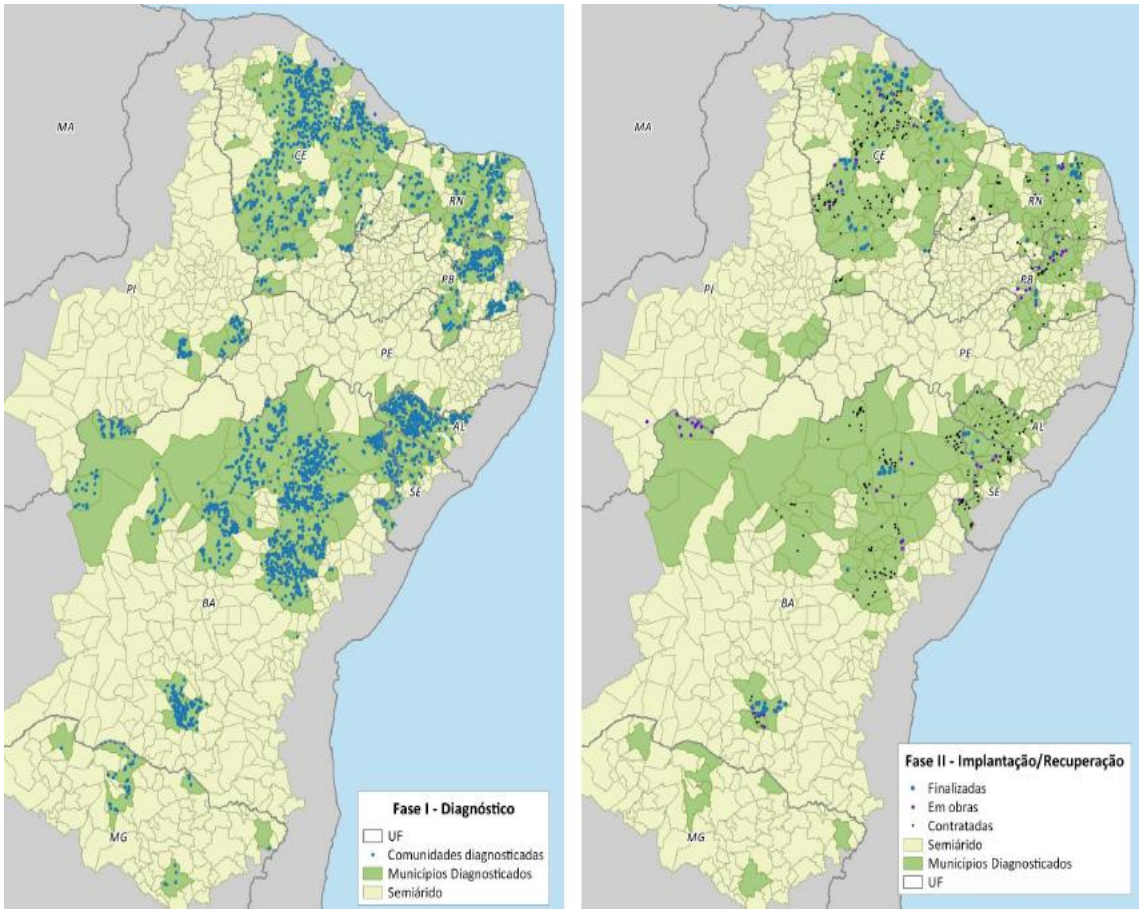


Figura 20 – Fase 1 – Comunidades diagnosticadas (esquerda) e Fase 2 - Implantação dos sistemas de dessalinização PAD no Semiárido brasileiro (direita).

Fonte: FERREIRA *et al.*, 2017

- **FASE 2 – IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS E ASSINATURA DO ACORDO DE GESTÃO**

Uma vez decididas as localidades a serem implantadas as unidades de dessalinização do PAD, dá-se início à Fase 2 do Programa, de implantação dos sistemas. Nesta Fase, são realizadas no mínimo três reuniões espaçadas no tempo, onde membros da Coordenação Estadual do PAD, técnicos locais e moradores das comunidades que serão beneficiadas discutem sobre a implantação da unidade de dessalinização.

O primeiro encontro ocorre logo após a seleção das comunidades a serem beneficiadas. Os técnicos do PAD se apropriam previamente das informações contidas nos diagnósticos realizados anteriormente para uma melhor condução da reunião. São apresentados à comunidade o PAD, a empresa de engenharia responsável pelas obras de implantação, assim como a pessoa indicada pela prefeitura para acompanhar a implantação. Nesta reunião, a comunidade indica as pessoas que irão compor o grupo gestor local responsável pela prestação de contas da gestão da unidade de dessalinização, além de iniciar as tratativas para definir o valor da contribuição para o fundo de reserva que será constituído para a operação do sistema. Neste encontro, também são indicados pela comunidade três moradores a serem capacitados para operar o sistema.

O segundo encontro ocorre quando as obras de implantação dos sistemas são iniciadas. Nesta ocasião, técnicos do PAD apresentam e discutem com a comunidade os princípios do ‘’Acordo de Gestão Compartilhada’’, informando o seu conceito e a sua importância para a longevidade do sistema. Este Acordo é descrito com maiores detalhes no tópico seguinte deste capítulo.

O início das obras de implantação do sistema de dessalinização se dá com a limpeza e adequação do terreno selecionado para a instalação da unidade. Em seguida, são construídas fundações para os reservatórios, piscinas para o concentrado salino e um abrigo para o dessalinizador. As instalações hidráulicas e elétricas são realizadas à medida que as paredes são erguidas. O abrigo do equipamento de dessalinização possui uma laje de concreto para garantir a segurança das máquinas e operadores.

Uma vez que as obras são concluídas, a Coordenação Estadual do Programa emite a ordem para instalar a máquina de dessalinização por Osmose Inversa na comunidade em questão. O acompanhamento periódico das obras é realizado por um engenheiro civil (fiscal do Programa), por meio de um formulário de vistoria.

O Documento Base do PAD (2012) estima os custos para implantação de uma unidade de sistema de dessalinização em torno de R$200.000,00, conforme apresentado pela Tabela 7. Estes valores são correspondentes ao ano de sua publicação, no mês de dezembro. A implantação destes sistemas inclui as atividades de gestão, bem como a aquisição de dessalinizador e construção das obras civis com seus sistemas de adutora (chafariz eletrônico, abrigo do dessalinizador, casa de bomba, reservatórios de água potável e do concentrado), tanques de concentrado e cercamento das áreas. As atividades de gestão consistem no pagamento de diárias aos técnicos, na realização de análises fisicoquímicas e microbiológicas frequentes, na confecção de material de divulgação e de treinamento, dentre outros (BRASIL, 2012a).

Tabela 7 - Custo Unitário de Implantação de Sistemas de Dessalinização PAD.

Subcomponentes	**Valor (R$)**
Apoio ao Gerenciamento	17.960,00
Formação de Recursos Humanos	3.259,22
Diagnóstico Técnico e Ambiental	21.949,62
Mobilização Social	10.331,07
Sustentabilidade Ambiental	5.433,61
Sistema de Dessalinização	137.334,32
TOTAL	**196.267,84**

Fonte: BRASIL, 2012a

A recuperação de um sistema de dessalinização já existente (porém inoperante) tem custo unitário da ordem de R$70.000,00, sendo 60% deste valor despendido na gestão destes sistemas. Esta recuperação inclui conserto do dessalinizador, reforma das obras civis com seu sistema de adutora (chafariz eletrônico, abrigo do dessalinizador, casa de bomba, reservatórios de água potável e do concentrado), cercamento das áreas e construção de tanques de concentrado (IDA, 2017).

- **ACORDO DE GESTÃO COMPARTILHADA**

Ainda na Fase 2, uma vez que o sistema de dessalinização se encontra pronto para operar, uma terceira reunião, tendo por objetivo a tão esperada celebração do “Acordo de Gestão Compartilhada” (ANEXO III). Para tal, todos os pontos acordados na reunião anterior são lidos e debatidos novamente, até que todas as famílias da comunidade

beneficiada estejam de acordo e assinem o documento. Tira-se uma foto quando todos os moradores presentes estão com as mãos levantadas concordando com os itens acordados e esta é inserida na capa do documento, conforme ilustrado pela Figura 21. O Acordo também é assinado pelo prefeito do município, pelo presidente da associação ou grupo gestor local da comunidade, e pelos coordenadores Estadual e Nacional do PAD.

Figura 21 - Celebração do Acordo de Gestão Compartilhada do PAD na Comunidade Sítio dos Bahias, no município de Chorrochó, Bahia.

Fonte : BRASIL, 2020

O Acordo de Gestão Compartilhada é um documento elaborado pela coordenação estadual do Programa (com diretrizes da coordenação nacional) e aprovado pela comunidade a ser beneficiada, contendo regras que irão orientar os direitos e os deveres de cada uma das partes envolvidas no uso do sistema de dessalinização (FERREIRA *et al.*, 2017).

Para elaborar o Acordo de Gestão, os técnicos do PAD devem, juntos à comunidade, definir regras: (a) Quanto às Normas de Funcionamento do Sistema - qual será o horário de funcionamento do equipamento, quais serão os deveres do operador, quem será o responsável pelo sistema e quais serão os dias e horários de distribuição da

água; (b) Quanto aos Direitos dos Beneficiados - quem poderá pegar a água do dessalinizador, qual será a quantidade de água distribuída por família e como as famílias devem usar a água dessalinizada; (c) Quanto aos Custos de Funcionamento do Sistema – se o operador designado será pago ou não, qual será seu salário e quem vai pagar, quem vai pagar a energia elétrica, como será formado o fundo de reserva da comunidade, como será cobrada a taxa de manutenção do equipamento e qual será o seu valor cobrado às famílias, e quais serão as responsabilidades da prefeitura do município e do Núcleo Estadual do Programa; e (d) Quanto às Responsabilidades – como os responsáveis pelo dessalinizador prestarão contas das suas atividades à comunidade, de quanto em quanto tempo essa prestação deverá ser feita e como a comunidade vai monitorar o cumprimento do Acordo (BRASIL, 2012a).

O resultado deste esforço resume-se a um documento suscinto, de aproximadamente quinze páginas, contendo as seguintes informações: (a) ficha técnica da comunidade beneficiada e do sistema implantado; (b) Composição do Grupo Gestor Local assim como suas atribuições; (c) Nomes dos indivíduos a serem treinados para operar o sistema, assim como suas atribuições ; (d) Horário de funcionamento e quantidade de água produzida pela unidade de dessalinização; (e) Valor da contribuição acordada pelos moradores da comunidade para o fundo de reserva; (f) Regras para prestações de contas atreladas ao uso sistema; (g) Responsabilidades das instituições parceiras no Acordo (prefeitura, governo estadual e federal); e (h) Assinatura de todos os envolvidos.

O Acordo de Gestão Compartilhada é uma das partes mais importantes da metodologia PAD, pois auxilia na resolução de conflitos internos e permite que a própria comunidade tome as decisões relacionadas à gestão do sistema de dessalinização e da água produzida. Desta forma, o bom funcionamento do sistema e a qualidade da água distribuída à população são assegurados. Sua metodologia de atuação foi desenvolvida pelo Laboratório de Sociologia Aplicada da Universidade Federal de Campina Grande e objetiva garantir a autonomia da comunidade na gestão do sistema de dessalinização (BRASIL, 2012a).

A construção do Acordo de Gestão Compartilhada é um processo contínuo e sistemático, com etapas bem definidas e realizado por técnicos capacitados pelo Programa para atuar nas comunidades. Trata-se de um instrumento flexível, pois pode ser ajustado ao longo do tempo se verificada a necessidade.

- **FASE 3 – MONITORAMENTO E MANUTENÇÃO**

Uma vez que o sistema de dessalinização é instalado e o Acordo de Gestão Compartilhada é assinado, dá-se início à Fase 3, referente à operação, manutenção e monitoramento dos sistemas de dessalinização.

Nesta Fase, a equipe de Mobilização Social do Programa realiza visitas periódicas com o objetivo de monitorar o cumprimento do Acordo de Gestão para que o sistema funcione de forma contínua fornecendo água de qualidade à população. Ao longo do processo de monitoramento, sendo verificada a necessidade de ajuste no Acordo, a equipe reunirá a comunidade para uma repactuação com as adequações acordadas.

Em cada estado, existe um ‘’Núcleo Estadual’’, instância máxima de decisão, e uma ‘’Coordenação Estadual’’, com seu respectivo ‘’Grupo Executivo’’, composto por técnicos capacitados pelo Programa em cada um dos componentes temáticos (sistema de dessalinização, mobilização social para a gestão, sustentabilidade ambiental e sistemas produtivos integrados), coordenados pelo órgão de recursos hídricos estadual. Nas comunidades beneficiadas, o sistema de dessalinização é gerenciado por um ‘’Grupo Gestor‘’ estabelecido pelo ‘’Acordo de Gestão Compartilhada’’ da respectiva unidade de dessalinização.

A Figura 22 ilustra as responsabilidades de cada esfera integrante do PAD na Fase 3, de operação, manutenção e monitoramento dos sistemas. Quanto à operação diária do sistema, a gestão compartilhada implementada pelo PAD define que um membro da comunidade assuma a operação do equipamento, sendo os custos de energia elétrica assumidos pelo município ou pela própria comunidade, conforme indicado pelo Acordo de Gestão.

Para tanto, em cada comunidade é incentivada a criação de um fundo de reserva para fazer frente aos custos de operação, sendo estes: (a) Conta da energia elétrica; (b) Gratificação do operador; e (c) Custos com pequenos reparos que não necessitam de mão de obra especializada. Cada comunidade estabelece um valor mensal a ser pago por família para o fundo de reserva.

Figura 22 - Descrição da Fase 3 - Operação, Manutenção e Monitoramento dos sistemas de dessalinização. Fonte: BRASIL, 2012a

O poder público estadual fica responsável pela manutenção e monitoramento do sistema, que inclui qualidade da água, gestão, manutenção preventiva, corretiva, limpeza química e substituição das membranas, serviços estes que devem ser realizados por empresas especializadas a serem contratadas pelo estado para este fim.

Caso a prefeitura não participe do arranjo produtivo da água, a comunidade poderá assumir os custos de operação em sua integralidade por meio do fundo de reserva, administrado pelo grupo gestor local estabelecido.

A Tabela 8 ilustra os serviços de manutenção do sistema de dessalinização do PAD (BRASIL, 2012a).

Tabela 8 - Serviços de manutenção e custos estimados em reais.

Serviços	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Troca de filtros de cartucho	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Manutenção de bomba (troca de selo mecânico, rolamentos)			80,00			80,00			80,00			80,00
Anti-incrus-tante para membranas		90,00			90,00			90,00			90,00	
Limpeza química de membranas	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67
Manutenção de tubulações hidráulicas	20,00			20,00			20,00			20,00		
Energia Elétrica	105,82	95,74	110,86	95,74	100,78	95,74	115,90	105,82	105,82	105,82	100,78	110,86
Salário do operador	678,00	678,00	678,00	678,00	678,00	678,00	678,00	678,00	678,00	678,00	678,00	678,00
Troca de membranas (em 5 anos)	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00
Visita de técnicos 1 técnico)	103,08	103,08	103,08	103,08	103,08	103,08	103,08	103,08	103,08	103,08	103,08	103,08
Total (R$)	1.038,07	1.097,99	1.103,10	1.027,99	1.103,03	1.087,99	1.048,14	1.108,07	1.098,07	1.038,07	1.103,03	1.103,10

Fonte: BRASIL, 2012a

3.5.5 COMPONENTES DO PROGRAMA

O PAD está estruturado em seis componentes principais, sendo estas a Gestão do Programa, a Pesquisa e Desenvolvimento, a Mobilização Social, os Sistemas de Dessalinização, a Sustentabilidade Ambiental e os Sistemas de Produção Integrado (FERREIRA *et al.*, 2017). A Tabela 9 apresenta uma relação dos seis componentes do PAD e seus respectivos Subcomponentes.

Tabela 9 - Relação dos componentes e subcomponentes do Programa Água Doce.

COMPONENTES	SUBCOMPONENTES
Gestão	• Apoio ao gerenciamento • Formação de recursos humanos • Diagnóstico técnico e ambiental • Consolidação dos centros de referência • Sistemas de informações e de monitoramento • Operacionalização e manutenção dos sistemas
Pesquisa e Desenvolvimento	• Pesquisa e Desenvolvimento de tecnologias apropriadas
Mobilização Social	• Diagnóstico social • Acordos de gestão compartilhada • Acompanhamento dos acordos
Sistemas de Dessalinização	• Recuperação de sistemas já instalados • Implantação de sistemas novos • Monitoramento da qualidade da água e dos tanques de contenção
Sustentabilidade Ambiental	• Análise de risco socioambiental das comunidades • Definição das comunidades a serem atendidas • Acompanhamento dos resultados obtidos • Monitoramento da qualidade ambiental
Sistemas de Produção Integrado	• Implantação de Unidades Produtivas

Fonte: Brasil, 2012a (pg.51)

- **Componente 1: Gestão**

O componente de gerenciamento do PAD é dividido pelos seguintes subcomponentes: suporte de gerenciamento e fortalecimento institucional, capacitação, sistema de informação, operação e manutenção, e monitoramento.

