



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTAO AMBIENTAL**

**ANA KAROLINA PERES DE MELO SILVA**

**SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO COMO MEDIDA DE ADAPTAÇÃO ÀS**  
**MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

**Recife, 2022**

**ANA KAROLINA PERES DE MELO SILVA**

**SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO COMO MEDIDA DE ADAPTAÇÃO ÀS  
MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco.

Prof. Dr. José Coelho de Araújo Filho  
Orientador

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Renata Maria Caminha Mendes de  
Oliveira Carvalho  
Coorientadora

**Recife, 2022**

S586

Silva, Ana Karolina Peres de Melo.

Sistemas de dessalinização como medida de adaptação às mudanças climáticas no semiárido Pernambucano. / Ana Karolina Peres de Melo Silva. – Recife, PE: O autor, 2022.

85 f.: il., color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. José Coelho de Araújo Filho.

Co-orientadora: Profª. Drª. Renata Maria Caminha M. de O. Carvalho.

Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, Campus Recife, Coordenação de Pós-Graduação - Mestrado Profissional em Gestão Ambiental, 2022.

Inclui referências.

1. Recursos Hídricos. 2. Dessalinização. 3. Água - Escassez. 4. Gestão Ambiental. I. Araújo Filho, José Coelho (Orientador). II. Carvalho, Renata Maria Caminha M. de O. (Co-orientadora). III. Título.

628.1672

CDD (22 Ed.)

**ANA KAROLINA PERES DE MELO SILVA**

**SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO COMO MEDIDA DE ADAPTAÇÃO ÀS  
MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco como parte integrante dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental.

Data da aprovação: 18 / 03 / 2022

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. José Coelho de Araújo Filho  
Orientador - Embrapa Solos

---

Prof<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Renata M<sup>a</sup> Caminha Mendes de O Carvalho  
Coorientadora – MPGA/IFPE

---

Prof<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Marília Regina Costa Castro Lyra  
Examinador Interno – MPGA/IFPE

---

Dr.<sup>a</sup> Maria Sonia Lopes da Silva  
Examinador Externo - Embrapa Solos

---

Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva  
Examinador Interno – MPGA/IFPE

## APRESENTAÇÃO

A autora é formada em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2017) e Pós-Graduada em Engenharia de Segurança do Trabalho pelo Centro Universitário Maurício de Nassau (2019). Atuou de 2013 a 2016 em Projetos de Extensão da UFRPE, desenvolvidos em comunidades rurais do Semiárido Pernambucano, vinculados à gestão sustentável de sistemas de abastecimento hídrico (consumo humano e produtivo) e qualidade de água. De maio 2017 a janeiro de 2019, passou a atuar profissionalmente como consultora do Programa Água Doce, no acompanhamento e gestão de trabalhos vinculados a políticas públicas de acesso a água (Apoio à gestão do PAD), voltadas à implantação de sistemas de dessalinização em comunidades difusas do Nordeste brasileiro. No período entre abril de 2019 e junho de 2020, atuou no apoio técnico de projetos da Fundação para o Desenvolvimento do Semiárido Brasileiro (FUNDESA) em trabalhos vinculados ao Programa Água para Todos, em âmbito Estadual, mais especificamente no viés social das comunidades beneficiadas pelo Programa, com a implantação de tecnologias sociais hídricas. Paralelo a tais atividades passou a atuar também na área de Segurança do Trabalho, prestando serviço de assistência técnica à empresa do ramo de Engenharia Elétrica (Delta Engenharia), na qual atua no acompanhamento técnico de atividades gerais da empresa, relacionadas à segurança e meio ambiente. Em junho de 2020, retomou suas atividades no Programa Água Doce prestando assessoria técnica em todos os seus componentes, integrados por obras civis, mobilização social, sistema de dessalinização e sustentabilidade ambiental, concluindo tais atividades em março de 2021. A partir de então, passou a atuar como consultora junto à Associação de Orientação às Cooperativas do Nordeste (ASSOCENE), trabalhando na gestão de projetos desenvolvidos pela entidade, abrangendo Assistência Técnica e Extensão Rural, Implantação de Sistemas de Abastecimento Hídrico e Desenvolvimento Territorial em todo o Nordeste. Neste contexto de atuação profissional, identificou a necessidade de aperfeiçoar seus conhecimentos no âmbito da gestão ambiental, visando agregar a seus trabalhos um maior embasamento relacionado à sustentabilidade, principalmente na área relacionada a recursos hídricos, que impulsionou seu interesse em compor o Mestrado Profissional em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Pernambuco.

À minha mãe, a quem devo minha vida e tudo que sou.  
Ela a quem tenho como referência de força e superação.  
Ela que sempre foi minha maior incentivadora para chegar até aqui.

Meu eterno agradecimento pelo apoio de sempre!

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por toda força concedida em superar as adversidades e concluir mais esta etapa da minha vida.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE) pela oportunidade dada para o desenvolvimento dos conhecimentos na área de gestão ambiental que com certeza contribuirão para meu desenvolvimento profissional.

A todos os profissionais que compõem o Mestrado Profissional em Gestão Ambiental do IFPE, que sempre se fizeram presentes e empenhados em ajudar a todos nessa jornada acadêmica.

Ao meu orientador Prof. Dr. José Coelho de Araújo Filho, pela paciência e valorosa orientação no desenvolvimento do trabalho.

A minha coorientadora, Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Renata Caminha Carvalho, pelo apoio e motivação em todo o processo de aprendizagem.

Ao Programa Água Doce e toda a equipe que o compõe, em especial à equipe que esteve comigo em Pernambuco, pelo grande aprendizado e crescimento profissional que obtive durante todo o tempo em que estive diretamente empenhada no desenvolvimento de seus trabalhos, e até hoje como entusiasta do êxito desse Programa em todo o país.

A todos os meus amigos e amigas pelo incentivo, companheirismo, e compreensão em todos os momentos da minha vida, bem como os que me auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho, em especial a Timóteo.

A todos os meus familiares, em especial à minha avó “Didida” e meu avô “Dedé”, por todo o cuidado e amor dedicado durante toda a minha vida.

Aos meus pais, Nilda e Anatólio, por estarem sempre ao meu lado, em qualquer circunstância, me impulsionando a atingir meus objetivos.

Ao meu companheiro Rafael, pela compreensão e amparo durante o mestrado e sempre.

Obrigada a todos que direta e indiretamente contribuíram com este trabalho.

## RESUMO

A região semiárida apresenta naturalmente condições de vulnerabilidade ambiental no que se refere ao regime pluviométrico irregular no espaço e no tempo, acompanhada de altas temperaturas e altas taxas de evapotranspiração potencial. Para uma melhor estruturação e aplicabilidade de políticas voltadas à adaptação climática e convivência com a escassez hídrica é necessário o mapeamento e avaliação de pontos de criticidade no Estado de Pernambuco. Diante disto, este estudo buscou analisar o uso dos sistemas de dessalinização como medida de adaptação às mudanças climáticas no semiárido pernambucano, nos municípios que se encontram no escopo de atendimento efetivado pelo Programa Água Doce (PAD). Foi realizada uma análise de tendência climática do Agreste e Sertão do estado, como subsídio para avaliação do comportamento climatológico dessas duas regiões no decorrer de 36 anos. Sendo abordado um estudo da qualidade das reservas subterrâneas destas localidades mais críticas quanto ao acesso a água, tendo como subsídio de avaliação, parâmetros de concentração de sólidos totais dissolvidos, que refletem diretamente na qualidade e potabilidade da água para consumo humano, para a indicação de uso prioritário de sistemas de dessalinização no semiárido pernambucano. A pesquisa utilizou dados oriundos de levantamento bibliográfico, cartográfico e documental referentes às caracterizações físicas e climatológicas do semiárido de Pernambuco. Os resultados obtidos mostram grande diversidade das variáveis climáticas (Precipitação,  $T_{máxima}$ ,  $T_{mínima}$ ,  $T_{média}$  e  $ET_o$ ) entre os anos de 1980 e 2016, com características que contribuem para uma maior limitação hídrica na região Sertão, na qual observa-se uma faixa mais ampla entre precipitação e evapotranspiração, aliada a uma maior diferença de temperatura. Quando avaliadas as tendências de mudanças climáticas, usando como base o cenário comparativo do Agreste e Sertão, constata-se que os índices de extremos de temperatura apresentam tendência de diminuição dos períodos frios, e aumento os períodos quentes em ambas as regiões, com maior disparidade no Sertão. No que se refere aos extremos de chuva, observou-se nos 36 anos estudados, que no Agreste houve um incremento da chuva total acumulada, aliado a uma diminuição da taxa de evapotranspiração, resultando em um maior índice de aridez e menor susceptibilidade à desertificação. Já no Sertão, houve um decréscimo dos índices pluviométricos, com aumento da temperatura média, e conseqüente ampliação da evapotranspiração, de forma que há um menor índice de aridez e maior suscetibilidade à desertificação. Aliado a isto, há o comprometimento da qualidade das águas subterrâneas, devido aos altos índices de salinidade, que inviabilizam a utilização de uma das principais fontes de abastecimento humano em comunidades difusas, principalmente para consumo humano. Os resultados obtidos sugerem a necessidade de uso de dessalinizadores como ferramenta mitigadora das condições adversas referentes aos recursos hídricos na região e atendimento de demanda da população. O produto técnico resultante deste estudo será um plano de ação para o PAD sobre adoção dessa tecnologia social para as áreas mais críticas do Estado.

**Palavras-chave:** Escassez hídrica, vulnerabilidade climática, dessalinizador, qualidade de água.



## ABSTRACT

The semi-arid region naturally presents conditions of environmental vulnerability in terms of irregular rainfall in space and time, accompanied by high temperatures and high rates of potential evapotranspiration. For a better structuring and applicability of policies aimed at climate adaptation and coexistence with water scarcity, it is necessary to map and evaluate critical points in the State of Pernambuco. In view of this, this study sought to analyze the use of desalination systems as a measure of adaptation to climate change in the semi-arid region of Pernambuco, in the municipalities that are in the scope of service provided by the Água Doce Program (PAD). An analysis of the climate trend of the Agreste and Sertão of the state was carried out, as a subsidy for the evaluation of the climatological behavior of these two regions over the course of 36 years. Being approached a study of the quality of the underground reserves of these locations more critical in terms of access to water, having as subsidy of evaluation, parameters of concentration of total dissolved solids, that directly reflect in the quality and potability of the water for human consumption, for the indication of priority use of desalination systems in the semi-arid region of Pernambuco. The research used data from a bibliographic, cartographic and documentary survey referring to the physical and climatological characterizations of the semi-arid region of Pernambuco. The results obtained show a great diversity of climatic variables (Precipitation, Tmax, Tminimum, Tmean and ETo) between the years 1980 and 2016, with characteristics that contribute to a greater water limitation in the Sertão region, in which a wider range is observed between precipitation and evapotranspiration, combined with a greater temperature difference. When the trends in climate change are evaluated, based on the comparative scenario of Agreste and Sertão, it appears that the indices of temperature extremes tend to decrease cold periods, and increase hot periods in both regions, with greater disparity in the Sertão. With regard to rainfall extremes, it was observed in the 36 years studied that in the Agreste there was an increase in the total accumulated rainfall, combined with a decrease in the rate of evapotranspiration, resulting in a higher index of aridity and less susceptibility to desertification. In the Sertão, however, there was a decrease in rainfall, with an increase in average temperature, and consequent expansion of evapotranspiration, so that there is a lower rate of aridity and greater susceptibility to desertification. Allied to this, there is the compromise of the quality of groundwater, due to the high levels of salinity, which make it impossible to use one of the main sources of human supply in diffuse communities, mainly for human consumption. The results obtained suggest the need to use desalinators as a tool to mitigate adverse conditions related to water resources in the region and to meet the demand of the population. The technical product resulting from this study will be an action plan for the PAD on the adoption of this social technology for the most critical areas of the State.