O apoio gerencial e o fortalecimento institucional capacitam os atores e instituições federais e do estado, e também as comunidades beneficiadas, de modo a atuar na gestão integrada de recursos hídricos, dessalinização, mobilização e apoio.

Um processo tão complexo quanto a metodologia do PAD requer um arranjo institucional sólido, conforme apresentado pelo item 3.5.2 deste trabalho, assim como planos de ação detalhados, de modo a evitar a sobreposição de iniciativas e atender aos critérios definidos pelos criadores do Programa. Para tal, o MMA elaborou uma série de documentos com orientações técnicas de implementação disponibilizados em uma plataforma restrita às coordenações estaduais do PAD.

- **Componente 2: Pesquisa e Desenvolvimento**

O PAD conta com uma rede de instituições de pesquisa que desenvolvem novas tecnologias buscando promover maior sustentabilidade do processo de dessalinização, reforçando a ideia de um ciclo fechado graças ao desenvolvimento dos Sistemas de Produção Integrados. A Embrapa Semiárido, em conjunto com a UFCP, coordena estas pesquisas. Dentre os estudos mais relevantes, destacam-se os de desenvolvimento e aprimoramento da tecnologia de Osmose Inversa e de destinação ambientalmente responsável do concentrado salino oriundo do processo de dessalinização, tais como a criação de peixes em tanques e a agricultura biossalina.

Outro aspecto interessante deste componente do Programa é o intercâmbio promovido entre as experiências de diferentes estados, de forma a garantir a troca de saberes, boas práticas e soluções para lidar com aspectos locais e regionais.

- **Componente 3: Sustentabilidade Ambiental**

O PAD tem o compromisso de garantir o uso sustentável dos recursos hídricos, promovendo a coexistência com o Semiárido e sua variabilidade climática natural. Para tal, este componente opera em cinco níveis diferentes: social, ambiental, econômico, geográfico e cultural. É coordenado pela Embrapa Meio Ambiente e seguido por técnicos treinados em cada um dos estados participantes.

Um de seus objetivos é tornar os sistemas produtivos e de dessalinização autossustentáveis, por meio da capacitação de agentes que envolvem a comunidade no Programa. Como resultados, obtêm-se a melhoria da relação custo/benefício (aumento de receita com redução de custos) dos processos utilizados e motivação da comunidade na continuidade de manutenção do sistema.

No processo metodológico utilizado, são abordados dois aspectos. O primeiro está relacionado à avaliação da comunidade como um todo, o que permite estabelecer fatores de criticidade, e, em função disto, priorizar comunidades para que sejam desenvolvidas as ações do PAD. Outro aspecto é a realização de um levantamento mais detalhado nas comunidades selecionadas, envolvendo as famílias que vivem nas mesmas.

Entre seus instrumentos está a avaliação e monitoramento das condições socioambientais das comunidades para definição daquelas a serem beneficiadas. A

experiência de programas anteriores ensinou que instalar ou recuperar os sistemas de dessalinização não é suficiente para garantir a oferta continuada de água de boa qualidade para as famílias do Semiárido. É preciso, também, investir na organização de mecanismos de gestão que viabilizem o funcionamento dos sistemas de dessalinização a médio e longo prazo.

Para avaliar o risco socioambiental das comunidades, esta análise utiliza planilhas de caracterização e priorização das famílias que indicam fatores limitantes relacionados a: (a) disponibilidade, acesso e uso de água proveniente de dessalinizadores; (b) disponibilidade, acesso e uso de água provenientes de outras fontes; (c) destino dos efluentes (concentrado, esgoto, águas servidas); e (d) aspectos gerais da comunidade, tais como as estradas de acesso, o acesso à energia, a existência ou não de cooperativas, dentre outros.

Outro objetivo do componente Socioambiental do PAD é o de informar as comunidades sobre doenças transmitidas pela água e outros problemas de saúde relacionados à qualidade da água consumida, além de contribuir para a promoção de boas práticas para a conservação da qualidade da água dessalinizada.

- **Componente 4: Mobilização Social**

O componente de Mobilização Social é coordenado pelo Laboratório de Sociologia Aplicada da UFCP e executado pela equipe de técnicos capacitados pelo PAD em cada estado. Este componente do Programa contempla a identificação das lideranças locais, o respeito às estruturas de organização social existentes e o aproveitamento das formas tradicionais de superação dos dilemas sociais, tendo como principais objetivos: (a) Contribuir para o estabelecimento de bases sólidas de cooperação e participação social na gestão dos sistemas de dessalinização e dos sistemas de produção integrados; (b) Colaborar no processo de definição dos Acordos de Gestão Compartilhada que irão garantir o funcionamento, a longo prazo, dos dessalinizadores e dos sistemas de produção integrados; e (c) Mediar a interlocução, as negociações e os conflitos de interesses entre os diferentes atores sociais envolvidos no processo de implementação dos sistemas de dessalinização e dos sistemas produtivos nas comunidades beneficiadas pelo Programa (BRASIL, 2012a).

Conforme explicado anteriormente, os Acordos de Gestão Compartilhada são documentos definindo os direitos e os deveres de todas as pessoas beneficiadas pela água

doce de boa qualidade e pela utilização do concentrado. Devem ser aprovados e assinados por todas as famílias beneficiadas e também pelos representantes das instituições públicas que irão apoiar a gestão do sistema de dessalinização pela comunidade.

Os processos metodológicos envolvidos neste componente de Mobilização Social exigem que os representantes da comunidade e a Equipe de Gestão Estadual do PAD se familiarizem com a metodologia do Programa e seus objetivos. A maioria dos conflitos ocorre neste momento, e são geralmente relacionados ao uso da água produzida pelo dessalinizador. Em comunidades onde há o Sistema de Produção Integrado, por exemplo, há relatos de que parte da água destinada ao consumo humano estaria sendo utilizada para diluir a água dos tanques de piscicultura, tendo em vista o valor econômico que esta atividade aportava para moradores da comunidade.

É por este motivo que o Acordo de Gestão Compartilhada revela-se como uma das partes mais importantes da metodologia PAD. Estes documentos auxiliam na resolução de conflitos internos e possibilitam que a própria comunidade tome as decisões relacionadas à gestão do sistema de dessalinização e da água produzida.

O componente de Mobilização Social incentiva que as comunidades beneficiadas façam reuniões semanais ou mensais com todos os moradores, para discutir o funcionamento do sistema e debater sobre possíveis conflitos. Tais reuniões não só contribuem pro bom funcionamento do sistema, como também une e dá voz aos moradores da comunidade frente às esferas políticas municipal e estadual. A Figura 23 ilustra uma reunião dos moradores do Município de Serra Branca, na Paraíba, ocorrida em 2016 para discutir o funcionamento do sistema de dessalinização do Programa na comunidade.

Figura 23 - Reunião do PAD com moradores do município de Serra Branca - PB.

Fonte: BRASIL, 2012a

- **Componente 5: Sistemas de Dessalinização**

O sistema de dessalinização padrão do PAD é composto por diferentes partes: (a) um poço tubular profundo e uma bomba hidráulica; (b) um reservatório de água bruta; (c) sistema de dessalinização por Osmose Inversa; d) um reservatório de água potável e outro de concentrado salino; (d) chafariz para retirada da água potável; e (e) tanque de evaporação para o concentrado salino (efluente do processo). A Figura 24 apresenta um desenho esquemático dos diferentes componentes de um sistema de dessalinização padrão do PAD.

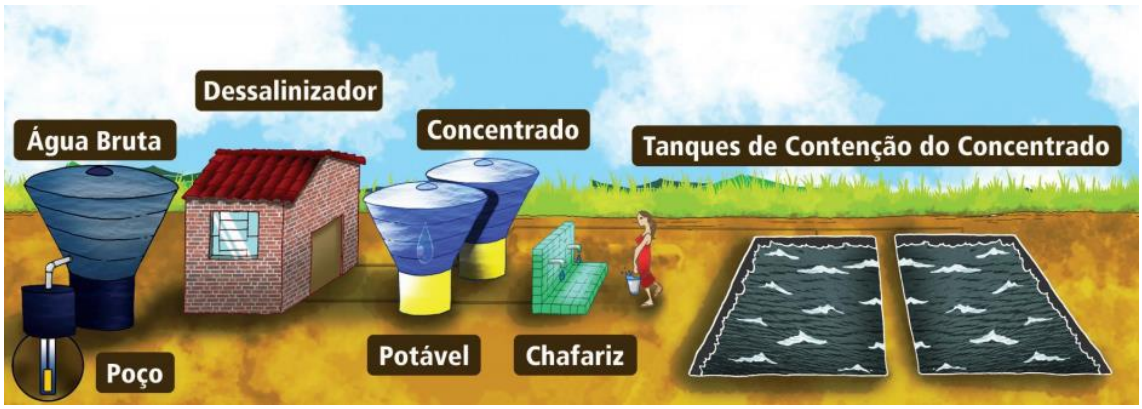


Figura 24 - Componentes de um sistema de dessalinização padrão do PAD.

Fonte: BRASIL, 2009b

A Figura 25 apresenta o fluxograma de operação de um sistema de dessalinização padrão do PAD. A água subterrânea salobra ou salina é bombeada e captada por meio de poço tubular profundo, sendo primeiramente armazenada em um reservatório de água bruta. Este poço deve apresentar uma vazão mínima de 1m³/hora, o que representa grande parte dos poços localizados no Semiárido brasileiro. A água bruta estocada no tanque é então encaminhada ao dessalinizador, sendo submetida ao processo de Osmose Inversa.

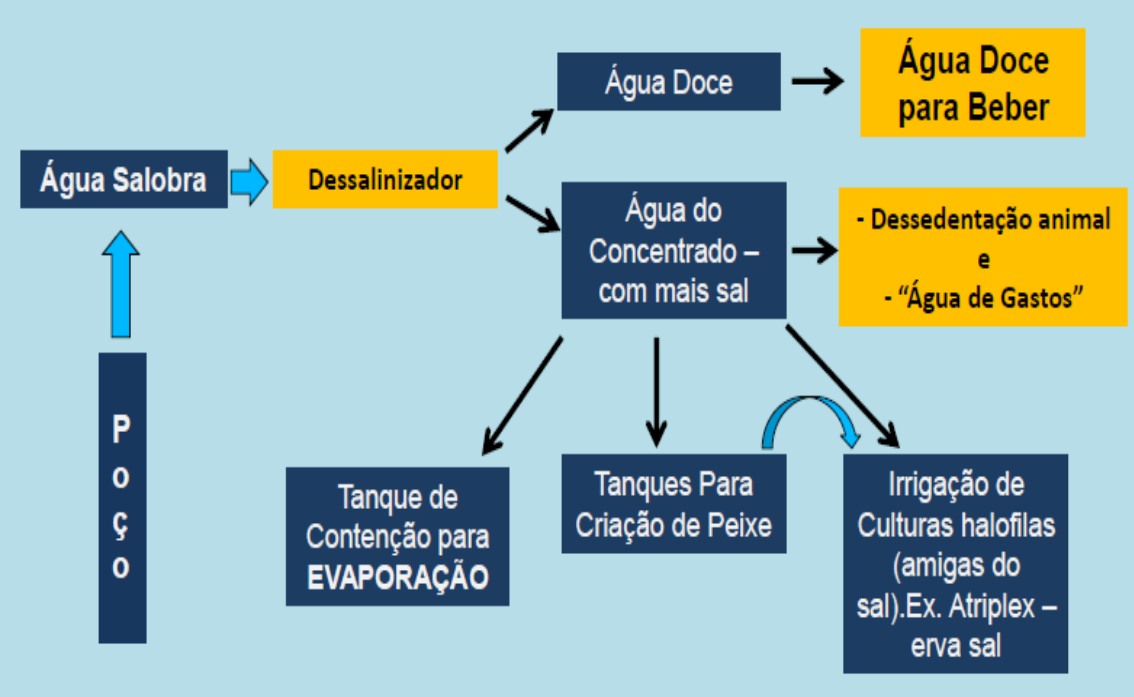


Figura 25 - Fluxograma de operação de um sistema de dessalinização do PAD.

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2012a

Antes da instalação do sistema, um projeto de simulação do dessalinizador em *software* deve ser apresentado pelo fabricante das membranas. A empresa contratada para fornecer os equipamentos de dessalinização deve apresentar o certificado de qualidade das membranas (certificação Padrão NSF/ANSI internacional) e estas devem ser instaladas pelo fornecedor no local e na presença de um técnico do PAD.

O projeto do equipamento deve considerar em primeiro lugar, a qualidade da água de alimentação (parâmetros físico-químicos e microbiológicos), a vazão de alimentação e a demanda por água potável da comunidade. O desempenho do sistema sempre deve ser mensurado em função do fluxo do permeado e da taxa de rejeição de sais, que dependem diretamente da composição da água de alimentação, pressão aplicada, temperatura e recuperação do sistema.

O dessalinizador por Osmose Inversa padrão do PAD é composto por: (a) Um sistema de pré-tratamento químico (dosador de anti-incrustante) e outro físico (cartuchos de propietileno); (b) 3 vasos de alta pressão, cada um com capacidade de encapsular 02 elementos de membranas; (c) De 2 a 6 membranas de Osmose Inversa de alta rejeição e em espiral (percentual de rejeição de sais 99,5%) ; (d) Medidores de pressão (manômetros) e de vazão (rotâmetros); (e) Uma bomba de alta pressão e outra auxiliar ; (f) Um sistema de retrolavagem; (f) Um sistema de proteção para desligamento automático da bomba de alta pressão; (g) Um sistema elétrico (painel de controle) completo para controle da operação; e (h) Um sistema de pós-tratamento com o uso de derivados clorados de origem orgânica na água permeada. A Figura 26 apresenta um dessalinizador de Osmose Inversa do PAD e seus diferentes componentes.

Cada membrana do sistema apresenta vazão de 200 L/h e uma vida útil de até 5 anos, caso sua manutenção seja realizada periodicamente. Os sistemas possuem taxa de recuperação de 50%, isto é, a cada 100 litros de água de entrada, 50 litros de água dessalinizada produzidos. Para preservar o equipamento, os sistemas do PAD operam, em média, 5 horas por dia, produzindo cerca de 800 litros de água doce por hora. Um sistema do PAD produz até 4.000 litros de água dessalinizada por dia, permitindo o fornecimento de 10 litros/dia de água potável por pessoa, atendendo à comunidades rurais de até 400 habitantes (BRASIL, 2020).

O monitoramento dos dessalinizadores deve ser realizado por meio de visitas periódicas aos sistemas pelos técnicos do grupo gestor e/ou do PAD, onde são coletados os dados das variáveis de medidas dos dessalinizadores, bem como a coleta de amostras de águas das correntes de alimentação, permeado e concentrado.

O acompanhamento dos dessalinizadores também pode ser realizado por meio dos projetos de simulação dos dessalinizadores. A partir das análises fisicoquímicas são realizados os projetos dos dessalinizadores com auxílio de programas de simulação de membranas, com o objetivo de avaliar o funcionamento dos equipamentos em função das suas pressões, vazões e qualidade das águas.

Figura 26 - Dessalinizador por Osmose Inversa do PAD.

Fonte: BRASIL, 2012a

A água dessalinizada é armazenada em um reservatório de água potável, e distribuída à comunidade por meio de chafarizes. A frequência de distribuição e a quantidade de água potável fornecida para cada família varia de comunidade para comunidade, segundo fatores técnicos como a vazão e a qualidade da água do poço, a potência do sistema de dessalinização, dentre outros. O fornecimento de água para a população ocorre geralmente na parte da manhã, durante dois, três ou quatro dias da semana. Por questões logísticas e de organização, por dia, apenas um representante de cada residência cadastrada é autorizado a buscar água no chafariz para sua respectiva família. A Figura 27 ilustra o fornecimento de água pelo PAD no município de Serra Branca, na Paraíba.

Figura 27 - Fornecimento de água no município de Serra Branca - PB.

Fonte: BRASIL, 2012a

O concentrado salino oriundo do processo de dessalinização é, por sua vez, armazenado em um reservatório, sendo encaminhado em seguida aos tanques de contenção e evaporação. Os tanques de concentrado têm como dimensão 12m x 30m x 2m (Base maior) ou 8m x 26m x 2m (Base menor), armazenando um volume mínimo de 500 m³ de água. De acordo com os costumes da comunidade e a qualidade química do concentrado, parte do efluente pode ser utilizado para dessedentação animal, uso doméstico (descarga sanitária, por exemplo), criação de peixes e irrigação de plantas halófitas.

- **Componente 6: Sistemas de Produção Integrado**

O Sistema de Produção Integrado foi uma alternativa desenvolvida pela Embrapa Semiárido para dar destino ao concentrado salino oriundo da dessalinização por Osmose Inversa, de forma a minimizar os impactos ambientais do processo e contribuir à segurança alimentar da comunidade. Além de garantir a oferta de água de boa qualidade em regiões historicamente sacrificadas pela seca, esta unidade produtiva também viabiliza alternativas de geração de renda que se integram às dinâmicas locais.

Este sistema utiliza o concentrado salino resultante do processo de dessalinização na produção de peixes resistentes à salinidade e, em seguida, na irrigação de plantas forrageiras para a dessedentação de caprinos, ovinos e/ou bovinos da região. O peixe

indicado pela Embrapa Semiárido para este tipo de sistema é a *tilápia*, na qual algumas espécies e linhagens são facilmente adaptáveis a ambientes de diferentes salinidades, podendo ser cultivadas tanto em água doce como em água salgada ou salobra (KUBITZA, 2005). A espécie mais utilizada nos Sistemas Integrados do PAD é a *tilápia rosa.* Quanto à exploração agropecuária sustentável, a alternativa escolhida é o cultivo via irrigação de plantas halófitas, pois estas apresentam mecanismos de tolerância e fuga à salinidade do solo que permitem a sua sobrevivência e crescimento em ambientes altamente salinos (HOFFMAN & SHANNON, 1985). Dentre as halófitas cultiváveis para fins de forragem, as espécies mais utilizadas no Sistema de Produção Integrado PAD são as do gênero *Atriplex numulária* (Erva-sal), devido à sua rusticidade e capacidade de crescimento em áreas altamente salinas com baixos índices pluviométricos (BRASIL, 2012a). Neste Sistema de Produção Integrado, é possível produzir aproximadamente 12 toneladas de Erva-sal, por hectare.

O Sistema de Produção Integrado PAD é composto por quatro etapas, conforme ilustrado pela Figura 28. A primeira consiste no processo de dessalinização da água subterrânea. Em um segundo momento, o efluente do processo de dessalinização (concentrado salino) é enviado à dois tanques (30 x 50m cada) destinados à criação de *tilápia rosa*. Se o monitoramento da temperatura, do pH, da salinidade e do oxigênio nas águas for realizado correta e periodicamente, cada tanque tem capacidade para criar aproximadamente 1000 peixes. Em um terceiro momento, o efluente (concentrado) desta criação, enriquecido em matéria orgânica, é encaminhado para um terceiro tanque por meio de bombeamento. Esta água é então destinada à irrigação de Erva-Sal que, por sua vez, é utilizada na produção de feno. Finalmente, a forragem produzida com teor proteico entre 14 e 18% é utilizada para a engorda de caprinos, ovinos e bovinos da região, fechando assim o sistema de produção integrado ambientalmente sustentável.

Todas as especificações técnicas para a implementação do Sistema de Produção Integrado PAD encontram-se no Documento Base do Programa (2012). Referente ao espaço necessário, o sistema simples de dessalinização (sem criação de tilápia e cultivo de Erva-sal) exige uma área de 1.200m², enquanto que o Sistema de Produção Integrado demandada aproximadamente 2 hectares de área, sendo um hectare ocupado pelos três tanques, e outro hectare para o cultivo irrigado de plantas forrageiras adaptadas ao meio salino, além de uma pequena área para a fenação, conforme ilustrado pela Figura 29.

Figura 28 - Etapas do Sistema Integrado de Produção PAD.

Fonte: BRASIL, 2009b

Figura 29 - Sistema de Produção Integrado PAD.

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2012a

Para que uma comunidade possa ser beneficiada pelo Sistema de Produção Integrado, além dos critérios de criticidade gerais do PAD, deve atender as seguintes condições: (a) Vazão mínima do poço de pelo menos 5.000 L/h e qualidade química adequada do concentrado da dessalinização; (b) Propriedades do solo compatíveis com o sistema de irrigação da erva-sal, isto é, terreno sem relevo/declividade e solos com pelo menos 70% de areia e, no mínimo, 1 metro de profundidade; (c) Disponibilidade de área, com titularidade pública, para implantação do sistema; (d) Presença de exploração pecuária (caprinos, ovinos e/ou bovinos); e (e) Alto nível de mobilização social entre os membros da comunidade por meio de associações ou cooperativas.

O custo unitário de implantação de um Sistema de Produção Integrado, segundo Documento Base do PAD (2012), é da ordem de R$320.000,00. Se incluídos os custos de perfuração do poço e das obras de alvenaria da unidade de dessalinização, este valor pode chegar a até R$350.000,00. A Tabela 10 ilustra o custo unitário de implantação de um Sistema de Produção Integrado do Programa.

Tabela 10 - Custo Unitário de Implantação do Sistema de Produção Integrado PAD.

Subcomponentes	**Valor (R$)**
Apoio ao Gerenciamento	21.165,02
Formação de Recursos Humanos	15.074,00
Diagnóstico Técnico e Ambiental	9.134,00
Mobilização Social	9.564,00
Sustentabilidade Ambiental	12.276,00
Implantação do Sistema Integrado	256.788,16
TOTAL	**324.001,18**

Fonte: BRASIL, 2012a

O PAD prevê a implantação de 22 unidades demonstrativas de referência, duas em cada estado atendido pelo Programa. Além do Sistema de Produção Integrada, a Embrapa Semiárida estuda outras alternativas de aproveitamento sustentável do concentrado salino oriundo do processo de dessalinização. Dentre elas, destacam-se a agricultura biossalina e a criação de algas.

CAPÍTULO IV – PROPOSTA METODOLÓGICA

Os capítulos anteriores deste trabalho tiveram como objetivo de introduzir a problemática do abastecimento hídrico existente na região semiárida do Brasil. Foram apresentados um referencial teórico sobre tecnologias de dessalinização e suas possíveis integrações com fontes renováveis de energia, além de um histórico das Políticas Públicas de combate à seca implementadas desde o início do século XX nesta região. Uma atenção especial foi dada à apresentação do Programa Água Doce - PAD, lançado em 2004 pelo Governo Federal com o objetivo de, por meio da dessalinização, estabelecer uma Política Pública permanente de acesso à água de qualidade para consumo humano em comunidades rurais vulneráveis do Semiárido brasileiro.

O PAD, o qual as ações de larga escala só ocorreram a partir de 2011, entrou em 2020 em uma nova etapa, visando o alcance de maior sustentabilidade hídrica e energética em seus processos. O presente capítulo apresenta duas metodologias aplicadas para avaliar as perspectivas futuras deste Programa, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico.

Como objetivo geral proposto, este trabalho avalia o potencial técnico e econômico de implementação de unidades de dessalinização por osmose inversa de pequeno porte integradas à fontes renováveis de energia no Semiárido brasileiro com base na planta híbrida do PAD localizada em Maria da Paz, no Rio Grande do Norte.

Para alcançar o objetivo proposto, esta tese aborda duas análises distintas, sendo estas: (1) A avaliação das localidades no Semiárido com o maior potencial de instalação de unidades de dessalinização integradas à fontes renováveis de energia (solar fotovoltaica e/ou eólica); e (2) A realização de uma análise econômica comparativa entre o custo da água fornecido por uma unidade PAD movida parcialmente a energia solar fotovoltaica em comparação com uma fonte de abastecimento alternativa da região.

A Tabela 11 descreve os procedimentos metodológicos e objetivos específicos da tese correspondentes a cada uma das duas análises propostas por este capítulo. As metodologias utilizadas para cada uma destas análises são apresentadas mais detalhadamente pelos subcapítulos 4.1 e 4.2 do presente trabalho. Os resultados obtidos para os dois estudos figuram respectivamente no capítulo seguinte, nos subtópicos 5.1 e 5.2.

Tabela 11 - Tabela resumo da proposta metodológica.

ANÁLISE	METODOLOGIA	OBJETIVO ESPECÍFICO ABORDADO
1) Localidades com maior potencial de instalação de unidades PAD integradas à fontes renováveis de energia	Análise Multicritério Geoespacial	Propor uma metodologia de avaliação das localidades no Semiárido brasileiro com maior potencial para a implantação de unidades de dessalinização por osmose inversa de pequeno porte integradas à fontes renováveis de energia (solar fotovoltaica e/ou eólica).
2) Comparação entre os custos de produção da água dessalinizada e uma fonte de abastecimento alternativa da região	Estudo de Caso	Apresentar o caso da unidade PAD de Maria da Paz (RN), alimentada parcialmente por placas solares fotovoltaicas, de modo a realizar uma análise econômica comparativa entre o custo da água obtido pela planta em comparação com outra fonte de abastecimento alternativa da região (“Operação Vertente”)

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2020

4.1 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL TÉCNICO DO USO DE FONTES RENOVÁVEIS EM SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO DO PROGRAMA ÁGUA DOCE

O subcapítulo “2.5 Dessalinização com o Uso de Fontes Renováveis” do presente trabalho apresentou o estado da arte das principais integrações existentes entre sistemas de dessalinização e fontes de energia renováveis. Apesar dos benefícios ambientais e da crescente viabilidade, tais sistemas ainda apresentam barreiras técnicas e econômicas, e a tomada de decisão por um tipo ou outro de integração depende de diversos fatores referentes às especificidades do local de instalação. Cada caso deve ser analisado individualmente, levando em consideração e ponderando cada um destes fatores.

Neste sentido, este subcapítulo tem por objetivo apresentar a metodologia aplicada para avaliar os municípios do Semiárido brasileiro com maior potencial técnico para a implantação de unidades de dessalinização por osmose inversa de pequeno porte integradas à fontes renováveis de energia (solar fotovoltaica e/ou eólica). Tal análise poderá servir como base para a tomada de decisão no que diz respeito à implementação de futuras unidades de dessalinização do PAD integradas à fontes de energia renovável.

Como ferramenta para fundamentar a metodologia proposta, optou-se pelo uso de uma Análise Multicritério Geoespacial. Surgida na década de 1960, a Análise Multicritério é uma técnica desenvolvida como instrumento de apoio à tomada de decisão. Esta ferramenta é aplicada na análise comparativa de projetos alternativos ou medidas heterogêneas no estudo de uma situação considerada complexa (RAMJERDI *et al.*, 2008).

Ao estruturar e combinar diferentes critérios de uma determinada análise, esta técnica permite sintetizar opiniões expressadas, determinar prioridades, analisar situações de conflito, orientar decisões de natureza operacional e/ou formular recomendações para atividades futuras (RAMJERDI *et al.*, 2008).

Em Análises Multicritério, a qualidade dos índices calculados para cada parâmetro depende diretamente da qualidade e adequação dos dados usados. De modo a conduzir a um resultado realista da questão em análise, é imprescindível proceder ao uso de dados qualitativos e à identificação do modelo de agregação multicritério mais adequado para a seleção da estrutura a ser adotada.

O modelo de análise multicritério pode ser implementado em Sistemas de Informação Geográfica, dando origem à sistemas espaciais de apoio à decisão. Graças ao desenvolvimento de tecnologias de geoprocessamento, a "Análise Multicritério Geospacial" vem sendo amplamente empregada em estudos relacionados ao planejamento e gestão energética e ambiental, tais como: (a) a definição de áreas mais adequadas para instalação de empreendimentos; (b) a análise de risco ambiental; (c) o planejamento de uso das terras; e (d) a análise de sensibilidade ambiental.

A Análise Multicritério Geospacial é realizada em três etapas: (a) a classificação, isto é, a compilação, geração e distribuição geoespacial dos parâmetros considerados; (b) a reclassificação, ou seja, a normalização das unidades e ordens de grandeza dos parâmetros; e (c) a ponderação, onde um peso é atribuído a cada critério, expressando dessa forma a importância de cada parâmetro em relação aos outros (MALCZEWSKI, 1999).

A Análise Multicritério Geospacial do presente trabalho, cujo objetivo é de apontar áreas de maior potencial para a instalação de unidades de dessalinização por osmose inversa de pequeno porte integradas à fontes renováveis de energia pode ser aplicada tanto para sistemas autônomos quanto para sistemas de dessalinização híbridos

(Off-Grid + On-Grid). Esta análise se restringiu apenas aos aspectos físicos relacionados à integração entre a tecnologia de osmose inversa e fontes solar fotovoltaica e eólica no Semiárido brasileiro. Disponibilidades do mercado local, assim como aspectos socioeconômicos e logísticos de cada localidade não foram abordados neste estudo, apesar de sua relevância para uma seleção mais aprofundada de áreas com elevado potencial para estas unidades.

A presente Análise Multicritério Geospacial considerou três parâmetros, sendo estes: (a) Restrição local de água (superficial e subterrânea); (b) Velocidade média do vento no local; e (c) Irradiação solar média no local. Os dados foram provenientes de diferentes bases de dados gratuitas disponíveis e processados pelo software ArcGIS 10.4 (ESRI, 2016).

Dados referentes às restrições locais de disponibilidade hídrica no Semiárido foram extraídos da base de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH (ANA, 2016), considerando cinco faixas de classificação do Índice de Escassez da Água (*Water Exploitation Index – WEI*), fornecidos pela Agência Ambiental Europeia (*European Environment Agency – EEA*) e pelas Nações Unidas (EEA, 2017). O índice de escassez permite relacionar as disponibilidades com as necessidades e assim aferir a procura em relação à oferta de forma a considerar se existe ou não escassez em cada região hidrográfica. O *WEI* corresponde à razão entre a procura média anual de água e os recursos médios disponíveis a longo prazo, permitindo dessa forma avaliar o *stress* hídrico a que se encontra sujeito determinado território (EEA, 2017). A Tabela 12 apresenta as diferentes faixas de classificação adotadas para o parâmetro "Restrição local de água" na presente Análise Multicritério Espacial.

Tabela 12 - Faixas de Classificação para o Parâmetro "Restrição local de água" da Análise Multicritério Espacial.

Faixas de Classificação:	**Índice de Escassez (*WEI*):**	**Status:**
Classe 1:	*WEI* < 5%	Excelente
Classe 2:	5% < *WEI* < 10%	Decente
Classe 3:	10% < *WEI* < 20%	Preocupante
Classe 4:	20% < *WEI* < 40%	Crítico
Classe 5:	*WEI* > 40%	Muito Crítico

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, baseado nos dados de EEA, 2017

Dados referentes à velocidade do vento na região semiárida foram retirados Atlas do Potencial Eólico de 2013, realizado pelo Centro Brasileiro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL, com base no modelo numérico de mesoescala do Brazilian Developments on the Regional Atmospheric Modeling System – *BRAMS*, com resolução horizontal de 5km x 5km e uma rede de medições anemométricas utilizada para ajuste dos resultados (CEPEL, 2013).

Nesta análise, foram utilizados dados referentes à velocidade média do vento (em m/s) para torres eólicas de 30 metros de altura, sendo os intervalos de velocidade (*speed bands*) agrupados em 10 classes ordinais, conforme indicado pela Tabela 13. Estas classes foram definidas com base nas curvas de potência das turbinas eólicas de acordo com a velocidade do vento. A relação entre a velocidade do vento e a potência nominal média da turbina foi compilada com base nos dados relatados pelo estudo de Lydia *et al*. (2014) e fornecedores brasileiros e internacionais de turbinas eólicas (DALMAZ, 2007).

Tabela 13 - Faixas de Classificação para o Parâmetro ‘’Velocidade média do vento’’ da Análise Multicritério Espacial.

Faixas de Classificação:	**Velocidade Média do Vento (em m/s):**	**Potência Nominal Média da Turbina (em %):**
Classe 1:	$1,5 \leq V \leq 2,5$	$1\% \leq P < 5\%$
Classe 2:	$3 \leq V \leq 3,5$	$5\% \leq P < 8,5\%$
Classe 3:	$4 \leq V \leq 4,5$	$8,5\% \leq P < 12,5\%$
Classe 4:	$5 \leq V \leq 5,5$	$12,5\% \leq P < 17,5\%$
Classe 5:	$6 \leq V \leq 6,5$	$17,5\% \leq P < 25\%$
Classe 6:	$7 \leq V \leq 7,5$	$25\% \leq P < 35\%$
Classe 7:	$8 \leq V \leq 9$	$35\% \leq P < 50\%$
Classe 8:	$9,5 \leq V \leq 10$	$50\% \leq P < 65\%$
Classe 9:	$10,5 \leq V \leq 11$	$65\% \leq P < 80\%$
Classe 10:	$11,5 \leq V$	$80\% \leq P$

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, baseado nos dados de CEPEL (2013) e DALMAZ (2007)

Dados referentes à irradiação solar média (em kJ/m²/dia) foram obtidos pelo *WorldClim* (FICK *et al.*, 2017), banco de dados que apresenta dados climáticos em grade com resolução espacial interpolada de 1 km². Nesta análise, estes dados de irradiação solar média foram agrupados em 10 classes ordinais com base no método de otimização de Jenks (1967), conforme ilustrado pela Tabela 14.

Tabela 14 - Faixas de Classificação para o Parâmetro ‘’Irradiação Solar média’’ da Análise Multicritério Espacial.

Faixas de Classificação:	**Irradiação Solar Média (em kJ/m²/dia):**
Classe 1:	11.509 ≤ Srad med < 13.737
Classe 2:	13.737 ≤ Srad med < 14.210
Classe 3:	14.210 ≤ Srad med < 14.716
Classe 4:	14.716 ≤ Srad med < 15.222
Classe 5:	15.222 ≤ Srad med < 15.729
Classe 6:	15.729 ≤ Srad med < 16.235
Classe 7:	16.235 ≤ Srad med < 16.809
Classe 8:	16.809 ≤ Srad med < 17.416
Classe 9:	17.416 ≤ Srad med < 18.092
Classe 10:	18.092 ≤ Srad med < 20.117

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, baseado nos dados de Fick *et al.*, 2017

4.2 AVALIAÇÃO ECONÔMICA COMPARATIVA DO CUSTO DA ÁGUA NO RIO GRANDE DO NORTE

O subcapítulo “3.5.3 Resultados Obtidos e Esperados” apresentou os resultados alcançados e as perspectivas futuras do Programa Água Doce. O PAD, o qual as ações de larga escala só ocorreram em 2011, entrou em 2020 em uma nova etapa, que visa o alcance de maior sustentabilidade hídrica e energética em seus processos, assim como o contínuo melhoramento da questão social (BRASIL, 2020).