**Keywords:** Water scarcity, climate vulnerability, desalinator, water quality.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Mapa do semiárido brasileiro.....	22
Figura 2	Representação esquemática do sistema de dessalinização.....	28
Figura 3	Dessalinizador de membranas.....	29
Figura 4	Esquema de funcionamento do dessalinizador.....	30
Figura 5	Ranking de municípios com base no ICAA (PAD).....	31
Figura 6	Distribuição do nº de dessalinizadores já instalados pela Secretaria Executiva de Recursos Hídricos.....	32
Figura 7	Distribuição de dessalinizadores instalados por nº de habitantes abrangidos – projeção de demanda.....	33
Figura 8	Projeção da evolução do custo de água dessalinizada entre os anos de 1950 e 2020.....	34
Figura 9	Estruturação para estabelecimento de ações da Agenda 2030.....	40
Figura 10	Localização dos municípios de Caetés e Salgueiro.....	48
Figura 11	Precipitação média anual nos 20 municípios mais críticos quanto ao acesso à água em Pernambuco.....	56
Figura 12	Evapotranspiração potencial média anual nos 20 municípios mais críticos quanto ao acesso à água em Pernambuco.....	57
Figura 13	Temperatura máxima nos 20 municípios mais críticos quanto ao acesso à água em Pernambuco.....	58
Figura 14	Temperatura média nos 20 municípios mais críticos quanto ao acesso à água em Pernambuco.....	58
Figura 15	Temperatura mínima nos 20 municípios mais críticos quanto ao acesso à água em Pernambuco.....	58
Figura 16	Média mensal da temperatura máxima e mínima (°C; linhas) e chuva mensal acumulada (mm; barras) em Salgueiro (painel superior) e Caetés (painel inferior) no estado de Pernambuco, no período de 1980-2016.....	60
Figura 17	Tendência nas frequências (em %) de noites frias (TN10p) e quentes (TN90p), e de dias frios (TX10p) e quentes (TX90p) em Salgueiro, Pernambuco.....	62
Figura 18	Tendência nas frequências (em %) de noites frias (TN10p) e quentes (TN90p), e de dias frios (TX10p) e quentes (TX90p) em Caetés, Pernambuco.....	63
Figura 19	Tendência da duração (em dias) de dias consecutivos secos (DCS) e dias consecutivos úmidos (DCU), intensidade (em mm) de chuva total (PRCPTOT), chuva em dias muito úmidos (R95p) e chuva máxima em 5 dias (RX5day), e frequência (em dias) de dias com chuva acima de 10, 20 e 30 mm (R10, R20 e R30), em Salgueiro, Pernambuco.....	65

Figura 20	Tendência da duração (em dias) de dias consecutivos secos (DCS) e dias consecutivos úmidos (DCU), intensidade (em mm) de chuva total (PRCPTOT), chuva em dias muito úmidos (R95p) e chuva máxima em 5 dias (RX5day), e frequência (em dias) de dias com chuva acima de 10, 20 e 30 mm (R10, R20 e R30), em Caetés, Pernambuco.....	66
Figura 21	Variabilidade interanual do índice de aridez e tendência climática à desertificação para Salgueiro (na cor preta), e Caetés (na cor azul), Pernambuco.....	68
Figura 22	Média de TDS dos poços indicados à implantação pelo PAD.....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Os 20 municípios mais críticos de Pernambuco com base no Índice de Condição de Acesso à Água (ICAA) do Programa Água Doce.....	47
Tabela 2	Descrição dos índices de extremos climáticos de temperatura e chuva, com suas unidades e descrição.....	53
Tabela 3	Média das variáveis climáticas (Precipitação, TMáxima, TMínima, TMédia e ETo) nos 20 primeiros municípios do ranking ICAA, no período de 1980-2016.....	55
Tabela 4	Média anual de temperatura máxima (TMáxima), mínima (TMínima) e média (TMédia) e chuva para Salgueiro e Caetés no estado de Pernambuco, no período de 1980-2016.....	59
Tabela 5	Tendência dos índices de extremos de temperatura e precipitação para as duas localidades analisadas no estado de Pernambuco.....	61
Tabela 6	Parâmetros de Qualidade de Água.....	70

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMUPE	Associação Municipalista de Pernambuco
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ASA	Articulação Semiárido Brasileiro
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COP3	Conferência das Partes
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DENOC	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETCCDI	<i>Expert Team (ET) on Climate Change Detection and Indices</i> (Equipe de Especialistas em Detecção e Índices de Mudanças Climáticas)
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICAA	Índice de Condição de Acesso à Água
IDEB	Índice de Desenvolvimento da Educação Básica
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDH-M	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPA	Instituto Agrônomo de Pernambuco
IPCC	<i>International Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas)
LAFEPE	Laboratório Farmacêutico de Pernambuco
NFT	<i>Nutrient film technique</i> (técnica do fluxo laminar de nutrientes)
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONU	Organização das Nações Unidas
P1+2	Programa Uma Terra e Duas Águas
P1MC	Programa Um Milhão de Cisternas
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PAD	Programa Água Doce
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
SEINFRA	Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos
SEMAS	Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade de Pernambuco

SERH	Secretaria Executiva de Recursos Hídricos
TDS	Sólidos Totais Dissolvidos
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco
VMP	Valor Máximo Permitido

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1	OBJETIVOS.....	20
1.1.1	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>20</b>
1.1.2	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>21</b>
2.1	O SEMIÁRIDO BRASILEIRO: CARACTERIZAÇÃO GERAL.....	21
2.2	REFLEXOS DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS IDENTIFICADAS NAS ÚLTIMAS DÉCADAS NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA REGIÃO SEMIÁRIDA.....	23
2.3	POLÍTICAS PÚBLICAS PARA GESTÃO HÍDRICA NO SEMIÁRIDO.....	25
2.4	ESTRUTURAÇÃO DOS SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO IMPLANTADOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.....	28
2.5	SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO.....	31
2.6	CUSTOS INERENTES À TECNOLOGIA DE DESSALINIZAÇÃO.....	33
<b>2.6.1</b>	<b>Estimativas de custo de implantação e manutenção de sistema no Estado de Pernambuco.....</b>	<b>35</b>
2.7	DESTINAÇÃO ADEQUADA DOS EFLUENTES CONCENTRADOS COMO FORMA DE ADAPTAÇÃO E MITIGAÇÃO DE IMPACTOS.....	37
<b>2.7.1</b>	<b>Aproveitamento do concentrado para produção hidropônica.....</b>	<b>37</b>
<b>2.7.2</b>	<b>Aproveitamento do concentrado para piscicultura e carcinicultura.....</b>	<b>38</b>
<b>2.7.3</b>	<b>Aproveitamento do concentrado para a produção de Atriplex.....</b>	<b>39</b>
2.8	MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ESCASSEZ HÍDRICA COMO UMA DAS BASES DE ARTICULAÇÃO PARA A AGENDA 2030.....	39
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>42</b>
3.1	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	42
<b>3.1.1</b>	<b>Caracterização de regiões de criticidade hídrica no semiárido de Pernambuco.....</b>	<b>43</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Análise climatológica.....</b>	<b>44</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Delimitação de perfil e análise de tendência climatológica.....</b>	<b>44</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Análise baseada na qualidade da água das reservas subterrâneas (poços) para indicação de implantação de dessalinizadores no semiárido pernambucano.....</b>	<b>45</b>
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA OBJETO DE ESTUDO.....	46
<b>3.2.1</b>	<b>Localidades de maior criticidade quanto à disponibilidade hídrica em</b>	<b>46</b>

	<b>Pernambuco.....</b>	
<b>3.2.2</b>	<b>Localidades para estudo de perfil climatológico e análise de tendência de mudanças climáticas.....</b>	<b>47</b>
3.2.2.1	Caetés.....	48
3.2.2.2	Salgueiro.....	50
3.3	VARIÁVEIS DE ESTUDO CLIMATOLÓGICO.....	52
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>54</b>
4.1	VARIABILIDADE CLIMÁTICA DOS MUNICÍPIOS PERNAMBUCANOS MAIS CRÍTICOS QUANTO AO ACESSO A ÁGUA.....	54
4.2	ESTUDO DE PERFIL CLIMATOLÓGICO E ANÁLISE DE TENDÊNCIAS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO AGRESTE E SERTÃO DE PERNAMBUCO.....	59
<b>4.2.1</b>	<b>Índices de extremos de temperatura.....</b>	<b>62</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Índices de extremos de chuva.....</b>	<b>63</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Índice de aridez.....</b>	<b>67</b>
4.3	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE RESERVAS SUBTERRÂNEAS COM ÊNFASE NOS POÇOS INDICADOS À IMPLANTAÇÃO DE DESSALINIZADORES PELO PAD.....	68
4.4	DIRETRIZES PARA USO DOS SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO COMO MEDIDA DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO.....	71
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>74</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>75</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), regulamentados na Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, visam assegurar água de boa qualidade à atual e às futuras gerações. Para tanto, existe a necessidade de uma articulação sistemática entre eles, de forma a garantir a efetiva aplicação da Política, objetivando assegurar à atual e às futuras gerações, a disponibilidade de água adequada, em padrões de qualidade apropriados aos respectivos usos (BRASIL, 1997).

Neste contexto, vale salientar as particularidades existentes em toda a região semiárida brasileira que, por sua vez, se caracteriza por apresentar grande sazonalidade de precipitações (média anual  $\leq 800$  mm) e alta variabilidade do regime de chuvas no tempo e espaço, associada às caracterizações geológicas, com predominância de formações cristalinas. Tais características se apresentam como fatores limitantes, quanto ao aspecto de disponibilidade hídrica subterrâneas e superficiais, em quantidade e qualidade suficiente para suprir a demanda de sua população (MARENGO et al., 2011).

Segundo relatórios do *International Panel on Climate Change* (IPCC), há uma tendência do agravamento dessas condicionantes, com alteração das condições climáticas do Semiárido, caracterizada pela intensificação dos períodos de estiagem em praticamente toda esta região, tendo interferência direta sobre os níveis de aridez, com aumento significativo deste. Tal fato evidencia os efeitos de mudanças climáticas drásticas, com consequências relacionadas ao aumento da evaporação e redução da disponibilidade hídrica, agravando ainda mais esse quadro de déficit hídrico, característico das regiões do semiárido brasileiro (IPCC, 2021).

Levando-se em consideração o contexto geral de extremos climáticos, com destaque na região semiárida, dos prolongados períodos de estiagem, agravando ainda mais a condição de suscetibilidade dessa região à seca, é importante destacar duas circunstâncias que devem ser analisadas neste cenário: uma se relaciona à conjuntura natural a partir das características intrínsecas da região, e outra diz respeito às questões socioeconômicas que podem ser desencadeadas a partir dessa condicionante climática.

No que se refere às características naturais já presentes na região semiárida, a seca se apresenta como um fenômeno climático da natureza, caracterizado pelo déficit hídrico, gerada pela escassez de chuvas, aliados a outras limitações, que são: as elevadas temperaturas, solos rasos, pouco intemperizados, altos índices de evapotranspiração, entre outros que contribuem para o cenário de limitada disponibilidade hídrica (COSTA et al., 2006).

Quando se leva em consideração os aspectos socioeconômicos gerados a partir de tais condicionantes, observa-se que estas desencadeiam uma série de problemas de cunho econômico e social, que vem se agravando ao longo dos anos, visto que tais características exercem interferência direta na qualidade de vida da população, estimulando o movimento migratório de sua população, caracterizado como êxodo rural.

Num cenário de limitada disponibilidade de água, a sobrevivência humana e animal fica bastante vulnerável, visto que este recurso é fundamental para o desenvolvimento das espécies. Também restringe o desenvolvimento produtivo, sobretudo no setor agrícola, para sua subsistência e geração de renda. Diante disto, apesar do fenômeno da seca existir como uma condição natural, é necessário de uma forma geral, que sejam desenvolvidas políticas públicas aliadas a tecnologias que mitiguem seus efeitos, para garantir a convivência de sua população neste ambiente naturalmente vulnerável devido à falta de água (SILVA, 2013).

Nestas circunstâncias, e levando em consideração as localidades rurais afastadas dos centros urbanos, onde em sua maioria, há inviabilidade para implantação de sistemas adutores e redes de abastecimento de água, fica evidente o grande desafio para a convivência com a escassez hídrica. Desta forma, nos últimos anos, foi possível observar o desenvolvimento de tecnologias sociais, que visam mitigar os efeitos adversos causados pela limitada disponibilidade de água nessa região.