Neste sentido, este subcapítulo tem por objetivo apresentar o caso da planta de dessalinização PAD de Maria da Paz (RN), movida parcialmente por energia solar fotovoltaica, de modo a realizar uma análise econômica comparativa entre o custo da água obtido por esta unidade em comparação com a "Operação Vertente", fonte de abastecimento alternativa do estado do Rio Grande do Norte.

As apresentações da unidade de dessalinização de Maria da Paz e da "Operação Vertente" encontram-se na sequência deste subcapítulo. Ambas as fontes de abastecimento permanecem em operação no RN nos dias atuais. A escolha pela unidade PAD de Maria da Paz para este estudo foi evidente, por tratar-se da única planta de dessalinização do Programa até o momento a utilizar uma fonte renovável de energia para alimentar o seu sistema.

Por sua vez, a escolha da "Operação Vertente" para a análise econômica comparativa se deu por tratar-se de uma ação emergencial do governo do RN lançada no mesmo período e em regiões próximas e com características similares às do Assentamento de Maria da Paz.

As conclusões obtidas por esta análise econômica comparativa encontram-se no subcapítulo "5.2 Resultados quanto à Avaliação Econômica Comparativa do Custo da Água" do presente trabalho.

- **UNIDADE PAD DE MARIA DA PAZ (RN)**

O Rio Grande do Norte faz parte do conjunto de Estados que constituem o chamado polígono das secas, e 88% do seu território está contido na região semiárida (BRASIL, 2010). A deficiência na oferta de água potável é uma realidade complexa e atinge especialmente as populações de poder aquisitivo menor, residentes em áreas difusas do estado. Por possuir parte do seu território sobre o escudo cristalino, sua água advinda dos poços é, em grande parte dos casos, salobra e imprópria para o consumo humano.

Existem, no mínimo, 400 dessalinizadores de domínio do Governo do Estado, por meio da Semarh, do Dnocs e da Funasa, em 103 municípios (BRASIL, 2010). Entretanto, boa parte dos sistemas encontra-se inoperante por problemas técnicos. Por meio do PAD,

a recuperação de diversos sistemas de dessalinização, bem como da implantação de novos estão sendo viabilizados.

Com cerca de 30.000 habitantes e um terço de sua população vivendo em zonas rurais, o município de João Câmara (Figura 30), no Rio Grande do Norte, se situa no bioma da caatinga e apresenta índices pluviométricos de 1050 mm/ano e IDH-M de 0,639 (BRASIL, 2010). O assentamento de Maria da Paz, localizado no município e distante de 20 km da cidade mais próxima, possui cerca de 225 habitantes (45 famílias), uma escola, um centro médico e uma criação de cerca de 60 bovinos e 40 caprinos com o uso do concentrado proveniente do seu sistema de dessalinização (IDA, 2017).

Figura 30 – Localização do Assentamento de Maria da Paz, no município de João Câmara (RN).

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Em operação desde o final de 2017, a unidade de dessalinização de Maria da Paz (Figura 31) consiste na primeira experiência brasileira de integração entre sistemas de dessalinização e fontes renováveis de energia atualmente em operação no país. Esta planta de osmose inversa com o uso de placas solares fotovoltaicas foi inicialmente pensada para operar de forma autônoma, sem a necessidade de conexão com o grid. Entretanto, dada a intermitência de produção de energia devido à dependência das condições climáticas locais, coordenadores do PAD optaram pela conexão do sistema com a rede de

transmissão. Atualmente, entre 60 e 75% da energia elétrica necessária para alimentar o sistema de dessalinização de Maria da Paz provém do sistema instalado de geração fotovoltaica (IDA, 2017).

Figura 31 - Unidade de Dessalinização com o uso de energia solar fotovoltaica do PAD em Maria da Paz (RN).

Fonte: IDA, 2017

A recuperação do sistema de dessalinização existente no assentamento de Maria da Paz se deu por meio do Pregão Eletrônico n°02/2017 - SEMARH (2017), publicado no Diário Oficial do Estado no dia 18 de agosto 2017. O objeto do Pregão Eletrônico foi ‘’a contratação por 12 meses dos serviços de fornecimento, instalação e manutenção de equipamentos e materiais componentes de sistema de geração de energia elétrica através do princípio fotovoltaico e do sistema dessalinizador da comunidade de Maria da Paz, no município de João Câmara / RN, incluso projetos de instalação e recuperação, compreendendo os seguintes elementos, quando necessários a revitalização:

i. 01 (um) relatório de avaliação e reparo do sistema já instalado;
ii. 09 (nove) painéis solares;
iii. 03 (três) controladores de carga – MPPT;
iv. 01 (um) inversor de frequência;
v. 01 (uma) bomba submersa;

vi. 02 (dois) quadros de distribuição e proteção;

vii. 02 (dois) kits de cabos, conectores, disjuntores e String Box CC;

viii. 02 (duas) estruturas de concreto e metálicas, em Alumínio, para sustentação das placas;

ix. 01(uma) chave seletora de alimentação;

x. 01 (um) banco de baterias;

xi. 03 (três membranas de osmose inversa;

xii. Revitalização nas estruturas existentes. ‘’

As despesas com a execução do contrato foram custeadas com recursos alocados à Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH, consignados sobre a programação orçamentária de R$ 77.939,47 (SEMARH, 2017).

A planta de dessalinização híbrida de Maria da Paz é atualmente composta por 20 módulos solares fotovoltaicos, sendo 8 de 315 Wp e 12 de 245 Wp, com 1,94 m² e 1,64 m² de área, respectivamente. O sistema apresenta taxa de desempenho[12] de 80%, módulos com eficiência energética de 16%, vida útil de 20 anos e perda de eficiência anual de 0,5% ao ano. O sistema apresenta potência nominal de 5,46 kW e capacidade de produção de 500 litros/hora (BRASIL, 2020).

Para preservar seus equipamentos, o sistema de dessalinização híbrido de Maria da Paz opera em média 4 horas por dia, produzindo diariamente 1,8m^3 de água dessalinizada, quantidade necessária para abastecer as 45 famílias presentes no assentamento com 40 litros diários de água potável por família, ou 8 litros/pessoa/dia (BRASIL, 2020).

Além da água potável para o abastecimento humano, a unidade de Maria da Paz também utiliza o concentrado proveniente do processo de dessalinização para a dessedentação animal. O concentrado oriundo do processo é diluído em um tanque (Figura 31) e utilizado na irrigação da *erva-sal* para a produção de feno. Finalmente, a forragem produzida com teor proteico entre 14 e 18% é utilizada para a engorda dos

[12] A Taxa de Desempenho (Performance Ratio - PR) é definida como a razão entre a produção real de energia de um sistema solar fotovoltaico e a geração estimada caso não houvesse perdas no sistema. Este coeficiente visa quantificar o efeito global das perdas na produção de energia devido a perdas do inversor CC/CA, de sombreamento, sujeira, coeficientes de temperatura, desbalanceamento das cargas (*mismatching*), entre outros.

bovinos e caprinos do assentamento, fechando assim o sistema de produção integrado ambientalmente sustentável (BRASIL, 2020).

Segundo coordenadores do MDR, existe a intenção nesta nova fase do PAD de aperfeiçoar replicar este modelo de Maria da Paz em outras localidades do Semiárido, dada a expansão do mercado nacional de energia solar fotovoltaica no país, assim como a abundância desta fonte renovável de energia na região.

No que tange ao uso de energia eólica em sistemas PAD, ainda não houve nenhum comunicado oficial por parte dos coordenadores do Programa a esse respeito, mas a opção vem sendo estudada internamente, dada a rápida expansão desta fonte renovável de energia na região nordeste do país.

- **"OPERAÇÃO VERTENTE"**

Lançada em novembro de 2016, a "Operação Vertente" é uma ação organizada pelo Gabinete de Proteção e Defesa Civil do Governo do Rio Grande do Norte que tem por objetivo de abastecer, por meio de caminhões-pipa, cidades do estado declaradas em colapso hídrico pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte - CAERN (GOVERNO RN, 2021).

Nesta Operação, captação, distribuição e itinerário realizados pelos caminhões-pipa são monitorados pela Defesa Civil via satélite em tempo real, e a população beneficiada também participa da fiscalização, confirmando o recebimento da água por meio de um cartão de leitura ótica. Outra preocupação da Operação diz respeito à qualidade da água fornecida. Esta é captada em locais indicados pela CAERN, que realiza o georreferenciamento de áreas e laudos de potabilidade, indicando sua viabilidade (GOVERNO RN, 2021).

Em sua primeira Fase, ocorrida no final de 2016, a "Operação Vertente I" atendeu 13 cidades do Seridó e do Oeste Potiguar do estado (Figura 32). Já a "Operação Vertente II", iniciada no dia 01 de julho de 2017 e com duração de 180 dias, beneficiou 19 cidades da região que ainda se encontravam em estado de colapso hídrico, a saber: Cruzeta, Bodó, Jardim do Seridó, Acari, Cerro Corá, Currais Novos, Paraná, Luis Gomes, Tenente Ananias, Almino Afonso, Francisco Dantas, João dias, José da Penha, Serrinha dos

Pintos, Marcelino Vieira, São Miguel, Pilões, Rafael Fernandes e Alexandria. (GOVERNO RN, 2021).

Figura 32 - Caminhão-pipa da Operação Vertente em Jardim do Seridó (RN).

Fonte: GOVERNO RN, 2021.

Para garantir o abastecimento regular, a "Operação Vertente II" contou com cerca de 90 caminhões-pipa circulando nas áreas urbanas das cidades em colapso, com a distribuição mensal entre17 e 18 mil metros cúbicos de água potável e quase 44 mil atendimentos diários (GOVERNO RN, 2021). No final do ano de 2017, após os 6 meses de vigência do contrato, a "Operação Vertente II" havia abastecido de forma contínua 105.000 habitantes do Rio Grande do Norte, entregando ao todo 106.000 metros cúbicos de água potável em 19 cidades do estado com investimentos totais de R$ 7.363.000,00, advindos do Ministério da Integração Nacional (GOVERNO RN, 2021). Neste montante, estão incluídos todos os gastos da Operação, tais como a contratação dos caminhões pipa e a gestão e o monitoramento da distribuição da água pelos mesmos ao longo dos 6 meses de vigência do contrato.

No final de 2020, a Operação Vertente encontrava-se em sua 13° Fase, distribuindo água potável para os municípios de São Miguel, Luís Gomes e Paraná, todos no Oeste Potiguar.

CAPÍTULO V – RESULTADOS

5.1 RESULTADOS QUANTO À AVALIAÇÃO DO POTENCIAL TÉCNICO DO USO DE FONTES RENOVÁVEIS EM SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO DO PROGRAMA ÁGUA DOCE

Os três parâmetros abordados pelo subcapítulo " Avaliação do Potencial Técnico do Uso de Fontes Renováveis em Sistemas de Dessalinização do Programa Água Doce", a saber: Restrição de Água, Velocidade do Vento, e Irradiação Solar, foram cruzados no ArcGis pela técnica de *map algebra*. Os três parâmetros tiveram o mesmo peso na análise. Os valores dos pixels de cada classe de cada parâmetro foram multiplicados entre si para toda a extensão do Semiárido, obtendo-se resultados variando de 1 a 500 para cada pixel da análise. O resultado deste novo plano de informação foram agrupados pelo método de otimização de *Jenks* em classes ordinais variando de 1 a 10, sendo a classe 10 a de maior potencial para a instalação de unidades de dessalinização por osmose inversa de pequeno porte com o uso de energia solar fotovoltaica e eólica. A Figura 33 apresenta o resultado desta Análise Multicritério Geoespacial.

Os estados do Ceará e do Rio Grande do Norte, assim como a parte central do estado da Bahia, são as regiões com o maior potencial para implantação de unidades de pequeno porte de dessalinização por osmose inversa alimentadas parcialmente ou inteiramente por energia solar fotovoltaica e eólica. Em contrapartida, as regiões noroeste e nordeste do estado de Minas Gerais e o sudeste da Bahia apresentam o menor potencial de implantação destes sistemas. De modo geral, a parte oeste da região semiárida apresenta potencial moderado.

Para uma análise de tomada de decisão mais precisa, uma próxima etapa seria de filtrar as áreas de maior potencial de implantação indicadas por este estudo - classes 8, 9 e 10 no mapa – e investigar a existência de poços localizados nestas regiões com suas respectivas características, tais como qualidade da água e vazão. O Sistema Brasileiro de Informação e Conhecimento do Semiárido (SIGSAB), do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), detém estas informações em seu banco de dados, porém seu acesso não é aberto ao público.

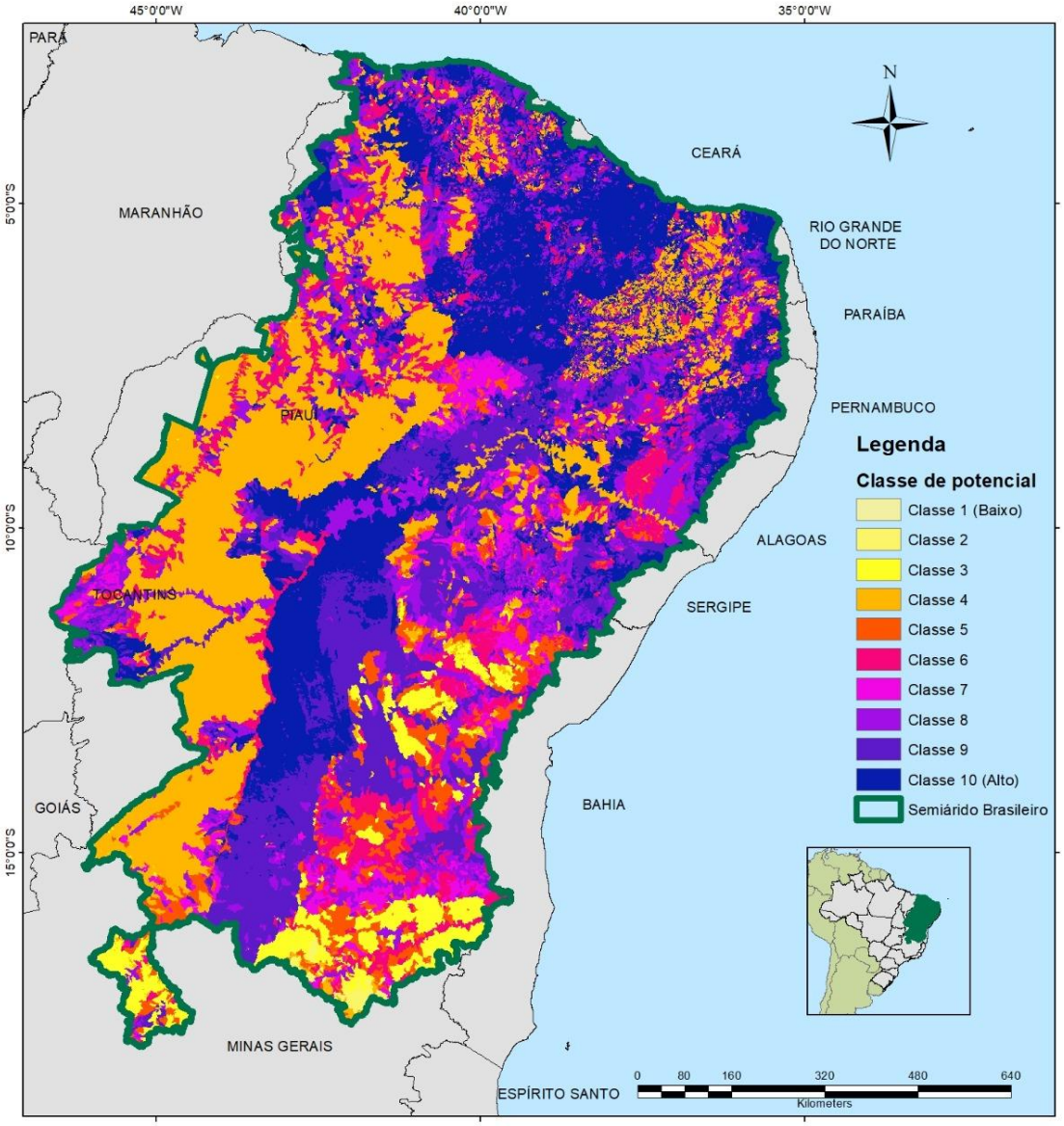


Figura 33 - Potencial de implementação de unidades de dessalinização por osmose inversa de pequeno porte com o uso de energia solar fotovoltaica e eólica no Semiárido brasileiro.

Fonte: Haguenauer *et al.*, 2019

Tendo acesso a estas informações, uma próxima etapa consistiria em realizar uma análise técnica e econômica específica para um corte de municípios selecionados. Esta análise incluiria parâmetros como o acesso ou não à rede de transmissão, o custo da água local, a demanda de água da população, a disponibilidade de mão-de-obra especializada para instalar o sistema, o custo do terreno, a melhor configuração e tamanho da planta, dentre outros.

Finalmente, embora este estudo seja pioneiro em demonstrar uma possível sinergia entre sistemas de dessalinização por osmose inversa de pequeno porte e o uso de energia solar fotovoltaica e eólica no Semiárido brasileiro, mais pesquisas experimentais devem ser abordadas de modo a validar as áreas apontadas pela Análise Multicritério Geoespacial.

5.2 RESULTADOS QUANTO À AVALIAÇÃO ECONÔMICA COMPARATIVA DO CUSTO DA ÁGUA

Os resultados obtidos pela análise econômica comparativa entre as duas ações apresentadas pelo subcapítulo "4.2 Avaliação Econômica Comparativa do Custo da Água no Rio Grande do Norte" estão apresentados na Tabela **15** e nos Gráficos 6 e 7.

O parâmetro temporal adotado para a base de cálculo do custo da água para a "Operação Vertente II" foi o de 6 meses (ou 180 dias), pois reflete o período de vigência da Operação, ocorrida entre 01/07/2017 e 31/12/2017. Neste período, foram distribuídos 106.000 m^3 de água à população de zonas difusas do Rio Grande do Norte. O investimento total desta Ação foi de R$ 7.363.000,00, oriundos do Ministério da Integração Nacional e repassados ao governo do estado do RN (GOVERNO RN, 2021).

O custo do metro cúbico da água obtido para a "Operação Vertente II" se deu pela divisão entre o montante total investido nesta Fase da Operação e o volume de água entregue nas comunidades do RN ao longo dos seus seis meses de vigência. Desta forma, temos que:

$$C = \frac{7.363.000}{106.000} = \text{R\$ } 69{,}46/\text{m}^3$$

Para fins de comparação, e também pela falta de dados recentes disponíveis sobre o custo e a quantidade exata de água distribuída nas novas Fases da "Operação Vertente", esta análise econômica comparativa partiu do princípio de que a "Operação Vertente II", realizada durante o segundo semestre de 2017, se repetiu de forma contínua ao longo do tempo, sempre com os mesmos parâmetros de vigência, de custo e de volume de água distribuídos.

Esta extrapolação se fez necessária para fins de comparação com a unidade PAD de Maria da Paz, apesar de não levar em consideração uma série de fatores, tais como a variação do preço do diesel ao longo dos anos e, consequentemente, dos serviços terceirizados de caminhão pipa em RN, a variação da disponibilidade e da qualidade da água nos pontos de coleta apontados pela CAERN, o desgaste das estradas, o impacto cumulativo das emissões de CO2, dentre outros.

Para o caso da unidade PAD de Maria da Paz, o custo da água dessalinizada distribuída se deu pela seguinte fórmula:

$$C = \frac{I + (O\&M \text{ x } t)}{(V \text{ x } 30 \text{ x } t)} \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:

C = Custo da água (R$/m^3);

I = Investimento de Recuperação do Sistema de Dessalinização + Instalação do Sistema de Geração Fotovoltaica (= R$ 77.939,47);

O&M = Custo mensal de Operação e Manutenção do Sistema (R$ 1079,72/mês);

V = Volume Diário de Água Dessalinizada Distribuída (= 1,8 m^3/dia); e

t = Tempo decorrido (em meses).

Como "**I**", "**O&M**", e "**V**" são valores constantes conhecidos e que a única variável desta Equação é o tempo "'**t**", temos que:

$$C = \frac{77939{,}47 + (1079{,}72 \text{ x } t)}{(1{,}8 \text{ x } 30 \text{ x } t)} \qquad \text{Equação 1}$$

Importante ressaltar que a "Recuperação do Sistema de Dessalinização" citada na memória de cálculo inclui o conserto do dessalinizador de Maria da Paz, a reforma das obras civis com seu sistema de adutora (chafariz eletrônico, abrigo do dessalinizador, casa de bomba, reservatórios de água potável e do concentrado), o cercamento das áreas e a construção de tanques de concentrado.

O valor mensal médio de O&M utilizado na base de cálculo foi o de R$ 1079,72/mês, conforme a Tabela 8 (pg. 84). Segundo coordenador estadual do PAD em RN, os valores mensais de O&M do sistema de dessalinização híbrido de Maria da Paz

são similares aos de um sistema de dessalinização padrão do PAD. Isto ocorre pois grande parte da economia mensal com energia elétrica gerada pelo sistema híbrido acaba sendo compensada pelas visitas técnicas mais custosas do sistema integrado e pelo aumento do salário dos operadores, que exigem maior conhecimento técnico e mais horas de formação (IDA, 2017).

A Tabela 15 e a Figura 34 apresentam os resultados da análise econômica comparativa proposta, demonstrando a variação ao longo do tempo entre os custos da água provenientes da unidade PAD de Maria da Paz e da "Operação Vertente II".

Tabela 15 - Custo da Água em Função do Tempo.

	Operação Vertente II	**Unidade PAD de Maria da PAZ**
Investimento Total em 6 meses:	R$ 7.363.000,00	R$ 84.417,80
Volume de Água Distribuído em 6 meses:	106.000 m^3	324 m^3
Custo da Água em 6 meses	R$ 69,46 / m^3	R$ 260,55 / m^3
Custo da Água em 1 ano:	R$ 69,46 / m^3	R$ 140,27 / m^3
Custo da Água em 1 ano e 6 meses:	R$ 69,46 / m^3	R$ 100,18 / m^3
Custo da Água em 2 anos:	R$ 69,46 / m^3	R$ 80,13 / m^3
Custo da Água em 2 anos e 6 meses:	R$ 69,46 / m^3	R$ 68,11 / m^3
Custo da Água em 3 anos:	R$ 69,46 / m^3	R$ 60, 09 / m^3

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

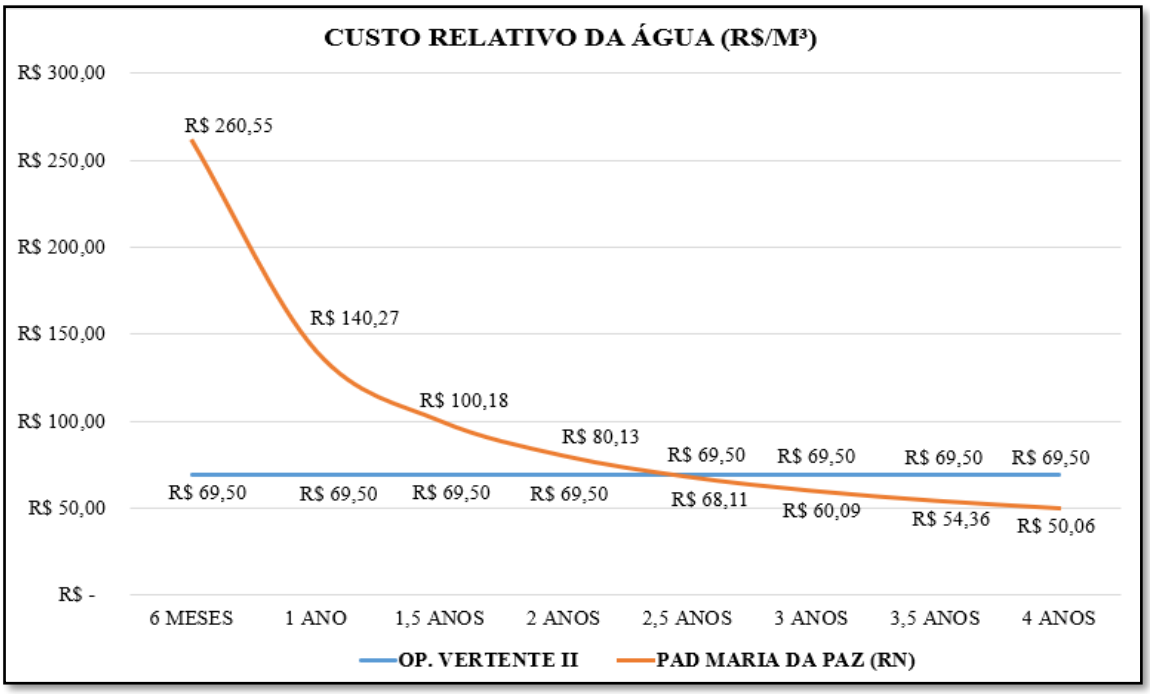


Figura 34 - Análise Econômica Comparativa do Custo da Água (R$/m3).

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

A Figura 34 apresenta a evolução do custo da água das duas alternativas de abastecimento ao longo do tempo. Conclui-se pelo gráfico que a unidade PAD de Maria da Paz torna-se economicamente mais vantajosa que a distribuição por carro pipa da "Operação Vertente II" a partir de 2,5 anos (ou 30 meses) de funcionamento, custando cerca de R$ 68,00/m^3. Mais especificamente, ao realizar a integral da equação que iguala a "Equação 1" a R$ 69,50, sendo este último o custo da água obtido pela "Operação Vertente II", obtém-se o cruzamento das duas curvas para "t = 29,2". Como "t" está em contabilizado em "meses", conclui-se que a opção de Maria da Paz passa a ser economicamente mais vantajosa a partir de exatos 876 dias de operação (ou 29,2 meses).

O Figura 35 apresenta o custo da água para as duas opções de abastecimento ao final de 20 anos, sendo este o tempo de vida útil das placas solares fotovoltaicas do sistema de dessalinização de Maria da Paz. Conclui-se pelo gráfico que, ao final dos 20 anos de operação, o custo da água dessalinizada pelo sistema de Maria da Paz passa de R$ 260,55/m^3 para R$ 26/m^3.

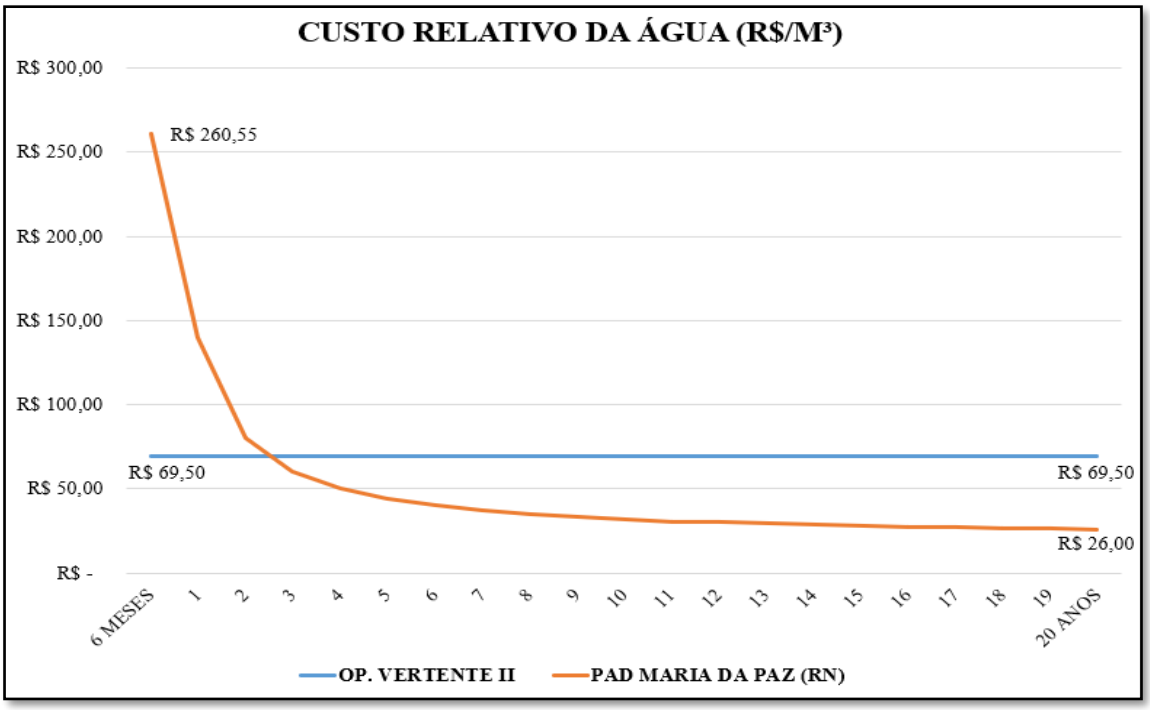


Figura 35 - Análise Econômica Comparativa do Custo da Água (R$/m3) em 20 anos.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Apesar de levar em consideração aspectos puramente econômicos, esta análise permitiu demonstrar que a integração entre sistemas solares fotovoltaicos e a recuperação de sistemas de dessalinização antigos constitui em uma alternativa economicamente viável e competitiva para garantir o abastecimento seguro e contínuo de comunidades difusas do estado de RN.

Além da questão econômica, tal opção também possibilita o reaproveitamento sustentável de centenas de poços perfurados e abandonados na região por conta da salinidade de suas águas, além de reduzir a exposição destas comunidades difusas frente aos impactos gerados pelas mudanças climáticas.

Ao acrescentar a esta análise os potenciais benefícios sociais trazidos pela implementação de sistemas do PAD, assim como a previsão de crescimento e de competitividade das fontes solar fotovoltaica e eólica no mercado nacional de energia, conclui-se que a recuperação de sistemas de dessalinização antigos junto à instalação de fontes renováveis de energia constitui em uma alternativa de grande potencial para o abastecimento hídrico de regiões difusas do Semiárido brasileiro.

CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste estudo, uma revisão sobre as tecnologias de dessalinização e suas possíveis integrações com diferentes fontes renováveis de energia foi fornecida. Uma atenção especial foi dada à tecnologia de osmose inversa, destacando o seu potencial de integração com sistemas solares fotovoltaicos e geradores eólicos, e abordando oportunidades para a sua implementação no Semiárido brasileiro.

A escassez hídrica no Semiárido brasileiro ocorre em um espaço natural e social heterogêneo, impondo problemas diferentes que exigem soluções específicas. Neste sentido, um histórico de Políticas Públicas de convivência e de combate à seca na região foram abordados por este estudo. Uma atenção especial foi dada ao Programa Água Doce que, por meio da tecnologia de dessalinização por osmose inversa, busca aproveitar de forma sustentável as centenas de poços de água salina ou salobra perfurados porém inoperantes na região, de modo a garantir o acesso contínuo à água de qualidade em comunidades difusas do Semiárido brasileiro.

O PAD, que busca incorporar cuidados técnicos e socioambientais na implantação, recuperação e gestão de seus sistemas de dessalinização, entrou em 2020 em uma nova etapa, que visa o alcance de maior sustentabilidade hídrica e energética em seus processos.

Neste sentido, o presente estudo gerou subsídios para o desenvolvimento desta nova etapa do Programa, particularmente nos seus aspectos técnicos e econômicos. Quanto ao aspecto técnico, uma metodologia de avaliação das localidades no Semiárido brasileiro com maior potencial para a implantação de unidades de dessalinização por osmose inversa de pequeno porte integradas a fontes renováveis de energia (solar fotovoltaica e/ou eólica) foi proposta. Um mapa da região semiárida baseado em uma Análise Multicritério Geoespacial foi gerado, apontando como resultado os municípios dos estados do Ceará, do Rio Grande do Norte e da região central da Bahia como os de maior potencial de implantação para estas unidades híbridas. Em contrapartida, o menor potencial de instalação ficou para os municípios do noroeste e nordeste de Minas Gerais, assim como os do sudeste da Bahia.

Importante ressaltar que esta análise se restringiu apenas aos aspectos físicos do Semiárido brasileiro relacionados à integração entre sistemas de osmose inversa e fontes solar fotovoltaica e eólica. Disponibilidades do mercado local, assim como aspectos

socioeconômicos e logísticos de cada localidade não foram abordados neste estudo, apesar de sua relevância para uma seleção mais assertiva das áreas com elevado potencial para estas unidades.

Para uma análise mais aprofundada, uma próxima etapa deste estudo consistiria em realizar uma avaliação técnica e econômica específica para um corte de municípios selecionados. Esta investigação incluiria parâmetros como o acesso ou não à rede de transmissão, o custo da água local, a demanda de água da população, a disponibilidade de mão-de-obra especializada para instalar o sistema, o custo do terreno, a melhor configuração e tamanho da planta, dentre outros.

A última etapa desta tese consistiu em uma análise econômica comparativa do custo da água com base em um estudo de caso do PAD em Maria da Paz, no Rio Grande do Norte. Uma comparação entre o custo de produção da água dessalinizada por este sistema movido parcialmente por energia solar fotovoltaica e uma outra fonte de abastecimento hídrico alternativa da região foi proposta. Como resultado, chegou-se à conclusão de que a opção de abastecimento por carro pipa da "Operação Vertente II" deixa de ser economicamente vantajosa frente ao sistema de dessalinização híbrido de Maria da Paz a partir de cerca de 2,5 anos (30 meses) de operação.

Apesar de levar em consideração aspectos puramente econômicos, esta análise permitiu demonstrar que a integração entre sistemas solares fotovoltaicos e a recuperação de sistemas de dessalinização antigos constitui em uma alternativa economicamente viável e competitiva para garantir o abastecimento seguro e contínuo de comunidades difusas do Semiárido brasileiro. Esta opção também possibilita o reaproveitamento sustentável de centenas de poços perfurados e abandonados na região por conta da salinidade de suas águas, além de reduzir a exposição destas comunidades difusas frente aos impactos gerados pelas mudanças climáticas.