Destacam-se, ainda, o uso de ferramentas que possibilitem o uso consciente dos recursos disponíveis, com a adoção de tecnologias que possibilitam o aproveitamento de água da chuva, conservação das reservas subterrâneas e superficiais, para atendimento da demanda humana e animal, como é o caso das cisternas de placas, cisternas calçadão, pequenas barragens, barreiros, barragens subterrâneas, sistemas simplificados de abastecimento coletivo, entre outras metodologias.

É importante salientar também que, no semiárido, devido as características marcantes relacionadas a baixa precipitação média anual, e elevadas taxas de evapotranspiração, o aproveitamento de reservas subterrânea, é uma das alternativas para abastecimento hídrico na região, por meio da perfuração de poços. Porém, pelo fato da maior parte do subsolo no Agreste e Sertão nordestino ser formado por rochas cristalinas, a maioria dos poços perfurados, apresenta águas impróprias para o consumo humano, em função dos altos índices de sais dissolvidos (ZANELLA, 2014).

Diante dessa realidade, uma importante ferramenta adotada, como medida de adaptação e, visando ampliar a disponibilidade e garantir água de qualidade própria para o consumo humano e produtivo em comunidades difusas, tem sido a implantação de sistemas de

dessalinização. Essa tecnologia tem se apresentado como ferramenta fundamental para complementar ou suprir a demanda de água para dessedentação humana e animal, na agricultura familiar e para um mínimo de saneamento, mitigando os efeitos da seca, e freando os movimentos do êxodo rural, uma vez que amplia as possibilidades de convivência com a escassez hídrica.

A dessalinização é uma tecnologia internacionalmente utilizada para a ampliação da disponibilidade hídrica em escalas locais, regionais e até industriais. Nos últimos anos tem apresentado uma crescente difusão em toda a região semiárida brasileira. Tal tecnologia se apresenta como uma importante ferramenta para ampliar a oferta hídrica no semiárido do País, visto que possibilita o aproveitamento de águas subterrâneas, com características naturais de salinidade, convertendo-as em água potável, de excelente qualidade para atendimento da demanda humana e dessedentação animal.

Dentre as diferentes tecnologias aplicadas a sistemas de dessalinização, o método mais difundido atualmente no semiárido brasileiro para a dessalinização de água subterrânea é o processo por osmose reversa. O predomínio desta metodologia em específico se atribui à simplicidade e robustez do equipamento. Além disso, somam-se os moderados custos de instalação e operação, quando se leva em consideração que as políticas públicas existentes atualmente priorizam a gestão compartilhadas dos sistemas implantados (AMORIM et al., 1997).

É importante destacar que tal tecnologia apresenta a capacidade de tratar volumes variáveis de água bruta, possibilitando a adequação às diversas condições dos poços de comunidades difusas da região semiárida. Além disso, possui uma elevada viabilidade de operação e recuperação que garantem a continuidade da disponibilidade em quantidade e qualidade da água para as populações da região (PORTO et al., 2001).

Neste contexto, vale salientar que é necessário agregar ações, dentro da diretriz de gestão integrada de recursos hídricos, para promoção do desenvolvimento local, visando atingir o equilíbrio entre os aspectos social, econômico e ambiental, agregando a temática de preservação dos recursos hídricos. Para isto, recomenda-se que sejam adotadas metodologias consistentes para a gestão dos mesmos, levando em consideração as peculiaridades de diferentes compartimentos ambientais da região, para enfrentar os possíveis conflitos gerados pela escassez hídrica.

Diante do exposto, as hipóteses de estudo são as seguintes: (a) as mudanças climáticas podem interferir na disponibilidade hídrica das regiões semiáridas; e (b) o uso de sistema de dessalinização é uma ferramenta adequada para garantir e/ou complementar a oferta de água

para o consumo humano no semiárido.

Com base nestas hipóteses, esse trabalho tem como foco entender as variabilidades dos atributos ambientais relacionados às mudanças climáticas identificadas nas localidades selecionadas para o estudo, correlacionando-os com o cenário de abastecimento hídrico no semiárido Pernambucano. Os atributos ambientais selecionados incluem a precipitação média anual, a evapotranspiração anual, a temperatura máxima, média e mínima.

Além disto, foi feita uma análise de tendência climatológica de dois municípios como subsídio para criação de um panorama comparativo entre duas regiões distintas pertencentes ao semiárido pernambucano. Para tal, foram utilizados dados de sua variação climatológica, no decorrer de uma série temporal de 36 anos (1980-2016), com a identificação e análise pontual das tendências climatológicas para as regiões do Agreste e Sertão do estado, contribuindo para o alcance dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 e 13. Neste cenário, pode-se dizer ainda que a tecnologia da dessalinização está diretamente relacionada às diretrizes embasadas por tais objetivos no que tange a ampliação da oferta de água para atendimento de demandas de todo os ecossistemas, principalmente quanto à manutenção da vida humana.

É importante evidenciar também que em sua estruturação, há preceitos relacionados à gestão compartilhada do recurso ao nível de comunidade, como ferramenta de mitigação dos efeitos já causados pela escassez hídrica nas localidades que embasarão este estudo, sendo importante salientar sua contribuição para a resiliência dessas populações no contexto de variabilidade climática, com ênfase para o agravamento dos períodos de estiagem, que interferem na qualidade de vida das pessoas.

O presente estudo leva em consideração, que o estado de Pernambuco está inserido em uma das regiões de maior vulnerabilidade social e climática do país (TORRES et al., 2012), e que vem sofrendo com secas prolongadas nos últimos anos (CUNHA et al., 2018; MARENGO et al., 2018; MARENGO et al., 2021). Diante disto é de extrema importância o estudo quanto à tendência de eventos climáticos extremos de temperatura e chuva, em cidades pertencentes ao semiárido, condicionadas a padrões climáticos locais.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Analisar o uso dos sistemas de dessalinização como medida de adaptação às mudanças climáticas no semiárido pernambucano, nos municípios que se encontram no escopo de atendimento efetivado pelo Programa Água Doce, com a implantação de dessalinizadores.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- a) Analisar a climatologia (variabilidades climáticas: temperatura, precipitação e evapotranspiração), dos municípios de maior criticidade de acesso a recursos hídricos em Pernambuco no escopo estabelecido pelo Programa Água Doce;
- b) Realizar um estudo de perfil climatológico e análise de tendências de mudanças climáticas dos municípios Caetés e Salgueiro, como subsídio para criação de um panorama de caracterização climática do Agreste e Sertão do estado de Pernambuco;
- c) Avaliar a qualidade de água de reservas subterrâneas (poços), como subsídio para indicação de implantação de dessalinizadores no semiárido Pernambucano;
- d) Propor diretrizes para uso dos sistemas de dessalinização como medida de adaptação às mudanças climáticas no semiárido pernambucano.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

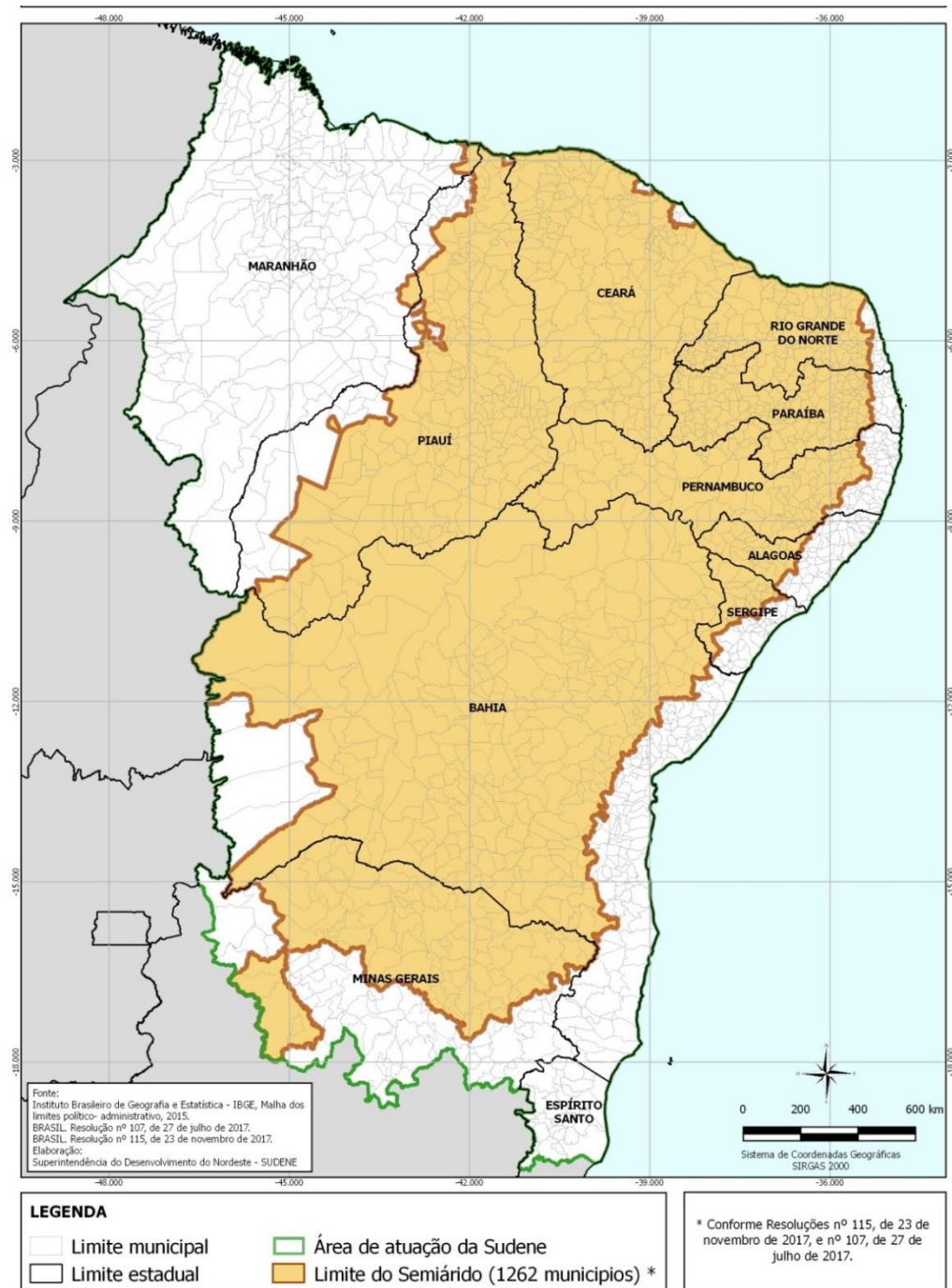
A fundamentação teórica acerca do uso e potencial das tecnologias voltadas ao abastecimento hídrico em comunidades do semiárido Pernambucano é apresentada nesta seção. O destaque é para o uso de dessalinizadores como tecnologia mitigadora dos efeitos da escassez hídrica e melhoria na convivência com o ambiente semiárido. Compreendendo a caracterização e contextualização do ambiente semiárido, identificando as particularidades das tecnologias já existentes, metodologias de uso e implantação. Ademais também são abordados aspectos relacionados às políticas públicas, associando ainda os reflexos observados a partir da análise climatológica, identificadas com base nas variáveis ambientais sob o contexto de variabilidade na disponibilidade hídrica de municípios pertencentes ao Semiárido pernambucano.

### 2.1 O SEMIÁRIDO BRASILEIRO: CARACTERIZAÇÃO GERAL

O semiárido brasileiro abrange 1.262 municípios de 10 Estados da Federação - Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais -, segundo Resoluções do Conselho Deliberativo da Sudene de nº 107, de 27 de julho de 2017 e de nº 115, de 23 de novembro de 2017, com detalhamento apresentado na Figura 1. Os critérios para delimitação do semiárido foram aprovados pelas Resoluções anteriormente citadas, integrando municípios com as seguintes condições: precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm; Índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50 e percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano (BRASIL, 2017b).