Ao acrescentar a esta análise o crescimento recente das fontes renováveis observado nos leilões brasileiros de energia, assim como os potenciais benefícios socioambientais trazidos pela implementação de sistemas do PAD, conclui-se que a recuperação de sistemas de dessalinização antigos junto à instalação de fontes renováveis de energia constitui em uma alternativa de grande potencial técnico e econômico para o abastecimento hídrico de regiões difusas do Semiárido brasileiro.

Embora o presente estudo tenha se concentrado prioritariamente nos aspectos técnicos e econômicos referentes à implementação de sistemas de dessalinização em comunidades rurais vulneráveis do Semiárido brasileiro, é fundamental ressaltar o desenvolvimento social percebido nas comunidades beneficiadas por esta tecnologia, assim como os cuidados a serem tomados para mitigar os efeitos ambientais negativos destas instalações.

A destinação adequada do concentrado oriundo dos processos de dessalinização é um ponto que demanda especial atenção por parte dos empresários e da comunidade científica. O despejo de concentrado diretamente no solo ou nos oceanos é extremamente danoso ao meio ambiente e necessita com urgência de soluções mais eficientes para a mitigação de seus efeitos, especialmente no que se referre às plantas de dessalinização de grande porte.

Reduzir a escala de produção das plantas de dessalinização é uma alternativa economicamente viável apenas para localidades específicas onde a demanda por água potável é baixa, como é o caso das comunidades vulneráveis do Semiárido brasileiro. A proposta do PAD de integrar suas unidades à criação de tilápias e à irrigação de plantas proteicas para a criação de bovinos e caprinos constitui em uma solução de grande potencial para a mitigação dos danos ambientais oriundos do processo de dessalinização, pois além de dar uma destinação adequada ao concentrado, gera uma economia circular para a comunidade. Entretando, os sistemas integrados representam menos do que 10% das unidades de dessalinização do PAD. Esta integração necessita de mais estudos e casos práticos para a sua otimização.

Outro caminho promissor na mitigação dos efeitos ambientais negativos oriundos de processos de dessalinização diz respeito ao cultivo de algas marinhas em grande escala. Além de possibilitar uma destinação adequada ao concentrado, esta alternativa pode ser aplicada para plantas de dessalinização de grande escala, gerando uma atividade econômica lucrativa e permitindo a captação de CO2 da atmosfera por meio do processo de fotossíntese. Apesar de ser citada com frequência em diversos estudos científicos, esta alternativa ainda se encontra em fase inicial de pesquisa e demanda mais experimentos práticos para a sua validação.

Quanto ao aspecto social, o diário de pesquisa do presente estudo aponta diversos ganhos sociais trazidos pelo modelo de gestão participativa proposto por este PAD. Este

diário de pesquisa incluiu apresentações e debates com diferentes técnicos e membros do PAD durante o congresso internacional de dessalinização ocorrido em São Paulo em 2017. Dentre os principais benefícios sociais trazidos pela implementação dos sistemas do PAD destacam-se o aumento de união, de empoderamento e de autonomia das comunidades beneficiadas na apropriação do acesso à água potável por meio dos sistemas de dessalinização instalados. Dada a importância e a complexidade do tema, mais estudos referentes à perspectiva social no processo de implementação de sistemas de dessalinização em comunidades vulneráveis da região são necessários.

Por fim, é possível constatar que o modelo de projeto utilizado pelo PAD tem apresentado resultados satisfatórios, se levado em consideração que o sistema padrão mais simples do Programa abrange também a sustentabilidade e a mobilização social, além de suprir as necessidades básicas de consumo da população beneficiada. As tecnologias de dessalinização não substituem as soluções existentes no Semiárido, elas se tornam mais uma opção de abastecimento seguro para as populações vulneráveis que se somam às demais.

Espera-se que a crescente expansão dos mercados solar fotovoltaico, eólico e de membranas estimule ainda mais o crescimento e a maior aceitação da integração destas tecnologias, tornando-as em um movimento significativo em direção à sustentabilidade do abastecimento hídrico em regiões vulneráveis.

Finalmente, embora este estudo seja pioneiro em demonstrar uma possível sinergia entre sistemas de dessalinização e fontes renováveis de energia no Semiárido brasileiro, mais pesquisas experimentais devem ser abordadas. É fundamental que o governo brasileiro intensifique por meio de subsídios o seu apoio a iniciativas como o PAD, e que reforce a transferência de tecnologia por meio da cooperação com países como Israel, que possuem longa experiência prática com sistemas de dessalinização integrados a fontes renováveis de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB`SABER, A.N. **Os Domínios de Natureza no Brasil**. 7ª edição, Cotia, Ateliê Editorial, p. 81-98, 2012.

ABSOLAR. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil – Infográfico ABSOLAR**, 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/wp-content/uploads/2021/02/2021.01.08%20Infogr%C3%A1fico%20ABSOLAR%20n%C2%B0%2027.pdf> . Acesso em: 05 de julho de 2021.

ABDELKAREEM M.A., EL HAJ ASSAD M., SAYED E.T., SOUDAN B., **Recent progress in the use of renewable energy sources to power water desalination plants**, *Desalination*. 435 (2018) 97–113. doi:10.1016/j.desal.2017.11.018.

ALKAISI A., MOSSAD R., SHARIFIAN-BARFOROUSH A., **A review of the water desalination systems integrated with renewable energy**, Energy Procedia. 110 (2017) 268–274. doi:10.1016/j.egypro.2017.03.138.

AL-KARAGHOULI A., KAZMERSKI L.L., **Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes**, Renew. Sustain. Energy Rev. 24 (2013) 343–356. doi:10.1016/j.rser.2012.12.064.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **PROÁGUA Semiárido: Realizações e Resultados**, Brasília: Agência Nacional de Águas, 2005b.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Nordeste - Abastecimento Urbano de Água: Alternativas de Oferta de Água para as Sedes Municipais da Região Nordeste do Brasil e do Norte de Minas Gerais**, Brasília: Agência Nacional de Águas, 2006.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Programa Interáguas: Políticas Sociais do Programa Interáguas**, Brasília: Agência Nacional de Águas, 2010.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Balanço Hídrico Quantitativo**, Brazilian Water Agency, 2016. Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=35f247ac-b5c4-419e-9bdbdcb20defb1f4>. Acesso em 14 de setembro de 2019.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno**, ANA, Brasília, 2017. Disponível em:< http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura_completo.27432e70.pdf>. Acesso em: 30 de agosto de 2018.

AQUINO J. R. ; ALVES M.O. ; VIDAL M.F. **Agricultura familiar no Nordeste do Brasil: um retrato atualizado a partir dos dados do Censo Agropecuário 2017.** Disponível em:< https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Localizacao-geografica-da-Regiao-Nordeste-e-delimitacao-institucional-do_fig1_345940790>. Acesso em: 18 de agosto de 2019.

ASA – Articulação no Semiárido Brasileiro. **Caminhos para a Convivência com o Semiárido**, 3ª edição, Recife: ASA, 2008.

ASA – Articulação no Semiárido Brasileiro. **Programa Uma Terra e Duas Águas - P1+2: Resultados**. 2013. Disponível em: <https://www.asabrasil.org.br/acoes/p1-2>. Acesso em: 20 de setembro de 2021.

ASA – Articulação no Semiárido Brasileiro. **Programa Um Milhão de Cisternas - P1MC: Resultados.** 2021. Disponível em: <https://www.asabrasil.org.br/acoes/p1mc>. Acesso em: 20 setembro de 2021.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil**, 1985.

BENNETT A., **Cost effective desalination: Innovation continues to lower desalination costs**, Filtr. Sep. 48 (2011) 24–27. doi:10.1016/S0015-1882(11)70164-1.

BENNETT A., **50th Anniversary: Desalination: 50 years of progress**, Filtr. Sep. 50 (2013) 32–39. doi:10.1016/S0015-1882(13)70128-9.

BIRKETT J.D., **A brief illustrated history of desalination**, Desalination. 50 (1984) 17–52. doi:http://dx.doi.org/10.1016/0011-9164(84)85014-6.

BOBBIO, N. **Estado, Governo, Sociedade: Por uma Teoria Geral da Política**, 1ª edição, São Paulo: Paz e Terra, 1986.

BODEN K.S., SUBBAN C.V., **A Road Map for Small-Scale Desalination, Oxfam International**, Oxford, UK, 2018.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 91.179, de 1 de abril de 1985. Dispõe sobre a definição da estratégia de desenvolvimento rural para pequenos produtores, e a criação do Programa de Apoio ao Pequeno Produtor Rural, no âmbito do programa de Desenvolvimento da Região Nordeste - Projeto Nordeste**. Diário Oficial da União, Brasília, 1985.

BRASIL. Presidência da República**. Decreto S/N, de 27 de dezembro de 1994. Cria o Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios - PRODEEM e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, 1994.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989**. Diário Oficial da União, Brasília, 1997.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **São Francisco**. Brasília, 2004. Disponível em:<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/projeto-sao-francisco>. Acesso em: 11 de agosto de 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Plano Estratégico de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido - PDSA**. Brasília, 2005.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de**

1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 2007a.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **CONVIVER: Programa de Desenvolvimento Integrado e Sustentável do Semiárido**. Brasília, 2009a.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Folder do Programa Água Doce**, MMA, Brasília, 2009b.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resumo Executivo – Planos Estaduais do Programa Água Doce 2010-2019**. Brasília, 2010. Disponível em:< https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/aguadoce/ArquivosPDF/resumo_executivo_PAD-1.pdf>. Acesso em 20 de outubro de 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Panorama do Saneamento Básico no Brasil - Cadernos Temáticos para o Panorama do Saneamento Básico no Brasil – vol. nº 7**. Brasília, 2011a.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 2.914, de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Brasília, 2011b.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 7.535 de 26 de julho de 2011. Institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Água - "ÁGUA PARA TODOS".** Diário Oficial da União, Brasília, 2011c.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Documento Base do Programa Água Doce**. Brasília, 2012a. Disponível em: < https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/aguadoce/ArquivosPDF/ANEXO_I_-_PAD_-_Documento_Base_Final_2012.pdf>. Acesso em 13 de outubro de 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Interáguas: Manual Operativo**. Brasília, 2012b.

BRASIL. Presidência da República. **Instrução Operacional nº 1 de 9 de dezembro de 2013. Especifica o Modelo da Tecnologia Social de Acesso à Água - Cisterna de Placas Familiar de 16 mil Litros para Consumo Humano e seu Respectivo Valor de Referência**. Diário Oficial da União, Brasília, 2013a.

BRASIL. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS**. Brasília, 2018a. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto**. Brasília, 2018b. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2018/Diagnostico_AE2018.pdf>. Acesso em: 13 de maio de 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Apresentação Programa Água Doce**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.mdr.gov.br/seguranca-hidrica/programa-agua-doce>. Acesso em: 05 de junho de 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Delimitação do Semiárido**, 2021a. Disponível em:< http://antigo.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>. Acesso em: 09 de junho de 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. **Semiárido Brasileiro**. Brasília, 2021b. Disponível em: < https://www.gov.br/mcti/pt-br/rede-mcti/insa/semiarido-brasileiro>. Acesso em: 10 de junho 2021.

BRITO L.T. ; PEREIRA L.A. ; MELO R.F. **Disponibilidade Hídrica Superficial.** Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2009. Disponível em:< https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000g5twggzi02wx5ok01edq5svhveof2.html>. Acesso em: 27 de abril de 2020.

BUAINAIN A.M.; GARCIA J.R. 2011. **Desenvolvimento rural do semiárido brasileiro: transformações recentes, desafios e perspectivas**. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/confins.8633 >. Acesso em: 20 de agosto de 2019.

BUARQUE, S.C.; TAVARES, R. **Desenvolvimento Regional Sustentável: Reflexões Sobre a Experiência do Banco do Brasil**, Brasília: Fundação Banco do Brasil/IICA, 2008.

CABRAL, R. **Das Ideias à Ação, a Sudene de Celso Furtado - Oportunidade Histórica e Resistência Conservadora**, Cadernos do Desenvolvimento, ano 5, n. 8, Centro Internacional Celso Furtado de Políticas para o Desenvolvimento, 2011.

CABRERA P., ANTONIO J., GONZALEZ J., MELIÁN G., ***Wind-driven SWRO desalination prototype with and without batteries : A performance simulation using machine learning models***, *Desalination.* 435 (2018) 77–96. doi:10.1016/j.desal.2017.11.044.

CARVALHO, O. As Secas e Seus Impactos. In CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, **A Questão da Água no Nordeste**, CGEE, Brasília-DF, 2012. Disponível em: <https://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/669/4/A%20quest%C3%A3o%20da%20%C3%A1gua%20no%20Nordeste.pdf>. Acesso em: 06 de outubro de 2019.

CEPEL, **Atlas Eólico Brasileiro - Simulações 2013**, Centro de Pesquisa de Energia Elétrica - Eletrobrás, Rio de Janeiro, Brasil, 2013. Disponível em: <http://novoatlas.cepel.br/index.php/mapas-tematicos/>. Acesso em 13 de setembro de 2019.

CERVO, A.L.; BERVIAN, P. A.; DA SILVA, R. **Metodologia Científica**.6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CHACON, S.S. **O Sertanejo e o Caminho das Águas: Políticas Públicas, Modernidade e Sustentabilidade no Semiárido**, Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2007.

CHALOULT, Y. **Uma das Contradições da Nova República: O Projeto Nordeste**, Cadernos de Difusão de Tecnologia, v. 2, n. 2, p. 271-304, 1985.

CHONG T.H., LOO S.L., FANE A.G., KRANTZ W.B., **Energy-efficient reverse osmosis desalination: Effect of retentate recycle and pump and energy recovery device efficiencies**, Desalination. 366 (2015) 15–31. doi:10.1016/j.desal.2015.01.017.

COHEN Y., SEMIAT R., RAHARDIANTO A., **A Perspective on Reverse Osmosis Water Desalination: Quest for Sustainability**, Am. Inst. Chem. Eng. - AIChE J. 63 (2017) 1771–1784. doi:10.1002/aic.15726.

COTTA R.M., PONTEDEIRO A.C., SAMPAIO P.A.B., SU JIAN, CARVALHO C.A., CARAJILESCOV P., LISBOA L.M., SOUZ J.R.B., FREITAS M.A.V., HAGUENAUER G.M. **Pequenos Reatores Modulares (smrs): Perspectivas em Dessalinização Nuclear.** Revista ABDAN,pg. 19-21, 2019.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União. Brasília, 2005.

DALMAZ A., **Estudo do potencial eólico e previsão de ventos para geração de eletricidade em Santa Catarina.** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

DARWISH M.A., ABDULRAHIM H.K., HASSAN A.S., MABROUK A.A., **PV and CSP solar technologies & desalination: economic analysis**, Desalin. Water Treat. 57 (2016) 16679–16702. doi:10.1080/19443994.2015.1084533.

EEA, **Water Exploitation Index, European Environmental Agency**, 2017. Disponível em: < https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/water-exploitation-index>. Acesso em: 13 de setembro de 2019.

ELLABAN O., ABU-RUB H., BLAABJERG F., **Renewable energy resources : Current status, future prospects and their enabling technology**, Renew. Sustain. Energy Rev. 39 (2014) 748–764. doi:10.1016/j.rser.2014.07.113.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). (2016). **ArcGIS Release 10.4**. Redlands, CA.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2016. **Aquastat website**,. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm>. Acesso em: 21 de agosto de 2018.

FERREIRA R.S., VEIGA H.P., GLEICE R., SAIA A., RODRIGUES S.C., BEZERRA D.M., HERMES C., MOURA A., CUNHA L.H. **Empowering brazilian northeast rural communities to desalinated drinking water access : Programa Água Doce**, in: Int. Desalin. Assoc. World Congr., IDA- International Desalination Association, São Paulo, Brazil, 2017: pp. 1–13.

FICK S.E., HIJMANS R.J., **WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas**, Int. J. Climatol., 37 (2017) 4302–4315.

FRANÇA, F. M. C.. **Documento referencial do polo de desenvolvimento integrado Petrolina-Juazeiro**. Banco do Nordeste do Brasil (BNB). 1997.

FREITAS, M.A.S. **Que Venha a Seca: Modelos para Gestão de Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas**, Rio de Janeiro: CBJE, 2010.

FREY, K. **Políticas Públicas: Um Debate Conceitual e Reflexões Referentes à Prática da Análise de Políticas Públicas no Brasil.** Planejamento e Políticas Públicas, v. 21, p. 211- 259, 2000.

FRITZMANN C., LOWENBERG J., WINTGENS T., MELIN T., **State-of-the-art of reverse osmosis desalination**, Desalination. 216 (2007) 1–76. doi:10.1016/j.desal.2006.12.009.

GELINSKI, C.R.O.G.; SEIBEL, E.J. **Formulação de Políticas Públicas: Questões Metodológicas Relevantes**, Revista de Ciências Humanas, v. 42, p. 227-240, 2008.

GHALAVAND Y., HATAMIPOUR M.S., RAHIMI A., **A review on energy consumption of desalination processes**, Desalin. Water Treat. 54 (2015) 1526–1541. doi:10.1080/19443994.2014.892837.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GOVERNO RIO GRANDE DO NORTE. **Operação Vertente**, Gabinete Civil do Governo do Estado, 2021. Disponível em:< http://www.gabinetecivil.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=PROCED&TARG=&ACT=xp00_BUSCA&PAGE=0&PARM=%22opera%E7%E3o+vertente%22+%2C%22ANY%22%2C+%22PESQUISA+EM+TODO+O+PORTAL%22&LBL=>. Acesso em: 13 de julho de 2021.

GOMES, G.M. **Velhas Secas em Novos Sertões**, Brasília: IPEA, 2001.

GUDE V.G., **Energy consumption and recovery in reverse osmosis**, Desalin. Water Treat. 36 (2011) 239–260. doi:10.5004/dwt.2011.2534.

GUDE V.G., **Desalination and sustainability - An appraisal and current perspective**, Water Res. 89 (2016) 87–106. doi:10.1016/j.watres.2015.11.012.

GWI - Global Water Intelligence, **Global Water Market 2017: Meeting the world's water and wastewater needs until 2020**, IDA- International Desalination Association, 2018.

GWI - Global Water Intelligence, **IDA Desalination Yearbook 2017-2018**, International Desalination Association, 2019.

HABERT, A.C.; BORGES, C.P.; NOBREGA, R. **Processos de Separação por Membranas**, Rio de Janeiro: E-papers, 2006.

HAGUENAUER, G.M.; SILVA, G.P.; SHARKAWY, M.H.; NETO, S.A.; VIANA, D.B.; FREITAS, M.A.V. **Current and future opportunities for renewable integrated**

desalination systems in the Brazilian semiarid region. Desalination and Water Treatment, 166 (2019) 279–295. doi: 10.5004/dwt.2019.24472

HOFFMAN G.J., SHANNON, J.A. **Jobes Influence of rain on soil salinity and lettuce yield**. Proc. Third Int'l Drip/Trickle Irrigation Cong., Vol. II (**1985**), pp. 659-665.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cadastro de Municípios localizados na Região Semiárida do Brasil.** 2018. Disponível:< http://www.cca.ufpb.br/cca/contents/noticias/ibge-divulga-lista-de-municipios-localizados-na-regiao-semiarida-do-brasil >. Acesso em: 13 de abril de 2020.

INSA - INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO, 2011. **Recursos Hídricos em Regiões Áridas e Semiáridas.** Campina Grande – PB. 2011.

IDA - INTERNATIONAL DESALINATION ASSOCIATION, **Challenges and opportunities for desalination and reuse: perspectives from leaders, IDA News Focus. Desalin. Water Reuse. (2015)**.

IDA - INTERNATIONAL DESALINATION ASSOCIATION, 2017. **Water desalination + reuse. Latin America: unlocking emerging market potential**, São Paulo, 2017.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **O direito à água como política pública na América Latina: uma exploração teórica e empírica**. Brasília: Ipea, 2015.

ISMAIL A.F., PADAKI M., HILAL N., MATSUURA T., LAU W.J., **Thin film composite membrane - Recent development and future potential**, Desalination. 356 (2014) 140–148. doi:10.1016/j.desal.2014.10.042.

JENKS, G. F. **The data model concept in statistical mapping.** In: International Cartographic Association ed. International Yearbook of Cartography 7, p. 186 – 190. 1967

KHAMIS I., KAVVADIAS K.C., **Nuclear desalination: Practical measures to prevent pathways of contamination**, Desalination. 321 (2013) 55–59. doi:10.1016/j.desal.2012.04.001.

KUBITZA, F. **Tilápia em água salobra e salgada - uma boa alternativa de cultivo para estuários e viveiros litorâneos.** Panorama da aquicultura, Rio de Janeiro, v. 15, n. 88, p. 14-18, mar-abr. 2005.

LI M., **Reducing specific energy consumption in Reverse Osmosis (RO) water desalination: An analysis from first principles**, Desalination. 276 (2011) 128–135. doi:10.1016/j.desal.2011.03.031.

LINS, C. C.; CARVALHO, O. **Nova delimitação do Semiárido brasileiro**. Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional, Ministério da Integração Nacional, 2005. Disponível:<https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/publicacoes/cartilha_delimitacao_semi_arido.pdf >. Acesso em: 07 de agosto de 2020.

LIU J., CHEN S., WANG H., CHEN X., **Calculation of Carbon Footprints for Water Diversion and Desalination Projects**, Energy Procedia. 75 (2015) 2483–2494. doi:10.1016/j.egypro.2015.07.239.

LIYANAARACHCHI S., SHU L., MUTHUKUMARAN S., JEGATHEESAN V., BASKARAN K., **Problems in seawater industrial desalination processes and potential sustainable solutions: A review**, Rev. Environ. Sci. Biotechnol. 13 (2014) 203–214. doi:10.1007/s11157-013-9326-y.

LOUTATIDOU S., MAVUKKANDY M.O., CHAKRABORTY S., **Introduction : What is Sustainable Desalination**, Elsevier Inc., 2017. doi:10.1016/B978-0-12-809791-5.00001-8.

LOWI, T.J. **Four Systems of Policy, Politics, and Choice**, Public Administration Review, v. 32, n. 4, p. 298-310, 1972.

LYDIA M., KUMAR S.S., SELVAKUMAR A.I., PREM KUMAR G.E. **A comprehensive review on wind turbine power curve modelling techniques**, Renewable Sustainable Energy Rev., 30 (2014) 452–460.

MANJU S., SAGAR N., **Renewable energy integrated desalination : A sustainable solution to overcome future fresh-water scarcity in India**, Renew. Sustain. Energy Rev. 73 (2017) 594–609.

MASHALY A.F., ALAZBA A.A., AL-ALWAADH A.M., **Assessing the performance of solar desalination system to approach near-ZLD under hyper arid environment**, Desalin. Water Treat. 57 (2016) 12019–12036. doi:10.1080/19443994.2015.1048738.

MALCZEWSKI J., 1999. **SIG and Multicriteria Decision Analysis**. John Wiley & Sons, INC. New York. 392 pp.

MCKAUGHAN, S.E. **Projeto Áridas: Guia de Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável**, MMA, Brasília: MMA, 2008.

MEDEIROS S. de S., CAVALCANTE A. de M.B., MARIN A.M.P., TINÔCO L.B. de M., SALCEDO I.H., PINTO T.F., **Sinópse do Censo Demgráfico para o Semiárido Brasileiro, 2012.** Disponível em: <doi:10.1017/CBO9781107415324.004>. Acesso em: 20 agosto de 2019.

OMS – Organização Mundial da Saúde, 2003. **O Direito Humano à Água e Saneamento**. Disponível:<https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief_por.pdf>. Acesso em: 08 de março de 2021

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2021. **NOS lança infográfico mostrando evolução da geração eólica**. Disponível em:< http://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20201006_ONS-lan%C3%A7a-infogr%C3%A1fico-mostrando-evolu%C3%A7%C3%A3o-da-gera%C3%A7%C3%A3o-e%C3%B3lica.aspx>. Acesso em: 10/09/2021.

PARREIRAS, L.E. **Negócios Solidários em Cadeias Produtivas: Protagonismo Coletivo e Desenvolvimento Sustentável**, Rio de Janeiro: IPEA/ANPEC/Fundação Banco do Brasil, 2007.

PENATE B., GARCÍA R.L., **Energy optimisation of existing SWRO (seawater reverse osmosis) plants with ERT (energy recovery turbines): Technical and thermoeconomic assessment**, Energy. 36 (2011) 613–626. doi:10.1016/j.energy.2010.09.056.

RAMJERDI, F., WAGER, P., ROUSVAL, B., ADOLPHE, L., et MANCEBO, S. (2008). **Integrating indicators measuring the environmental sustainability of transportation projects, plans and policies into decision making**, Proceedings. COST 356 – EST, 65-77, Institute of Transport Economics, Oslo, Norway.

REBOUÇAS, A. **O Paradoxo brasileiro**. Cadernos Le Monde Diplomatique, v. 3, p. 38-41, 2003.

SALOMON, D. V. **Como fazer uma monografia**. São Paulo: Martins Fontes, 1997.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS (SEMARH). **PREGÃO ELETRÔNICO N.º 02/2017 – SEMARH/RN: Contratação dos serviços de fornecimento, instalação de equipamentos, recuperação e realização de um sistema de geração de energia elétrica através de princípio fotovoltaico e do sistema dessalinizador, inclusos os projetos de instalação e recuperação, na comunidade de Maria da Paz, no município de João Câmara/RN.** Governo do Rio Grande do Norte, 2017.

SHABABI M.P., MCHUGH A., ANADA M., HO G., **Comparative economic and environmental assessments of centralised and decentralised seawater desalination options**, Desalination 376 (2015) 25–34. doi:10.1016/j.desal.2015.08.012.

SHANNON M.A., BOHN P.W., ELIMELECH M., GEORGIADIS J.G., MARIAS B.J., MAYES A.M., **Science and technology for water purification in the coming decades**, Nature. 452 (2008) 301–310. doi:10.1038/nature06599.

SILVA, R.M.A. **Entre dois Paradigmas: Combate à Seca e Convivência com o Semiárido, Sociedade e Estado**. Brasília, 2003.

SILVEIRA, D.T.; GERHARDT, T.E. (eds.). **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre, RS: Editora da UFRGS, 2009. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>. Acesso em: 20 de novembro de 2020.

SHAHZAD M.W., BURHAN M., ANG L., NG K.C. **Energy-water-environment nexus underpinning future desalination sustainability**, Desalination. 413 (2017) 52–64. doi:10.1016/j.desal.2017.03.009.

SHATAT M., RIFFAT S., **Opportunities for solar water desalination worldwide: review**, Sustainable Cities Soc., 9 (2013) 67–80.

SONG L., HU J.Y., ONG S.L., NG W.J., ELIMELECH M., WILF M., **Emergence of thermodynamic restriction and its implications for full-scale reverse osmosis processes**, Desalination. 155 (2003) 213–228. doi:10.1016/S0011-9164(03)00300-X.

SUBRAMANI A., JACANGELO J.G., **Emerging desalination technologies for water treatment: A critical review**, Water Res. 75 (2015) 164–187. doi:10.1016/j.watres.2015.02.032.

TEIXEIRA, E.C. **O Papel das Políticas Públicas no Desenvolvimento Local e na Transformação da Realidade**. Salvador: AATR, 2002.

TRAN T.T.D., SMITH A.D., **Evaluation of renewable energy technologies and their potential for technical integration and cost-effective use within the U.S. energy sector**, Renew. Sustain. Energy Rev. 80 (2017) 1372–1388. doi:10.1016/j.rser.2017.05.228.

UN WATER, *2*017. Agenda 2030 das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável, 2017a. **United Nations General Assembly, Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development.** Disponível em: < https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication>. Acesso em 15 de junho de 2018.

UN WATER - WORLD WATER DEVELOPMENT REPORT, 2017b. **The UN World Water Development Report 2017, Wastewater, the Untapped Resource**. Disponível em:<http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2017-wastewater-the-untapped-resource/>. Acesso em: 10 de maio de 2018.

UN WATER - WORLD WATER DEVELOPMENT REPORT, 2019. **The UN World Water Development Report 2019, Leaving No One Behind**. Disponível em:< https://en.unesco.org/themes/water-security/wwap/wwdr/2019>. Acesso em: 10 de maio de 2018.

UN WATER - WORLD WATER DEVELOPMENT REPORT, 2020. **The UN World Water Development Report 2020, Water and Climate Change**. Disponível em:< https://en.unesco.org/themes/water-security/wwap/wwdr/2020_>. Acesso em: 22 de maio de 2018.

VOUTCHKOV N., **Desalination – past, present and future**, in: IDA Int. Conf. Water Reuse Recycl. Turn. Vis. into Real., IDA- International Desalination Association, Nice, France, 2016: pp. 25–27.

WAGNER, J. **Membrane Filtration Handbook: practical tips and hints**. 2nd ed. Osmonics, 2001.

WCED - COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso Futuro Comum**. 2ª edição, Rio de Janeiro: Editora FGV, 1991.

WEISS M., 2017. **Tecnologia Fotovoltaica no Brasil: Gerando Energia, Bem-estar, Emprego e Renda.** Caderno Opinião, editora FGV ENERGIA, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.fgv.br/fgvenergia/coluna-opiniao-tecnologia-fotovoltaica/files/assets/common/downloads/Coluna%20Opiniao-Tecnologia%20Fotovoltaica.pdf >. Acesso em: 21 de dezembro de 2019.

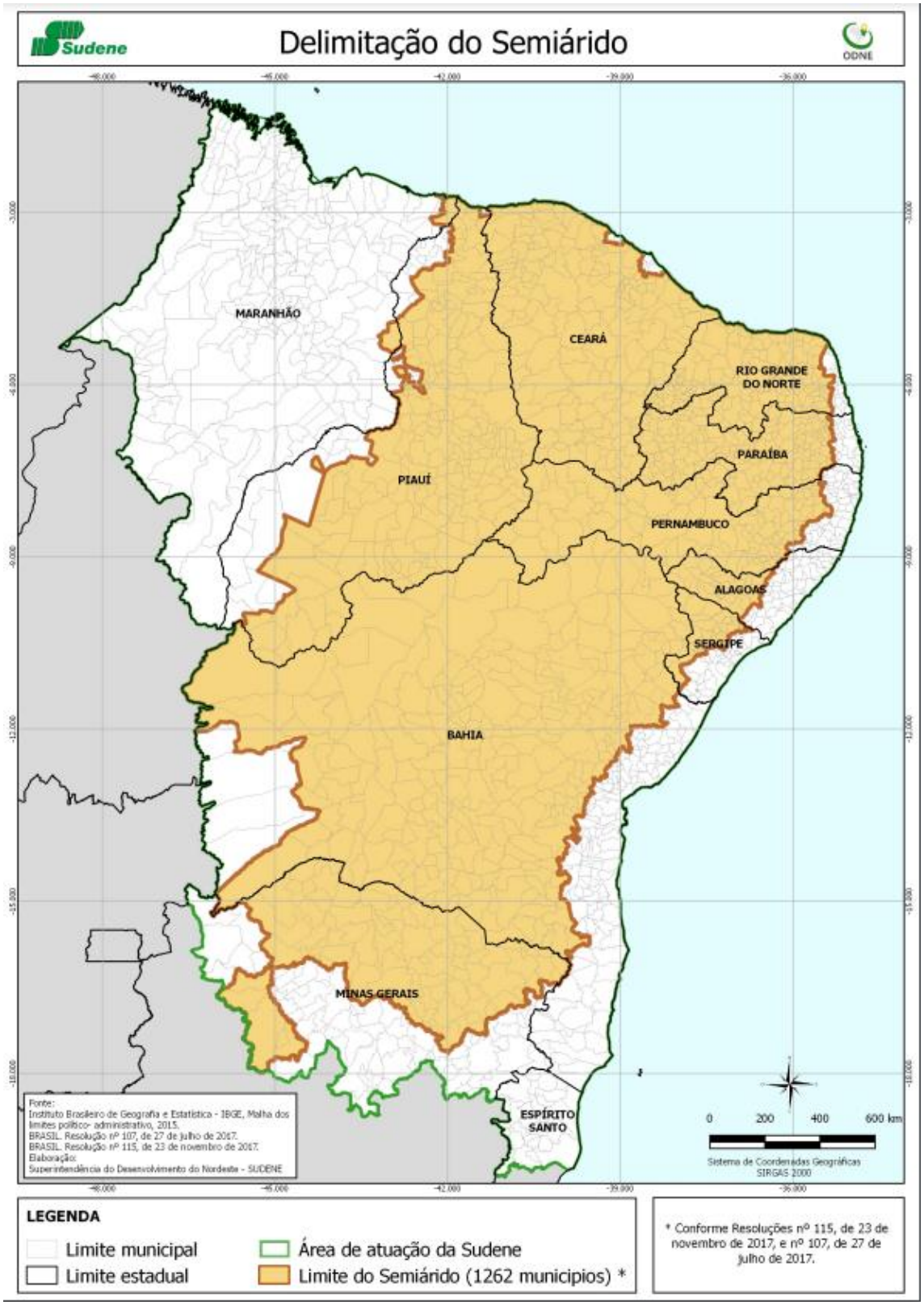
WORLD BANK, 2016. World Bank, **Renewable Energy Desalination: An Emerging Solution to Clos de Water Gap in the Middle Eas and North Africa**, World Bank, Washington, DC, 2012. doi:10.1596/978-0-8213-8838-9.

ZHANG, G.P., HOEKSTRA A.Y., TICKNER D., **Proceedings of the Session - Solving the Water Crisis: Common Action toward a Sustainable Water Footprint**, Relatório de Pesquisa Série No. 60, Conferência sobre o Desenvolvimento Sustentável: Planeta sobre pressão, março 26-29, Londres, 2012.

ZHU A., CHRISTOFIDES P.D., COHEN Y., **On RO membrane and energy costs and associated incentives for future enhancements of membrane permeability**, J. Memb. Sci. 344 (2009) 1–5. doi:10.1016/j.memsci.2009.08.006.

ANEXOS

ANEXO I – Nova Delimitação do Semiárido



ANEXO II – Documento Base Programa Água Doce: Questionários e Textos Complementares, pg 164-167.

Guia prático para caracterização e priorização de comunidades quanto ao manejo sustentável dos recursos hídricos locais, com ênfase na dessalinização de água salobra -- Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2007, 65 p. : il -- (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, ;60) 1ª edição (2007).