Com uma população de mais de 23 milhões de pessoas, que equivale a cerca de 12% da população brasileira, e área de aproximadamente 1.128.697 km<sup>2</sup>, correspondendo a quase 72% da região Nordeste e, de forma mais ampla, a cerca de 13% do território nacional. Cabe destacar que o Brasil apresenta uma das maiores e mais populosas áreas semiáridas do mundo. Porém, apesar dos avanços econômicos e sociais identificados nas últimas décadas, o semiárido ainda apresenta avanço econômico discreto quando comparado a outras regiões do País, com indicadores sociais abaixo da média nacional e ampla degradação ambiental de seus ecossistemas (SANTOS, 2008).

Figura 1 - Mapa do semiárido brasileiro



Fonte: Sudene (2017).

A região semiárida brasileira apresenta características marcantes, com limitada disponibilidade de recursos hídricos, estando tal fato associado ao regime pluviométrico irregular, no espaço e no tempo, aliadas às elevadas taxas de evapotranspiração, solos rasos e pouco profundos com baixa capacidade de retenção de água, favorecendo a escassez de águas superficiais (COSTA et al., 2006). Além disso, também apresenta predomínio do

embasamento cristalino, que compromete a qualidade das águas subterrâneas, e da vegetação xerófila (SUASSUNA, 2007), característico do bioma Caatinga, predominante na região (ARTICULAÇÃO NO SEMIÁRIDO, 2012). Diante de tais características, torna-se essencial a gestão das águas nas bacias hidrográficas, além da adoção de ferramentas visando o desenvolvimento sustentável dessa região (SOUZA et al., 2012).

De forma particular, vale salientar que dentre os estados brasileiros, Pernambuco destaca-se por ser pioneiro em ações relacionadas à convivência com a semiaridez, uma vez que em 2010, desenvolveu um Programa nesta temática, intitulado “Programa de Ação Estadual de Pernambuco para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca” (PERNAMBUCO, 2009).

Tal fato deixa em evidência a importância da criação de políticas públicas relacionadas às questões ambientais, principalmente no que tange a convivência de suas populações com a escassez hídrica, visto que tal região encontra-se naturalmente susceptível a processos de desertificação. Para tal, cabe que seja realizada uma avaliação das condições ambientais dessa região, a qual servirá de subsídio para o seu planejamento socioambiental e para as tomadas de decisão, levando-se em consideração que tal fenômeno está diretamente relacionado e é potencializado pela ação antrópica.

## 2.2 REFLEXOS DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS IDENTIFICADAS NAS ÚLTIMAS DÉCADAS NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA REGIÃO SEMIÁRIDA

A região semiárida apresenta alta vulnerabilidade aos fatores climáticos, apresentando, segundo o Quarto Relatório de Avaliação do *International Panel on Climate Change* (IPCC), condições adversas que a tornam uma das regiões mais susceptíveis a impactos negativos das mudanças climáticas (IPCC, 2007). Tal fato se justifica por tendências já identificadas quanto ao aumento de temperatura, de forma que o semiárido poderá se tornar ainda mais árido, em decorrência da ampliação na frequência e intensidade dos períodos de estiagem (secas), que tem interferência direta na redução da disponibilidade de recursos hídricos.

O Grupo de Trabalho 1 em seu Sexto Relatório de Avaliação, do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas tem evidenciado que os eventos extremos têm se tornado cada vez mais frequentes e intensos em diferentes regiões do mundo e inclusive na América do Sul (WG1-AR6, IPCC, 2021). Considerando que estes extremos contribuem para o aumento dos riscos de desastres naturais, como inundações ou secas (CEPED UFSC, 2013), busca-se compreender as causas e características desses fenômenos, de modo a identificar a



vulnerabilidade climática e, apoiar a gestão local mais adequada dos recursos (CUNHA et al., 2018; VILANOVA et al., 2021).

A seca é um dos desastres naturais mais devastadores, comprometendo, a segurança hídrica, energética e alimentar em várias regiões (BRASIL, 2017a), a exemplo do semiárido brasileiro que é considerado uma das regiões mais vulneráveis às mudanças climáticas do mundo (TORRES et al., 2012; CHOU et al., 2014; VIEIRA et al., 2015; REGOTO et al., 2021).

Considerando a dimensão continental do Brasil, o padrão de chuvas varia naturalmente entre as regiões (CAVALCANTI et al., 2009; ALVARES et al., 2013), e os extremos hidrológicos, como, estiagens, secas, enxurradas e inundações representam a grande maioria dos desastres naturais do país (ANA, 2019).

Em reflexo disto, salienta-se que na conjuntura da região semiárida, tal variabilidade tem interferência direta, sobre toda uma cadeia produtiva, a citar uma das suas atividades econômicas mais relevantes, que é a agricultura de sequeiro, a qual pode ser ainda mais prejudicada, com impactos na segurança alimentar e economia de todo o país.

De forma mais ampla, é importante evidenciar que tais alterações climáticas, apresentam abrangência de impacto sobre a vegetação, a biodiversidade e todas as atividades antrópicas que demandam recursos naturais (MARENGO, 2008). Assim sendo, é de extrema importância o desenvolvimento de pesquisas e ações relacionadas ao monitoramento dos efeitos das mudanças climáticas no semiárido, visando identificar formas de mitigação/adaptação das atividades humanas a tais alterações.

Ademais, o conhecimento e desenvolvimento de metodologias de convivência com essas condicionantes, são indispensáveis, para a concepção de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável do semiárido frente às mudanças climáticas, uma vez que estas impactam diretamente a vida humana, seus setores produtivos e econômicos. Diante disto, conforme diretrizes do ODS 13 é fundamental a conscientização de sua população, para que estas possam atuar no planejamento e gestão da água, frente às mudanças previstas e já vivenciadas, que interferem diretamente na sua quantidade e qualidade, com reflexos sob a manutenção da vida das pessoas.

Nesse contexto, medidas de adaptação, as quais estão associadas às ações para ampliação da resiliência humana diante das mudanças previstas e já presentes na sociedade atual tem sido foco de muitos trabalhos. Com relação aos impactos causados pela escassez hídrica/risco de seca, medidas de adaptação tem abrangido metodologias relacionadas ao aumento da eficiência de uso deste recurso, e minimização de suas perdas naturais. Para tal, a

adoção de medidas para aumentar a capacidade de retenção de água no solo, captação e armazenamento de água de chuva, uso de águas salinas, ampliação da eficiência de sistemas de irrigação, entre outras já tem sido desenvolvida, a citar o exemplo das tecnologias sociais que já se fazem presente na região semiárida (BRITO et al., 2010).

### 2.3 POLÍTICAS PÚBLICAS PARA GESTÃO HÍDRICA NO SEMIÁRIDO

A região semiárida do Brasil foi durante muitos anos esquecida por parte das esferas de políticas públicas, o que interferiu diretamente na convivência de suas populações com as condições adversas intrínsecas a esta região. Foi observado ao longo dos anos que isto incentivou o movimento migratório do êxodo rural, com o deslocamento do homem do campo para os centros urbanos. Neste âmbito, pode-se utilizar como uma das principais motivações para o êxodo rural, a escassez de água advinda dos longos períodos de seca vivenciados na região, e levando em consideração que a água é um recurso essencial à vida, pois a sua ausência gera deficiência na capacidade humana e animal de sobrevivência.

Diante destas circunstâncias, nota-se nos últimos anos a constituição de entidades que tem como foco o debate acerca de ações relacionadas ao semiárido, podendo ser destacada dentre estas a Articulação do Semiárido Brasileiro (ASA), que tem deixado sua marca acerca do novo pensar sobre o semiárido. Neste contexto, teve-se como um dos principais marcos de atuação da ASA, o lançamento da “Declaração do Semiárido Brasileiro”, em 1999, paralelo à 3ª Conferência das Partes da Convenção de Combate à Desertificação e à Seca (COP3) da Organização das Nações Unidas (ONU), realizada no Recife-PE.

A Declaração apresentou um papel fundamental, pois trazia em seu escopo uma nova visão acerca das ações do combate à seca, e de forma estruturada apontou medidas políticas e práticas para a convivência com o semiárido, trazendo em seu arcabouço a necessidade do equilíbrio entre a sustentabilidade ambiental e a qualidade de vidas das populações desta região, priorizando a defesa do direito à água (ASA, 2011).

A partir disto, pode-se citar como um dos principais resultados obtidos por meio de ações da ASA, que tiveram influência direta sobre ações voltadas à convivência com o semiárido, o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC), que foi criado em 2003, e já obteve como resultado em 2011, mais de 500.000 cisternas implantadas em todo o semiárido brasileiro, com o beneficiamento de mais de 2 milhões de pessoas com água para consumo humano (ASA, 2011).

Além deste, vale destacar também o Programa Uma Terra Duas Águas (P1+2), que se apresenta de forma complementar às atividades desenvolvidas no P1MC, uma vez que tem em seu escopo o desenvolvimento de metodologias técnicas voltadas à captação de água para a produção animal e de alimentos, integrando as necessidades básicas da população semiárida quanto à demanda hídrica para produção e consumo (SCHOEDER; ALVES; MAZZINI, 2014).

Tais metodologias de captação de água de chuva, para fins de consumo e produção, foram adotadas como políticas públicas, visando garantir o direito da população de todas as localidades à água em quantidade e qualidade necessária à sua sobrevivência (GUALDANI; SALES, 2016), por meio do Programa Água para Todos. Este programa foi instituído pelo Decreto nº 7.535, de 26 de julho de 2011, e baseia-se nas diretrizes e objetivos do Plano Brasil sem Miséria (BSM), criado pelo Decreto nº 7.492, de 2 de junho de 2011 (BRASIL, 2011a, 2011b), que o precedeu, integrando também o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC).

De forma geral, o Programa prioriza a população que vive em situação de pobreza e extrema pobreza, e busca articular-se com os diversos órgãos e instituições federais nas áreas de segurança alimentar e nutricional, infraestrutura hídrica e de abastecimento público de água, regulação do uso da água, saúde e meio ambiente.

Além das cisternas de consumo, outras tecnologias sociais hídricas vêm sendo desenvolvidas e implantadas em toda região semiárida, por meio de políticas públicas e parcerias público-privadas, que atuam junto com os atores locais. Dentre estas vale destacar barreiros ou pequenas barragens, sistemas coletivos de abastecimento de água, e sistemas de dessalinização que tem feito parte do escopo de trabalho também do Programa Água para Todos (GUALDANI; SALES, 2016).

Vale destacar também a atuação do Programa Água Doce (PAD), que foi formulado em 2003 de forma participativa, com a contribuição de diversas entidades que tratam das temáticas relacionadas às questões hídricas, tanto a nível federal, como estadual. Em 2011 o mesmo passou a integrar o Programa Água para Todos, no âmbito do Plano Brasil sem Miséria, juntamente com construção de cisternas e demais sistemas coletivos de abastecimento (BRASIL, 2012).

O Programa tem por objetivo o estabelecimento de uma política pública permanente de acesso à água de boa qualidade para o consumo humano, por meio da incorporação de cuidados técnicos, ambientais e sociais na recuperação, implantação e gestão de sistemas de dessalinização, prioritariamente em comunidades rurais do semiárido brasileiro, tendo como

meta aplicar sua metodologia por meio da implantação de 1.200 sistemas de dessalinização em toda região semiárida brasileira.

No âmbito estadual, o Programa Água Doce passou a atuar na implantação/recuperação de sistemas de dessalinização em 2008, sob gestão da Secretaria Estadual de Recursos Hídricos, sendo inicialmente realizado por esta um diagnóstico técnico e ambiental, para identificação e caracterização de sistemas pré-existentes. A implantação de dessalinizadores em Pernambuco datam da década de 1980, através do incentivo do Governo do Estado, estando à época sob a responsabilidade da Secretaria de Agricultura, a qual atuou no desenvolvimento de um protótipo no município de Riacho das Almas, que até hoje está entre os municípios com maior quantidade de dessalinizadores no Estado.