1. QUESTIONÁRIO PARA A CARACTERIZAÇÃO DAS COMUNIDADES:

1.1 DADOS GERAIS	
Data de ralização do diagnóstico:	
Técnicos responsáveis pelo diagnóstico (nomes e resgistro profissional):	
Nome do município:	
Nome da comunidade:	
Quem foi entrevistado para a coleta de informações:	
Numero de familias e habitantes que residem na localidade:	
Distância da sede do município:	
Orientações e condições de acesso à comunidade (direção, mapa, condição das estradas):	
Existe escola na comunidade? Quantas são? Como é o abastecimento de água na escola?	
Existe posto de saúde na comunidade? Como é o abastecimento de água no posto de saúde?	
Existe energia elétrica na comunidade?	
Quais são as principais atividades produticas das famílias beneficiárias?	
O(s) terreno(s) no(s) qual(ais) o poço o dessalinizador e os tanques de contenção que serão construídos ou recuperados são propriedades públicas ou particulares?	

1.2 SITUAÇÃO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA NA COMUNIDADE	
Qual(is) é(são) a(as) alternativa(s) de abastecimento de água da comunidade? Descrição quantitativa e qualitativa (barreiro, açude, caminhão pipa, adutora, dessalinizador)	
Qual a principal fonte de abastecimento?	
Qual a distância das principais fontes de abastecimento de água?	

Ativar o Windo

Existe poço de água na comunidade? Qual a localização do poço (em coordenadas)?	
Como é feita a distribuição da água? Existe rede de distribuição? A água que chega às casa chega por meio de chafarizes? Todos têm acesso?	
A água é tratada antes de ser distribuída?	
Há a previsão de chegada de outras fontes hídricas? (adutoras, açudes, entre outras)	

1.3 DADOS GERAIS SOBRE O DESSALINIZADOR	
Possui dessalinizador?	( ) Sim ( ) Não
Situação	( ) Em operação ( ) Fora de operação
Órgão responsável pela instalação e gestão do sistema:	
Onde fica localizado o dessalinizador?	
Quais são as comunidades atendidas pelo dessalinizador? A que distância ficam?	
A água é tratada antes de ser distribuída?	
Todas as casas usam a água dessalinizada?	

1.4 EM RELAÇÃO À INFRAESTRUTURA	
Na comunidade é frequente a presença de profissionais (médicos, enfermeiros, dentistas) da área de saúde e bem estar?	
A comunidade é beneficiada com rede coletora de esgoto?	
Existe coleta de lixo? A coleta de lixo é pública?	

1.5 ASPECTOS GERAIS DE PEQUENOS E MÉDIOS AÇUDES USADOS PELAS COMUNIDADES	
O entorno do açude está em boas condições (não são visíveis escoamento superficial de esgoto, águas servidas ou outros materiais para dentro dele)?	
O açude está a uma distância segura de prováveis fontes de poluição (casas, cemitérios, postos de gasolina, lixões, pocilgas, animais mortos)?	
Estas fontes estão localizadas em um plano superior ao do açude?	
O açude apresenta um volume de água suficiente para não apresentar risco de secar durante o período de seca?	

Existem cercas ou outras formas de proteção ao redor do açude?	
Essa cerca bloqueia a entrada de animais no açude?	
Para coletar água, são usados sistemas de bombeamento, evitando que pessoas, animais e veículos entrem diretamente no açude?	
Quando a coleta é feita por bomba, existe alguma forma de proteção (tela, alambrado) na boca do tubo coletor?	
A bomba fica a uma distância segura, evitando que, por algum motivo, possa derramar óleo ou graxa no açude?	
A bomba está protegida por uma cerca ou casinha?	
Dentro do açude ou nas margens observa-se a presença de resíduos como garrafas, pneus, plásticos, animais mortos?	
Observa-se a presença de algas ou plantas?	
Você identifica odores estranhos como o de ovo podre?	

1.6 ÁGUA PARA USO GERAL	
Os questionamentos abaixo devem ser respondidos pela observação do local. Caso não for possível, pode-se perguntar ou mesmo anotar "não observado". Fazer uma amostragem aleatória com mínimo de 10% das residências monitoradas. Amostrar algumas no núcleo da comunidade e outras mais distantes.	
A água chega encanada na residência?	
A água chega encanada até a cozinha?	
A casa possui instalação sanitária?	
A instalação sanitária tem chuveiro?	
A instalação sanitária tem vaso com descarga?	
A água para lavar roupa é encanada?	
O local para armazenamento da água no domicílio é adequado?	
A coleta da água no local de armazenamento é feita de forma a evitar possíveis contaminações?	
1.6.1 DESTINO DOS EFLUENTES (SANEAMENTO)	
Na casa existe fossa?	
Os efluentes das águas provenientes do banho são armazenadas em fossa?	
O efluente das águas da pia é armazenado em fosssa?	
O efluente das águas do tanque de roupa é armazenado em fossa?	
O esgoto do vaso sanitário é armazenado em fossa?	

1.6.2 ASPECTOS GERAIS	
Responder ao questionamento pela observação e não perguntar	
Os animais próximos da casa estão confinados?	
Os efluentes das águas provenientes do banho são armazenadas em fossa?	
O efluente das águas da pia é armazenado em fosssa?	
O efluente das águas do tanque de roupa é armazenado em fossa?	
O esgoto do vaso sanitário é armazenado em fossa?	

1.7 DADOS SOCIAIS	
Quais são as principais atividades produtivas das famílias beneficiárias?	
Quem são os outros atores sociais que podem ser envolvidos na construção dos mecanismos de gestão do sistema de dessalinização? (Prefeitura, secretaria municipal, órgão público federal ou estadual, vereador, sindicato, ONG. Levantar também quem são as pessoas que representam instituições e devem ser envolvidas no processo. Para cada ator social, indicar o motivo pelo qual deve ser envolvido no processo).	
Como as famílias beneficiadas estão organizadas? Existem associações, clubes de mães, cooperativas ou outras formas de organização formal? Existem relações de dependências em relação a políticos, grandes proprietários de terra, ao poder público municipal ou ONG? Registre suas impressões sobre as formas de organização local e as relações que unem ou dividem as famílias (laçoes de parentesco, religião)	
Quais as lideranças locais que podem colaborar no processo de construção dos mecanismos de gestão dos sistemas de dessalinização? Por que devem ser incorporadas no processo? Que papel as lideranças podem desempenhar?	
Como são as relações entre a comunidade e os poderes públicos?	
A comunidade tem características culturais ou sociais diferenciadas das comunidades do entorno? (ex: remanescentes de quilombos, indígenas, área de mineração, assentamento de reforma agrária)	
Quais são os principais vínculos econômicos? (ex: com atravessadores, com patrões, com agroindústria)	
Registre suas impressões pessoais sobre o interesse da comunidade na recuperação do dessalinizador e outras informações que considerar relevantes	

ANEXO III – Acordo de Gestão Compartilhada do Sistema de Dessalinização de Vereda da Cacimba, Município de Campo Alegre do Fidalgo/PI.

ACORDO DE GESTÃO COMPARTILHADA DO SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DA COMUNIDADE VEREDA DA CACIMBA, MUNICÍPIO DE CAMPO ALEGRE DO FIDALGO/PI

JULHO/2017

ACORDO DE GESTÃO COMPARTILHADA

Ficha Técnica do Sistema de Dessalinização	
Município:	Campo Alegre do Fidalgo

Localidade:	Vereda da Cacimba	
Tipo de Comunidade:	Comunidade Rural	
Coordenadas do Sistema:	8°24',355"S	41°50',826"S
N° de famílias:	47 famílias	
Nome do Operador: Telefone:	Ricardo Cleisson Costa Silva (89) 9 9429 9516	
Vazão Máxima do Poço:	16.300 L/H	
Vazão de Alimentação:	1.740 L/H	
Produção do dessalinizador:	720 L/H	
Vazão do concentrado:	1020 L/H	
Quantidade de membranas:	03	
Sólidos totais dissolvidos da água bruta do poço:	1.728,00 mg/L	
Sólidos totais dissolvidos do permeado:	45,00 mg/L	
Sólidos totais dissolvidos do concentrado:	2.592 mg/L	
Data:	17.07.2017	

Nós da Comunidade Vereda da Cacimba, Município de Campo Alegre do Fidalgo, Estado do Piauí, em reunião realizada no dia 17 de julho de 2017, às 14h00, acordamos que a gestão compartilhada do sistema de dessalinização dessa localidade, executado pelo Programa Água Doce/MMA, obedecerá às seguintes regras de funcionamento, expressas neste ACORDO, firmado entre os membros da Comunidade, a Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental do Ministério do Meio Ambiente (SRHQ/MMA), o Instituto de Assistência Técnica e Extensão Rural do Piauí- Emater/PI e a Prefeitura Municipal de Campo Alegre do Fidalgo.

A Comunidade se fará representar por um Grupo Gestor, formado por 05 componentes membros da Comunidade.

1. Composição do Grupo Gestor

Através de processo democrático de eleição, ficou definida a composição do Grupo Gestor do Sistema de Dessalinização da seguinte forma:

Nº	Nome	Entidade/Comunidade
1	Josélia Ribeiro (89) 9 9462-7229	Comunidade Vereda da Cacimba
2	Luciene Natália da Costa (89) 9 9469-0857	Comunidade Vereda da Cacimba
3	Egles Bernardina Dias (89) 99414-4151	Comunidade Vereda da Cacimba
4	Genesio Pascoal Ribeiro (89) 9 9414-2765	Comunidade Vereda da Cacimba
5	Romário Ribeiro da Silva (89) 9 9411-3044	Comunidade Lagoa Funda

2. Atribuições do Grupo Gestor

O Grupo Gestor terá as seguintes atribuições:

a) Supervisionar o funcionamento do dessalinizador;

b) Monitorar a realização (trimestral) da análise da água doce fornecida, comunicando aos técnicos do estado eventuais falhas na realização dessa atividade;

c) Gerir o Fundo de Gestão e prestar contas à Comunidade trimestralmente;

d) Aacolher quaisquer manifestações da Comunidade sobre o funcionamento do dessalinizador;

e) Marcar reuniões com a Comunidade para eventuais mudanças no Acordo de Gestão Compartilhada;

f) Assegurar a gestão do sistema de dessalinização no contexto da sustentabilidade ambiental e no uso sustentável dos recursos hídricos.

3. Operadores do Sistema de Dessalinização

Foram capacitados para operar o sistema de dessalinização:

a) Ricardo Cleisson Costa Silva (89)9 942-99516
b) Vilson Pascoal Ribeiro (89) 9 9459-1148
c) Eliene Natália da Costa Alencar (89) -9 9455-3624

A responsabilidade pelo funcionamento do dessalinizador dessa Comunidade será do Sr. Ricardo Cleisson Costa Silva , sob a supervisão do Grupo Gestor.

3.1. Atribuições do Operador

As atribuições do Operador são as seguintes:

a) Operar o sistema de dessalinização – que envolve ligar e desligar o equipamento para produção da água dessalinizada;

b) Fazer a distribuição da água de boa qualidade entre as famílias da Comunidade e demais usuários beneficiados pelo funcionamento do sistema;

c) Realizar o controle e o registro da quantidade de água distribuída por família;

d) Realizar a manutenção e monitoramento cotidiano do sistema de dessalinização conforme manual de procedimentos em anexo e orientações técnicas que lhe sejam repassadas pela Coordenação Estadual do PAD;

e) Observar as boas práticas de higiene que garantam a qualidade da água distribuída aos usuários do sistema – como lavar as mãos com sabão antes de distribuir a água, evitar tocar na saída da água, não deixar a mangueira exposta à sujeira, lavar os tanques de água limpa e de água bruta de 90 em 90 dias, evitar a entrada de animais na área o sistema de dessalinização;

f) Não permitir que outras pessoas manuseiem o equipamento;

g) Comunicar ao Grupo Gestor quando surgir algum problema;

h) Participar da prestação de contas referente aos recursos para operação do sistema, que formam o Fundo de Gestão (descrito no item 07).

4. As Águas

4.1. Água Dessalinizada

4.1.1. Terão direito à água dessalinizada todas as famílias que moram na Comunidade Vereda da Cacimba, famílias de Comunidades do entorno e famílias da sede do município de Campo Alegre do Fidalgo, que concordarem com as regras desse acordo. A quantidade de famílias, de fora da comunidade, que terá direito a água dessalinizada, será definida respeitando a vazão do dessalinizador.

4.1.2. A água dessalinizada deve ser utilizada, preferencialmente, para beber, cozinhar, escovar os dentes e dar banho em recém-nascidos.

4.2 Água do Poço

4.2.1 A água do poço deverá garantir alimentação do sistema de dessalinização e seu funcionamento adequado, assegurando os usos pré-existentes.

4.3 Água do Concentrado Salino

4.3.1. A água do concentrado salino será depositada no tanque de contenção para evaporação.

5. Horários de Funcionamento

5.1 Do Dessalinizador

5.1.1. O horário de funcionamento do equipamento para produção de água dessalinizada é das **16h00 às 20h00, segundas, quartas e sextas-feiras.**

5.2 Da Distribuição

5.2.1. O horário de distribuição de água dessalinizada é das **07h00 às 09h30, às segundas, quartas e sextas-feiras.**

6. Das Quantidades de Água

6.1. Água Dessalinizada

6.1.1. Para as famílias – serão distribuídos 40 litros de água dessalinizada por família, (02 fichas por semana), perfazendo um total de 120 litros por semana, que corresponde

a 480 litros mensais.

6.1.2. Escola Cipriana Clara Ribeiro – receberá 40 litros de água dessalinizada por semana,(01 ficha por semana), perfazendo um total de 160 litros mensais.

7.Contribuição e Fundo de Gestão

7.1. Para os custos com o sistema de dessalinização foi criado um Fundo de Gestão. **Contribuição** As famílias atendidas contribuem com R$10,00 (dez reais) por mês, sendo 70% destinados para pequenos reparos e 30% destinados a complementação da gratificação que é paga ao operador do sistema de dessalinização, pelo município. O dinheiro arrecadado estará sob a responsabilidade de três membros do Grupo Gestor: os Srs. Genesio Pascoal Ribeiro e Romário Ribeiro da Silva e a Sra.Luciene Natália da Costa. A contribuição será recebida no dia 12 de cada mês.

8. Prestação de Contas

8.1. A prestação de contas se dará em reuniões trimestrais marcadas pelo Grupo Gestor . A prestação de contas será anexada no chafariz para facilitar a visualização por todos os interessados.

9.Responsabilidades da Comunidade e das Instituições Parceiras no Acordo de Gestão Compartilhada

9.1 Comunidade

É responsabilidade da comunidade Vereda da Cacimba:

a) Realizar a operação diária do sistema de dessalinização;
b) Cuidar da limpeza e conservação do sistema;
c) Complementar a gratificação do operador.

9.2 Governo Municipal

É responsabilidade do governo municipal de Campo Alegre do Fidalgo:

a) Pagar a conta de energia elétrica;
b) Pagar o Operador.

9.3 Governo Estadual

É responsabilidade do governo do estado do Piauí por meio do: Institudo de Assistência Técnica e Extenção Rural do Piauí-EMATER.

a) Instalar o sistema de dessalinização.
b) Capacitar ao Operador.
c) Realizar a manutenção preventiva, corretiva e o monitoramento dos sistemas de dessalinização.
d) Prestar assistência técnica e orientar a Comunidade, por meio dos técnicos que compõem o grupo executivo do Núcleo Estadual, capacitados pelo PAD.

9.4 Governo Federal

É responsabilidade da Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental do Ministério do Meio Ambiente – SRHQ/MMA:

a) Realizar o repasse de recursos por meio do convênio para a manutenção e o monitoramento do sistema de dessalinização, pelo período de um ano, a partir da entrega.
b) Acompanhar tecnicamente, orientando as equipes técnicas para o funcionamento adequado do sistema de dessalinização, de acordo com a metodologia do PAD.

10. Disposições Gerais

10.1. O acordo será cumprido por todos os usuários da água do sistema de dessalinização desta localidade.

10.2. Sempre que houver discordâncias sobre alguma das regras do acordo, uma reunião deve ser marcada com a Comunidade, para que sejam feitas as modificações necessárias.

Campo Alegre do Fidalgo, 17 de julho de 2017.

Renato Saraiva Ferreira
Coordenador Nacional do Programa Água Doce – PAD
Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Ministério do Meio Ambiente

Marcos Vinícius Amaral Oliveira
Diretor Geral-Instituto de Assistência Técnica e Extensão Rural do Piauí-Emater

Adalberto do Nascimento Filho
Coordenador Estadual do Programa Água Doce-PAD/PI

Israel Odilio da Mata
Prefeito Municipal de Campo Alegre do Fidalgo

Josélia Ribeiro
Grupo Gestor

Luciene Natália da Costa
Grupo Gestor

Egles Bernardina Dias
Grupo Gestor

Genesio Pascoal Ribeiro
Grupo Gestor

Romário Ribeiro da Silva
Grupo Gestor

Contatos:
Programa Água Doce – Coordenação Estadual
Endereço: Rua João Cabral nº2219, Bairro Pirajá. CEP: 64.150.002 Teresina/PI
E-mail: pad@emater.pi.gov.br
Fone: (86) 3 3216 3863