Nesse contexto, é importante citar que, historicamente, diversos órgãos atuaram em ações de políticas públicas voltadas à implantação de dessalinizadores no semiárido de Pernambuco além do Governo do Estado, entidades como o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DENOCS) a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), entre outros. Vale destacar ainda, que entre os anos de 1996 e 1997, o Estado de Pernambuco contou com uma produção própria de dessalinizadores, feita pelo Laboratório Farmacêutico de Pernambuco (LAFEPE), os quais eram instalados sob a autorização da Secretaria de Agricultura, da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) e da então Diretoria de Recursos Hídricos da Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, criada para atuar como órgão gestor dos recursos hídricos no Estado.

De forma geral, a partir dos levantamentos feitos, observa-se que atualmente há, além das políticas públicas implantadas a nível federal, ações em âmbito estadual voltados à convivência com o semiárido. No contexto do Estado de Pernambuco, tem-se a Política Estadual de Convivência com o Semiárido, sancionada em março de 2013. Foi a primeira lei brasileira concernente à esta temática, tendo por objetivo estabelecer diretrizes básicas para a implementação de políticas públicas permanentes no meio rural de Pernambuco, na perspectiva do desenvolvimento rural sustentável, assegurando às populações locais os meios necessários à convivência com as condições adversas do clima semiárido (PERNAMBUCO, 2013).

A Política Estadual de Convivência com o Semiárido ainda tem como estratégia permanente “promover a universalização do acesso à água no meio rural, considerando as diferentes tecnologias de captação, armazenamento e distribuição de água” (PERNAMBUCO, 2013).

## 2.4 ESTRUTURAÇÃO DOS SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO IMPLANTADOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Em inúmeras comunidades rurais do semiárido, uma das principais alternativas para ampliar a oferta de água nesses locais é a perfuração de poços. Porém, pelo fato da maior parte do subsolo no Agreste e no Sertão nordestino ser formado por rochas cristalinas, a maioria dos poços perfurados nessas regiões, apresenta águas impróprias para o consumo humano, em função dos altos índices de sais dissolvidos.

Diante disto, uma importante ferramenta adotada, visando garantir água de qualidade própria para o consumo humano em comunidades difusas, tem sido a implantação de sistemas de dessalinização por osmose reversa. Esta técnica tem sido muito fomentada no semiárido brasileiro, tornando-se um importante instrumento para melhoria da qualidade de vida dos seus habitantes, levando em consideração sua viabilidade de implantação em localidades rurais, e sua principal finalidade que é o abastecimento humano.

A estruturação dos sistemas de dessalinização mais difundido nessas localidades é composto por um poço tubular, bomba do poço, reservatório de alimentação (água bruta), abrigo de alvenaria, dessalinizador, reservatório para o permeado (água doce), reservatório para o concentrado, chafariz e tanques para contenção do concentrado, conforme esquema apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Representação esquemática do sistema de dessalinização



Fonte: Programa Água Doce (2012).

O processo de Osmose Reversa se destaca dentre outros processos de dessalinização, principalmente no contexto proposto, devido à sua eficiência quanto a relação custo/benefício

de água dessalinizada. O rendimento de recuperação do processo de dessalinização (geração de água potável) varia entre 20% e 70%, dependendo dos níveis de salinidade, dimensionamento do equipamento e volume de água a ser tratado (GUERREIRO, 2009). Além disso, tal metodologia apresenta ainda como ponto de destaque a qualidade da água tratada, a facilidade em sua operação, o moderado custo e a facilidade em assistência na manutenção e reparos, o baixo consumo de energia, a variabilidade de volumes de água que podem ser tratados de acordo com a oferta de água de sua fonte de abastecimento e demanda por parte das comunidades, além da possibilidade de utilização de fontes de energia alternativas como eólica e solar.

Figura 3 - Dessalinizador de membranas



Fonte: Programa Água Doce (BRASIL, 2012).

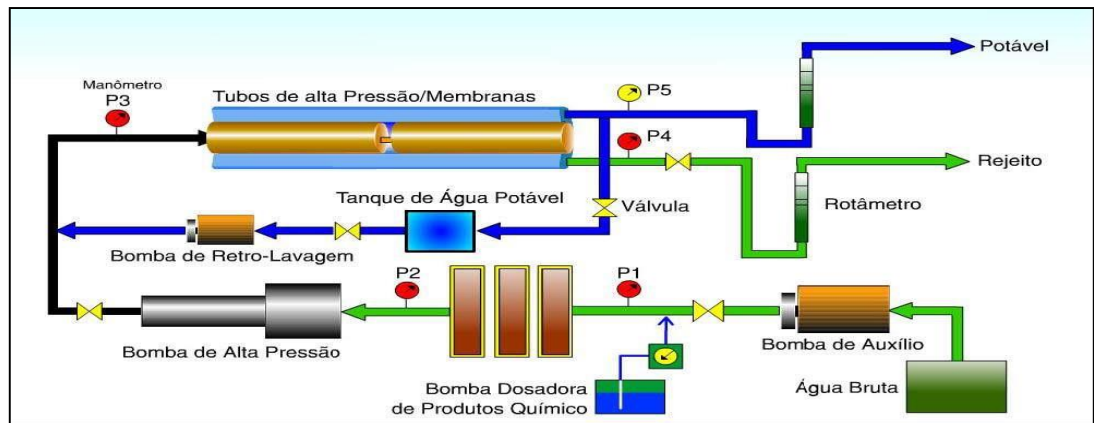
A palavra osmose vem do grego “*osmós*” e significa “impulso”, apresentando tal fenômeno evidências desde o fim do século XIX. Seu processo metodológica pode ser explicado levando em consideração dois compartimentos, contendo cada um soluções com concentrações de sais distintos, os quais são separados por uma membrana semipermeável (com poros que permitem a passagem de moléculas de água, mas impedem a passagem de outras moléculas), de forma que o movimento da solução tende a ser realizado do meio menos concentrado para o mais concentrado, até que ambos os lados atinjam o equilíbrio, ou seja, a mesma concentração, caracterizando o fenômeno da Osmose.

O sistema de funcionamento do dessalinizador (Figura 4) é baseado em tal processo, de forma que, a água salgada circula por membranas espirais semipermeáveis que sob determinada pressão separa fisicamente os sais da água, produzindo água potável, que por sua vez sai por um tubo colocado no centro do rolo de membranas e de outro, um concentrado

com alto teor de sais denominado rejeito (efluente).

Em outras palavras, pode-se dizer que a água salgada ou salobra, que é o meio mais concentrado, atravessa uma membrana semipermeável, dotada de poros microscópicos, se deslocando no sentido do menos concentrado. A membrana semipermeável retém os sais, os microrganismos e outras impurezas, permitindo somente a passagem de líquidos.

Figura 4 - Esquema de funcionamento do dessalinizador



Fonte: Programa Água Doce (2006).

Vale salientar também, que no contexto de análise histórica da dessalinização no semiárido, existem muitos desafios a serem ainda superados, principalmente no que tange à permanência e conservação dos sistemas implantados, visto que muitos desses aparelhos encontram-se desativados, por desconhecimento técnico, falta de gestão ou por questões econômicas dos usuários (PINHEIRO; CALLADO, 2005).

Outro aspecto a ser ponderado também, é que apesar da grande difusão da tecnologia de dessalinização por Osmose Reversa em comunidades do Nordeste do Brasil, é indispensável citar que o seu crescente desenvolvimento e utilização poderão causar impactos ambientais devido à água residuária, denominada concentrado, as quais se caracterizam por serem águas com elevados teores de sais, resultantes do processo de dessalinização, que se despejadas ao solo, podem levar à contaminação de mananciais subterrâneos, ou ainda serem transportados pela ação dos ventos ou pela água de escoamento superficial, salinizando áreas adjacentes (SOARES et al., 2006).

Com isto, é essencial que sejam adotadas ações integradas, visando o aproveitamento sustentável do concentrado, para que tal ferramenta possa se agregar ao contexto de convivência com a escassez hídrica, gerando um forte impacto social, uma vez que, além de



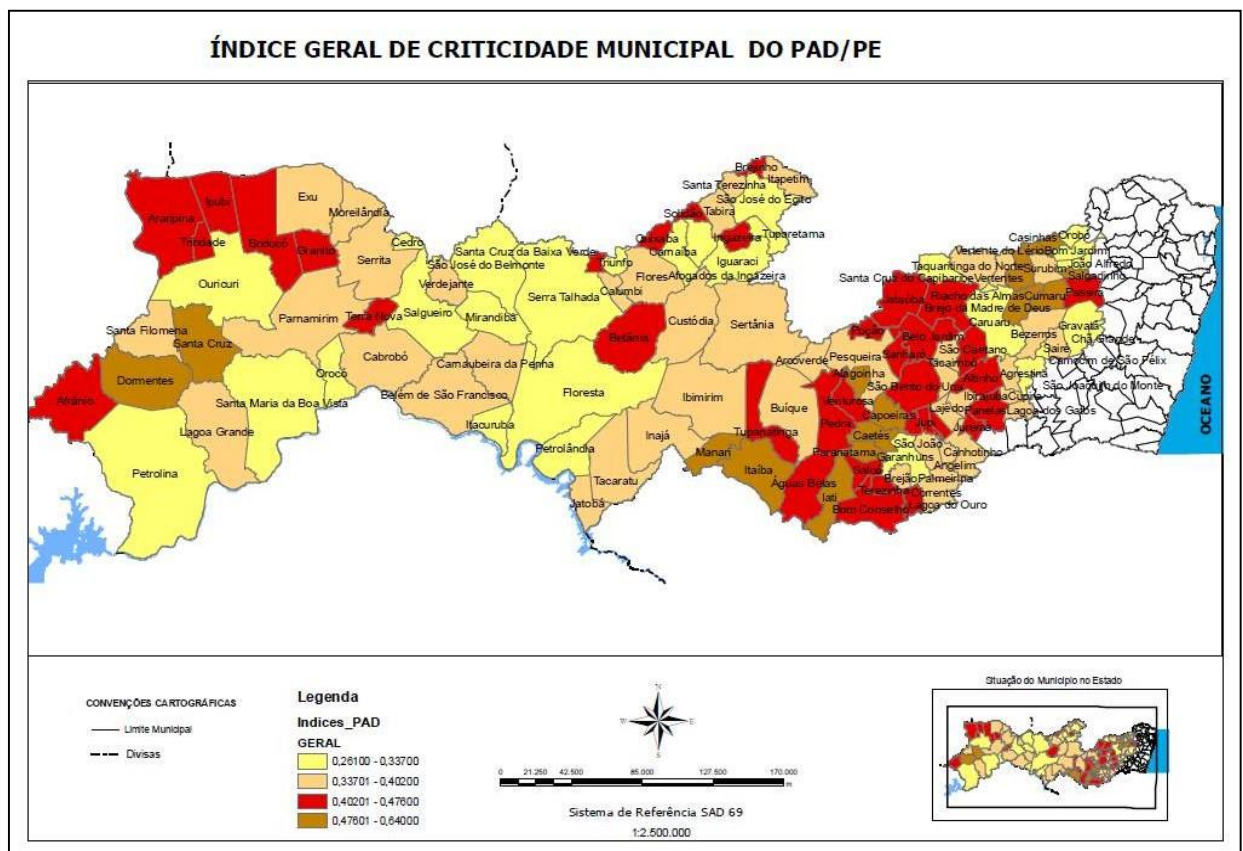
produzir água potável para as comunidades atendidas, proporcionaria o aproveitamento econômico dos efluentes resultantes do processo de dessalinização (BRASIL, 2012).

## 2.5 SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

No que se refere à implantação de sistemas de dessalinização em Pernambuco, o qual se apresenta como foco desta pesquisa, atualmente apresentam-se duas vertentes principais de atuação da tecnologia no Estado. De um lado o Programa Água Doce (PAD) que se encontra atualmente sob gestão da Secretaria de Desenvolvimento Agrário, e tem como meta a implantação e/ou recuperação de 170 sistemas de dessalinização no semiárido pernambucano.

O PAD adotou uma hierarquização, a partir de ranqueamento com indicação dos municípios do Estado com as condições mais críticas de acesso à água, estabelecendo o Índice de Condição de Acesso à Água (ICAA).

Figura 5 - Ranking de municípios com base no ICAA (PAD)



Fonte: Programa Água Doce (2012).

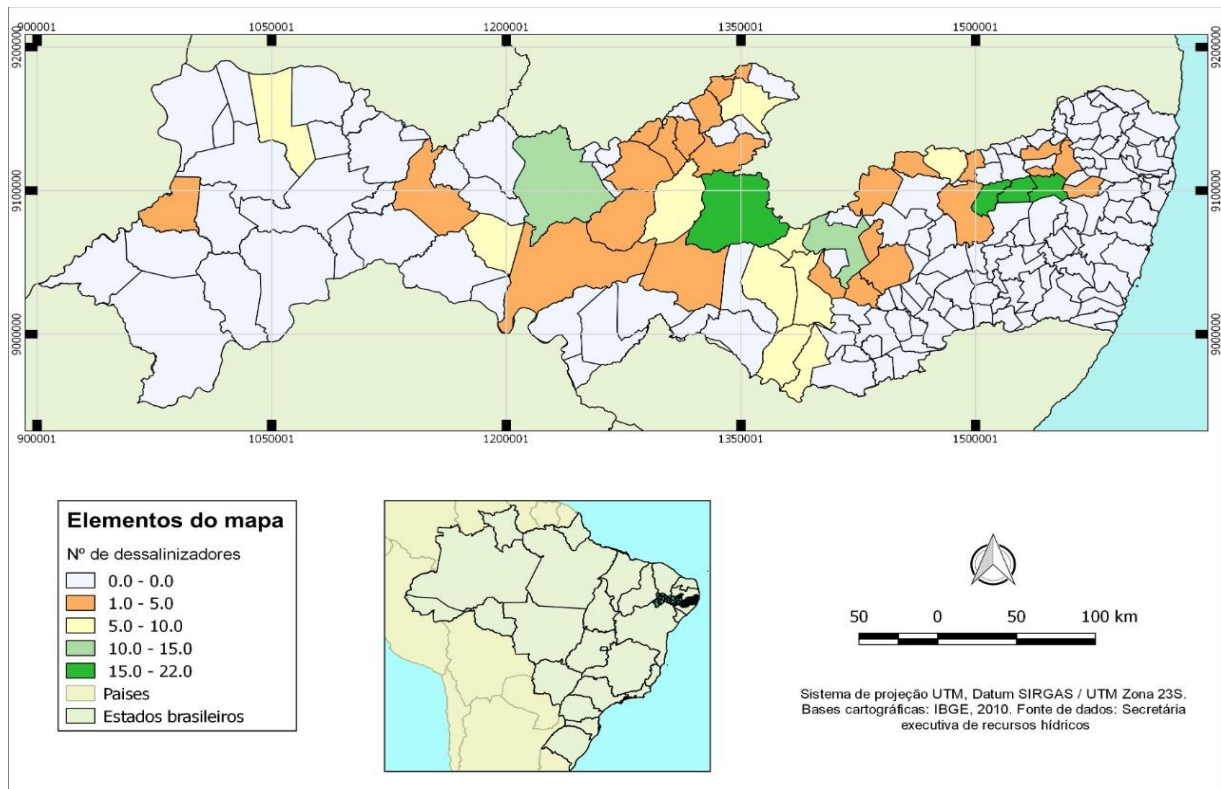
De forma complementar, para definição das comunidades a serem beneficiadas pelo



convênio atual foi realizado ainda um trabalho preliminar que consistiu na realização de diagnóstico social, ambiental e técnico em 510 comunidades rurais, além da limpeza e teste de vazão de 340 poços, para caracterização e ratificação das comunidades indicadas.

Paralelo à atuação do PAD, encontra-se a Secretaria Executiva de Recursos Hídricos, vinculada à Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos do Governo do Estado de Pernambuco (SEINFRA), a qual atua na manutenção e acompanhamento da operação de 285 dessalinizadores implantados em todo o Estado, em sua maioria na região semiárida.

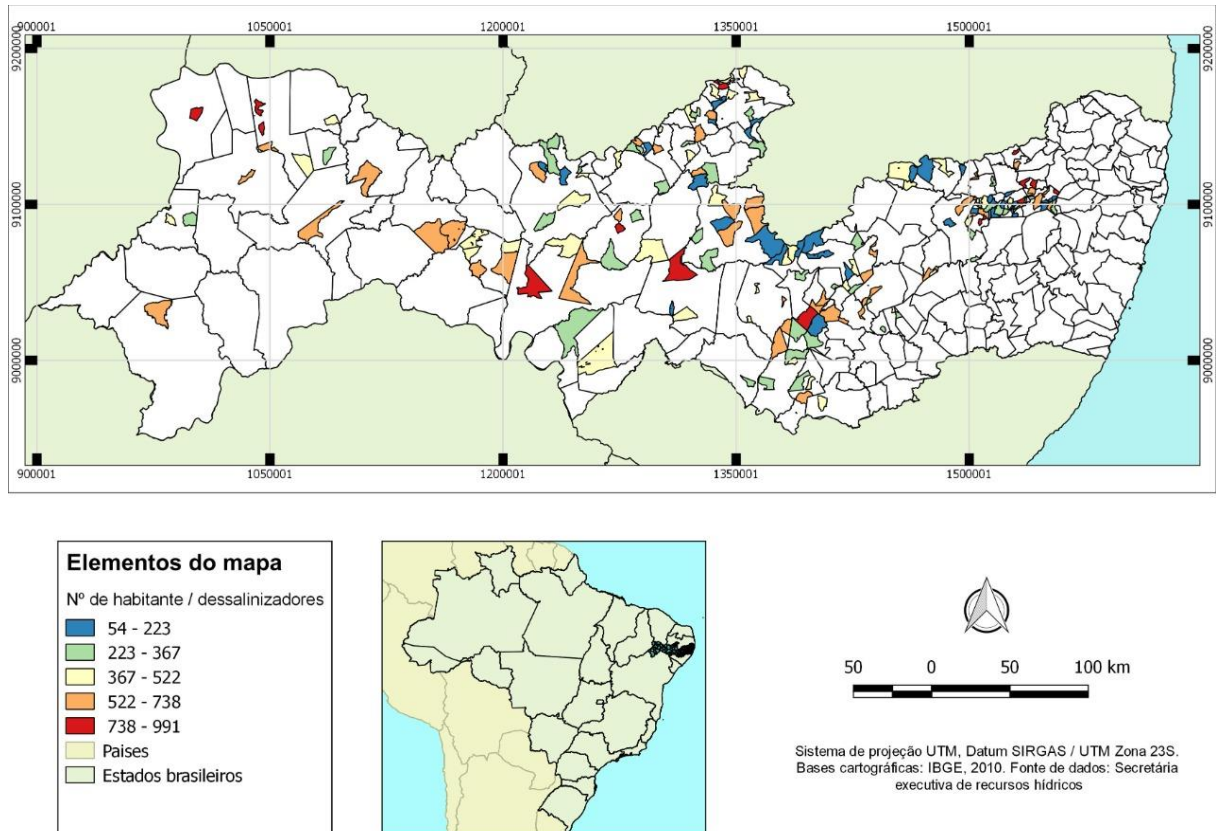
Figura 6 - Distribuição do nº de dessalinizadores já instalados pela Secretaria Executiva de Recursos Hídricos



Fonte: Autora (2022).

Quanto aos critérios adotados pela Secretaria Executiva de Recursos Hídricos (SERH) para definição das localidades abrangidas neste escopo de atendimento, foi levado em consideração parâmetros como Índice de Desenvolvimento Humano, níveis escassez de água potável, capacidade de gestão e operação dos sistemas implantados, importância ambiental, social e/ou econômica. Além disso, também se avaliou a integração desta com outras ações, projetos e programas desenvolvidos pelo poder público, capacidade de gestão e organização municipal e a organização social voltada para a gestão ambiental.

Figura 7 - Distribuição de dessalinizadores instalados por nº de habitantes abrangidos – projeção de demanda



Fonte: Autora (2022).

## 2.6 CUSTOS INERENTES À TECNOLOGIA DE DESSALINIZAÇÃO

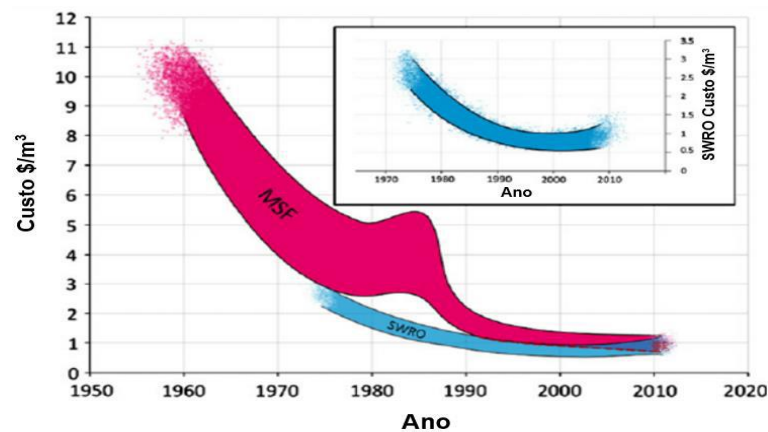
Para implantação e gestão de sistemas de abastecimento de água de forma geral, são requeridos investimentos para sua implantação e manutenção, de forma que quando se avalia o viés de utilização desta tecnologia, tem-se observado melhorias nos custos inerentes a este cenário. Para sua estimativa, cabe que seja levado em consideração o tipo de tecnologia adotada bem como a metodologia a ser implantada, além das variáveis identificadas em cada localidade, no que se refere a materiais e suprimentos para estruturação do sistema, bem como valor de consumo energético.

No cenário atual, a tecnologia da dessalinização tem ganhado espaço mundialmente, e obtido competitividade econômica, diante dos aumentos constantes nos custos inerentes aos sistemas de abastecimento convencionais em todo o mundo (BURN et al., 2015).

Neste contexto, é importante evidenciar a melhoria no que se refere aos investimentos requeridos por este tipo de sistema de abastecimento, observado nas últimas

décadas, visto que a partir de alguns levantamentos de custos realizados, identificou-se que, no início da década de 1960, os custos para MSF (dessalinização térmica - destilação de múltiplos estágios) giravam em torno de 7 e 9 US\$/m<sup>3</sup> e para SWRO (dessalinização por osmose reversa da água do mar) entre 3 e 5 US\$/m<sup>3</sup>, caindo na última década (2010) para valores inferiores a 1 US\$/m<sup>3</sup> nas duas metodologias (GHAFFOUR et al., 2013).

Figura 8 - Projeção da evolução do custo de água dessalinizada entre os anos de 1950 e 2020



Fonte: Ghaffour et al. (2013).

De forma geral, para a verificação de viabilidade e custos econômicos de implantação e manutenção de um sistema de dessalinização, deve-se avaliar o local de implantação, a capacidade de instalação, fontes de alimentação, método de descarga entre outros aspectos que podem interferir diretamente nesses custos. Ademais, os níveis de salinidade da fonte de alimentação do sistema também representam significativo aumento nos custos do processo, visto que, a dessalinização de água salobra, caracteristicamente identificadas em fontes de água subterrânea (poços), é bem menor que a dessalinização de água do mar, podendo chegar a um terço desta (TORRE, 2015).

Outro aspecto que agrega bastante valor aos custos desse sistema, se relaciona à metodologia para disposição final do efluente resultante do processo de dessalinização (concentrado), principalmente quando se leva em consideração projetos que são implantados em localidades afastadas da costa oceânica, diante disto, já tem sido desenvolvidas novas tecnologias que visam reduzir consideravelmente o quantitativo de efluente produzido (BURN et al., 2015).

Nesse viés de análise de viabilidade econômica, tem-se observado estratégias para desenvolvimento de parcerias público-privadas como ferramenta para difusão da tecnologia em diferentes esferas.

Além dos parâmetros já citados, para estimativa de custos relacionados à tecnologia da dessalinização (nível de salinidade, tipo de tecnologia, variável de energia disponível, etc), é importante ainda indicar outros fatores que podem ser observados, sob uma ótica mais ampla de análise, que são os subsídios, ameaças financeiras, cenário política, entre outros aspectos, que podem também interferir no preço dos sistemas, e gerar variações consideráveis nos processos licitatórios para implantação destes, no âmbito das políticas públicas (BERNAT et al., 2010).

Para que haja uma avaliação do custo do fornecimento da água dessalinizada no ambiente semiárido, deve-se ponderar aspectos financeiros (custo real) e social, visto que viabilizar o abastecimento hídrico, de uma população totalmente fragilizada pela escassez deste recurso, pode gerar ganhos em aspectos de qualidade de vida e capacidade produtiva, refletindo diretamente em indicadores positivos relacionados a saúde pública, com diminuição de casos de doenças relacionadas ao consumo irregular de água, e também econômicos, na ótica de viabilização de produção e consumo desta população.

Ademais, é importante destacar a mitigação de custos quando comparados, a obras de infraestrutura hídrica de grande porte, as quais requerem deslocamento/transporte de água por longas distâncias, como é o caso dos sistemas adutores, convencionalmente utilizados, que tem custos elevadíssimos. Em sistemas implantados localmente, como é a proposta da dessalinização a partir do aproveitamento de poços, há uma maior possibilidade de garantia de entrega, com agilidade e segurança de qualidade à população beneficiada, diminuindo a interferência e dependência de fatores externos, como problemas de infraestrutura no percurso de distribuição, vulnerabilidade a desastres naturais, entre outros aspectos, que possam comprometer a regularidade do abastecimento hídrico, principalmente de comunidades difusas.

### **2.6.1 Estimativas de custo de implantação e manutenção de sistema no Estado de Pernambuco**

O Governo do Estado de Pernambuco, na perspectiva de mantimento e garantia de conservação dos sistemas de dessalinização já implantados em todo o Estado, atualmente sob gestão da Secretaria Executiva de Recursos Hídricos, vinculada à SEINFRA, mantém desde

2015 um contrato de manutenção e acompanhamento de até 450 dessalinizadores em todo o Estado. Estimativas realizadas no âmbito de políticas públicas implantadas no Estado, projetam que a implantação e garantia de funcionamento pleno de 800 dessalinizadores no Estado, poderia suprir a demanda hídrica de aproximadamente 30% de toda a população rural, representando uma grande conquista no contexto de abastecimento de comunidades difusas em Pernambuco.

Segundo avaliações realizadas no âmbito estadual em 2020, dos resultados obtidos a partir do acompanhamento e manutenção dos sistemas já existentes, estima-se um custo de R\$ 0,24 (vinte e quatro centavos) para cada 20 litros de água dessalinizada, que equivale a R\$12,00 (doze reais) por cada m<sup>3</sup> resultante do sistema. Levando-se em consideração os custos atuais de outras metodologias de abastecimento de água popularmente utilizados para o consumo humano, como é o caso das águas minerais, há uma estimativa de custos que giram em torno de R\$ 6,00 a R\$ 15,00 para cada 20 litros de água. Já no que se refere aos custos de abastecimento através de caminhões-pipa, muito utilizado para abastecimento de comunidades rurais difusas, cuja água pode ter sua qualidade comprometida devido à falta de monitoramento das fontes que o abastecem, ou até mesmo a vulnerabilidade de contaminação destas durante seu transporte, que comprometem e limitam seu uso, estima-se um custo que pode chegar a R\$ 30,00 por cada m<sup>3</sup>.

Nesta ótica, cabe cada vez mais ponderar e viabilizar o uso de sistemas de dessalinização, cabendo que seja desenvolvido a nível local, mecanismos de monitoramento técnico e gestão dos mesmos, visando minimizar aspectos de dependência da população beneficiada à gestão de políticas municipais, estaduais e federais, referente à manutenção dos sistemas.

No que se refere aos custos, é importante evidenciar também a possibilidades de utilização de sistemas instalados com suprimento integral de energia solar, conforme modelo já presente também no Estado de Pernambuco, no município de Riacho das Almas, o qual foi o primeiro dessalinizador de água movido a energia solar implantado do Brasil. Pelo fato de o sistema de dessalinização não utilizar energia elétrica tradicional, há inúmeros aspectos positivos com reflexos desde a implantação à manutenção do sistema em questão.

Nesse contexto pode-se citar a eliminação quanto à necessidade de adequação para rede elétrica trifásica no local de instalação do equipamento (que muitas vezes pode refletir em dificuldades na operação do sistema, principalmente em área rural), a economia com custos referentes a pagamento de energia mensal às concessionárias de energia, além de

minimizar as necessidades de intervenções/manutenções relacionadas ao sistema elétrico do sistema.

Os custos inerentes à tal adequação, com instalação de dispositivos relacionados à energia solar, geram um incremento de aproximadamente 30% no valor do equipamento convencional, com grande viabilidade, visto que os aspectos de economia gerados refletem no seu retorno de investimento em um curto prazo.

## 2.7 DESTINAÇÃO ADEQUADA DOS EFLUENTES CONCENTRADOS COMO FORMA DE ADAPTAÇÃO E MITIGAÇÃO DE IMPACTOS

A destinação ambientalmente correta dos efluentes resultante do processo de dessalinização é um dos desafios enfrentados e deve ser ponderada. Isso porque, quando se analisa o contexto da dessalinização no Brasil, que utiliza predominantemente a técnica de dessalinização de águas subterrâneas a partir da técnica de osmose reversa, há além da água doce (potável) gerada, um outro tipo de água, muito salina (concentrado), com risco de contaminação ambiental elevado.

Nesse contexto, foram identificadas no princípio de sua utilização, entre as décadas de 80 e 90, que os concentrados eram geralmente devolvidos ao solo ou até aos cursos d'água, refletindo em impactos negativos, como a erosão e salinização do solo, prejudicando os elementos que compõem o ecossistema local, com interferência direta, principalmente da produção agrícola (PESSOA, 2000). De forma mais ampla, é importante destacar que, além da capacidade de degradação dos solos, esses efluentes possuem grande potencial para contaminar mananciais, e até a fauna e flora da região, destacando-se que os sais depositados na superfície do solo, além de contaminarem mananciais subterrâneos, poderão ser transportados pela ação dos ventos ou pela água de escoamento superficial e salinizar aguadas e áreas próximas (AMORIM et al., 2004).

Diante disto, passaram a ser desenvolvidas e difundidas técnicas/ações produtivas, para aproveitamento sustentável do concentrado, agregando-o a atividades como o cultivo hidropônico, piscicultura, carcinicultura, dessedentação animal, e até mesmo a irrigação de plantas halófitas, como é o caso da Atriplex, que se destina à forragem animal.

### 2.7.1 Aproveitamento do concentrado para produção hidropônica

Como alternativa produtiva para a utilização de águas salobras subterrâneas e também

para destinação nobre do rejeito de sua dessalinização, tem-se apontado estudos de viabilidade técnica para sua utilização na solução nutritiva em cultivos hidropônicos de hortaliças, uma vez que a tolerância das plantas à salinidade em sistemas hidropônicos é maior em relação ao sistema convencional, pois a inexistência do potencial mátrico, superando o potencial total da água, reduzirá a dificuldade de absorção de água pelas plantas (SOARES et al., 2007). Por outro lado, a própria estrutura hidropônica funciona como sistema de drenagem e os sais acumulados ao final do cultivo podem ser facilmente descartados para fora do sistema.

A técnica do cultivo hidropônico em fluxo laminar de nutrientes (NFT) apresenta vantagens como: eficiência no uso da água e nutrientes; melhor aproveitamento da área; elevadas produtividades e possibilidade de um controle maior no descarte do seu rejeito, minimizando os efeitos negativos sobre o meio ambiente (SOARES, 2007). Desta forma, os sistemas hidropônicos permitem o uso das águas concentradas dos dessalinizadores, viabilizando uma atividade produtiva geradora de renda para as comunidades rurais, com maior segurança ambiental.

### **2.7.2 Aproveitamento do concentrado para piscicultura e carcinicultura**

O crescimento da piscicultura, com base em raças de tilápias cuja origem genética vem do gênero *Oreochromis sp.*, tem estimulado meios técnico-científicos a buscarem novas alternativas visando a melhoria do produto final, na busca da qualidade e aceitabilidade pelo consumidor. Por ser uma espécie originária de água doce que se adapta muito bem em água salgada, estudos desenvolvidos na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), por meio da Embrapa Semiárido em parceria com a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), demonstraram ser viável a criação de tilápia com o concentrado da dessalinização no semiárido brasileiro, possibilitando uso racional do aquífero cristalino, ofertando alimento de alto valor proteico com baixo custo e de boa qualidade, diversificando as atividades socioeconômicas (ARAÚJO; PORTO, 1999).

Além da piscicultura, a carcinicultura também vem sendo empregada no aproveitamento do concentrado, a partir de estudos desenvolvidos pela EMBRAPA que avaliam a viabilidade de criação de camarão (*Panaeus vannamei*). O crescimento da carcinicultura deve-se à introdução de novas técnicas de cultivo, melhorias nos viveiros, seleção de espécies e o manejo na forma de criação. Dentre essas técnicas vale salientar a importância dos fatores físico-químicos da água tais como temperatura, oxigênio dissolvido e pH, sendo os níveis de

salinidade um dos principais fatores que influencia nos resultados de sobrevivência dos organismos aquáticos (SOARES et al., 2007).

### **2.7.3 Aproveitamento do concentrado para a produção de *Atriplex***

A produção de plantas halófitas (resistentes a salinidade), tem se mostrado com grande viabilidade no contexto de aproveitamento do efluente da dessalinização, além de constituir uma importante fonte de nutrientes para ruminantes. Dentre elas, cabe destacar a Erva-Sal (*Atriplex numulária*), a qual se caracteriza pela capacidade de desenvolvimento em áreas altamente salinas com baixos índices pluviométricos.

Aliado a isto, a *Atriplex* apresenta considerável teor de proteínas e de sais minerais em suas folhas, o que a torna uma opção de grande viabilidade para a alimentação de caprinos, ovinos e bovinos. Seus valores nutricionais são variáveis, com níveis de proteína bruta em torno de 25%, gerando grande incremento na dieta desses animais, que por sua vez, estão dentre os sistemas de exploração com maior capacidade de sustentabilidade no ambiente do semiárido brasileiro. Além do teor protéico, considera-se o teor de sódio nas folhas e em outras partes aéreas, usadas na alimentação desses ruminantes, como mais um benefício na sua nutrição, dispensando a suplementação de sódio (PORTO et al., 2004).

Vale ainda destacar, que a erva-sal atua como um dessalinizador biológico do solo, por apresentar habilidade de acumular sais em seus tecidos. Esta acumulação é maior nas folhas da planta e ocorre devido à formação de vesículas especiais, pequenas bolsas na superfície dos tecidos da folhagem (O'LEARY, 1986; GLENN et al., 1998; PORTO et al., 2001).

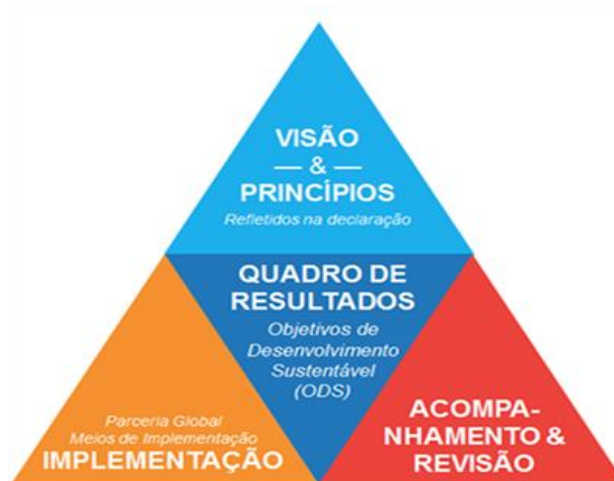
## **2.8 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ESCASSEZ HÍDRICA COMO UMA DAS BASES DE ARTICULAÇÃO PARA A AGENDA 2030**

A Agenda 2030 é um plano de ação da Organização das Nações Unidas (ONU), composto por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas, os quais foram anunciados em 2015, por meio do envolvimento e comprometimento dos diversos setores da sociedade, na busca pela erradicação da pobreza e fome, proteção do planeta, paz e liberdade para as pessoas. As ações que a integram, são marcadas pela participação coletiva no processo de garantia dos direitos humanos, e encontram-se estruturadas em equilíbrio com as três dimensões do desenvolvimento sustentável - economia, sociedade e meio ambiente (FBB, 2018).



Seu escopo é detalhado em um quadro de resultados (com os 17 ODS e suas 169 metas), apresentando uma seção sobre meios de implementação e de parcerias globais, bem como de um roteiro para acompanhamento e revisão, estando os ODS no núcleo da Agenda e compõe o principal foco a ser alcançado até o ano 2030, conforme detalhado na Figura 9.

Figura 9 - Estruturação para estabelecimento de ações da Agenda 2030



Fonte: Plataforma Agenda 2030 (2018).

Neste contexto, e levando-se em consideração as avaliações inerentes às mudanças climáticas identificadas nos últimos anos (aumento da temperatura, maior variabilidade da distribuição de chuvas no tempo e espaço, com intensificação dos períodos de estiagem na região semiárida), que serão foco desta pesquisa, é importante que seja adotada uma visão ampla de análise, visto que as consequências destas podem apresentar interferências que vão além do cenário local (MARENGO et al., 2011).

Dessa forma, é importante analisar sua relação com a disponibilidade hídrica no semiárido, paralelo ao uso da tecnologia da dessalinização, e seu potencial de mitigação sob a conjuntura de mudanças identificadas no meio ambiente. Também é importante que seja ponderado o uso de tal tecnologia como ferramenta de construção social, tendo a participação coletiva das comunidades beneficiadas, principalmente quanto aos procedimentos pós-implantação, cabendo destacar nesta fase que é indispensável o desenvolvimento da gestão participativa da tecnologia, para que esta seja eficiente no atendimento da demanda hídrica dessas comunidades.

Fica em evidência que esta metodologia está vinculada ao ODS 6 – água potável e saneamento, uma vez que atua diretamente em ações que garantam água em quantidade e

qualidade adequada às populações do semiárido brasileiro. E ao ODS 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima, visto que está embasada na análise das alterações ambientais identificadas na região semiárida, para planejamento e gestão das questões hídricas em todos os níveis. Ademais, levando-se em consideração o escopo das tecnologias sociais presentes em todo o mundo, incluindo a dessalinização, fica em evidência a relação direta que estas apresentam com os ODS, sendo caracterizadas como metodologias fundamentais ao alcance dos objetivos e metas da Agenda 2030, uma vez que reúnem organização social e conhecimento técnico-científico, além de garantir sua efetividade e replicação (FBB, 2018).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados os procedimentos metodológicos utilizados para o alcance dos objetivos deste estudo. Abrangem caracterizações de ambientes de criticidade quanto à abastecimento hídrico no semiárido pernambucano; análise climatológica desses ambientes, juntamente com a análise de tendência climatológica do Agreste e Sertão do Estado; avaliação da qualidade da água das reservas subterrâneas; e culminando na análise de viabilidade e indicação de uso da tecnologia da dessalinização como importante ferramenta para a manutenção de suas populações quanto a abastecimento hídrico.

Os municípios selecionados para o escopo de análise deste trabalho, estão inseridos no semiárido Pernambucano, onde a escassez hídrica é uma realidade constante, dentre os quais, são foco de análise aqueles que, segundo metodologia implantada pelo PAD, são considerados os de maior criticidade quanto ao acesso à água, sendo estes indicados à implantação de dessalinizadores, como ferramenta mitigadora deste cenário de escassez.

Além destes, serão utilizados para análise de tendência climática, os municípios de Salgueiro e Caetés, com foco para a construção de um ambiente comparativo entre as diferenciações climáticas que abrangem as regiões Sertão e Agreste de Pernambuco, respectivamente.

Por fim será realizada uma análise, com base em informações hidrogeológicas e de qualidade de água dessas localidades, visando criar subsídios que comprovem a necessidade de uso de dessalinizadores, como tecnologia mitigadora dos efeitos adversos identificados na região semiárida no que tange ao abastecimento hídrico de comunidades difusas.

#### 3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Foram utilizados dados oriundos de levantamento bibliográfico, cartográfico e documental referentes às caracterizações físicas e climatológicas do semiárido de Pernambuco, paralelo ao uso de dessalinizadores nessas localidades, além de pesquisas já desenvolvidas tanto no âmbito estadual, quanto em outros estados do Nordeste brasileiro referentes à aplicabilidade desta tecnologia no cenário proposto. Ademais, também foram utilizadas bases documentais geradas pelo Programa Água Doce em Pernambuco, e informações oriundas dos trabalhos de monitoramento de dessalinizadores já implantados pela Secretaria Executiva de Recursos Hídricos, quanto à utilização da tecnologia em questão.

### 3.1.1 Caracterização de regiões de criticidade hídrica no semiárido de Pernambuco

De forma geral, observa-se que a região semiárida de Pernambuco, apresenta características que comprometem a disponibilidade hídrica, tornando um grande desafio a manutenção das atividades gerais de sua população, no que tange o abastecimento humano, animal e produtivo. Neste contexto, vale salientar ainda, que além das características físicas inerentes a esta região, há aspectos socioeconômicos, também relacionados às condições naturais, que por sua vez, agregam e tornam este cenário ainda mais desafiador. Diante disto, quando se trata do recurso “água”, é indispensável e indissociável o debate social, de forma que estudo/análise das mecânicas que integram suas interrelações são bem mais abrangentes.

Dessa forma, a metodologia adotada pelo Programa Água Doce, busca exatamente criar essa ótica ampla de avaliação, trazendo esse englobamento para o cenário de debate de políticas públicas, para a construção de ferramentas que propiciem a convivência de uma parcela extremamente significativa da população, neste cenário de vulnerabilidade hídrica.

Para definição dos municípios que serão foco de desenvolvimento desta pesquisa, foi utilizado como base o estabelecimento de critérios, segundo metodologia de análise do PAD, através do índice de priorização de atendimento, estabelecido pelo ICAA (Índice de Condição de Acesso à Água), que traz em seu escopo, indicadores físicos e sociais que juntos, criam um panorama real da situação de fragilidade da população do semiárido, no contexto central da escassez de água, com indicativo das localidades mais críticas quanto ao acesso à água.

A hierarquização e estabelecimento dessas localidades é feita a partir do cruzamento de indicadores como o Índices de Desenvolvimento Humano (IDH), mortalidade infantil, índices pluviométricos e dificuldade de acesso aos recursos hídricos.

Assim, os municípios com menores índices pluviométricos, maiores índices de mortalidade infantil, maiores índices de intensidade de pobreza; menores Índices de Desenvolvimento Humano por Município (IDH-M), e com dificuldade de acesso aos recursos hídricos estão no escopo de maior criticidade.

Os resultados, de forma geral, foram obtidos através de uma média ponderada que utiliza na sua composição os dados anteriormente citados (IDH-M, Pluviometria, Taxa de Mortalidade Infantil e Intensidade de Pobreza). Com exceção do IDH-M, que tem peso 1, todas as demais informações têm peso 2. Essa menor pontuação para IDH-M tem como objetivo reduzir a influência da renda per capita no cálculo do ICAA (Índice do Condição de Acesso à Água) e realçar as condições sociais das populações mais carentes do Estado. O

ICAA varia de 0 a 1, e quanto menor o índice, menores são as condições de acesso à água no Semiárido e, portanto, mais crítico o município.

### **3.1.2 Análise climatológica**

Tendo como base a hierarquização criada, foram adotados como base para detalhamento e análises gerais, no que tange as variabilidades de atributos climáticos, os 20 municípios mais críticos quanto ao acesso à água em Pernambuco, segundo metodologia do PAD. As variáveis climáticas que foram analisadas neste escopo de estudo abrangem precipitação média anual, evapotranspiração anual e temperaturas máxima, média e mínima.

Para tal, utilizou-se o banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), como ferramenta para a projeção do contexto de análise proposto, para tabulação de informações referentes à precipitação, evapotranspiração e variações de temperatura.

Para esse estudo, foram utilizados dados do período de 1980-2016, obtidos a partir da base de dados em grade de XAVIER; KING; SCANLON (2015) e XAVIER; KING; SCANLON (2016). Além de ser uma série histórica climatológica, com mais de 30 anos de dados, período mínimo recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para análises sobre clima, estudos anteriores têm mostrado que seus dados se aproximam dos dados observados em estações de superfície (BATTISTI; BENDER; SENTELHAS, 2019; BENDER; SENTELHAS, 2018).

Os resultados desta etapa foram apresentados em forma de tabelas e mapas com parâmetros climáticos (balanço relativo, evapotranspiração, temperatura máxima, mínima, média e precipitação) da normal climatológica dos anos entre 1980 – 2016, e seu detalhamento constarão no item 4 deste documento.

### **3.1.3 Delimitação de perfil e análise de tendência climatológica**

Para a realização do estudo de perfil climatológico e análise de tendências de mudanças climáticas, foram adotadas como base de análise, duas localidades pertencentes a regiões distintas dentro das delimitações do semiárido de Pernambuco, como o Agreste (Caetés) e Sertão (Salgueiro), visando propiciar um contexto/cenário comparativo entre estas.

Considerando que o estado de Pernambuco possui características representativas da região Nordeste do Brasil, este apresenta acentuada variabilidade interanual e intrassazonal, o

que está relacionado diretamente aos sistemas meteorológicos atuantes na região (KAYANO; ANDREOLI, 2009). Pela classificação de Köppen, Pernambuco é caracterizado pelo clima tropical úmido (predominante no litoral) e o semiárido (no Agreste e Sertão) (ALVARES et al., 2013). Tanto as mesorregiões do Sertão quanto as do Agreste, aqui estudadas, são caracterizadas pelo clima semiárido.

Tal análise propiciará a obtenção do resultado do estudo climatológico das duas regiões que compõem o escopo de análise já citado, descrevendo o comportamento dos dados mensais e normais climatológicas dos seguintes parâmetros: precipitação, temperatura máxima, mínima e média, balanço relativo e evapotranspiração; além de definir as classes climáticas por índice de aridez.

Ademais, é importante também citar, que a definição dessas localidades para maior detalhamento de estudo levou em consideração a disponibilidade de recursos/informações disponíveis acerca destes, quanto a variabilidades climatológicas, sendo utilizado o mesmo banco de dados e metodologia citada no item anterior, porém neste capítulo, com maior nível de detalhamento no que se refere às variáveis de precipitação e temperatura, possibilitando uma maior visualização de condições de extremos climáticos e índice de aridez das localidades estudadas, que abrange os municípios de Caetés e Salgueiro, como base de caracterização das regiões Agreste e Sertão de Pernambuco, e propiciarão a projeção das tendências climatológicas destas.

### **3.1.4 Análise baseada na qualidade da água das reservas subterrâneas (poços) para indicação de implantação de dessalinizadores no semiárido pernambucano**

A avaliação de viabilidade de implantação de sistemas de dessalinização nas localidades que são foco deste estudo, foi realizada com base em dados secundários, resultante de levantamentos bibliográficos de tecnologias alusivas à dessalinização de água empregadas na atualidade, atentando às suas peculiaridades.

Além disso, foram utilizados também dados oriundos de documentos e relatórios técnicos elaborados pelo atual convênio do Programa Água Doce em Pernambuco. Para tal, foi realizado inicialmente uma análise abrangendo as caracterizações hidrogeológicas da região semiárida de Pernambuco, na qual estão inseridos todos os municípios estudados, sendo avaliado aspectos que correlacionam a geologia local com qualidade de água para consumo humano, principalmente referente a índices de salinidade das reservas hídricas subterrâneas.

Foram utilizados também, dados contidos nos diagnósticos técnicos, que abrangem teste de vazão e análises físico-química e bacteriológica de água dos 170 poços tubulares indicados pelo PAD à implantação de sistemas de dessalinização abrangidos no atual convênio sob gestão da Secretaria de Desenvolvimento Agrário. De forma pontual serão avaliados os teores de sólidos totais dissolvidos (TDS), como subsídio para classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos recursos hídricos, e indicação quanto à sua utilização para consumo humano, levando-se em consideração legislações vigentes.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA OBJETO DE ESTUDO

Nesta seção foi realizado o detalhamento das áreas que são foco deste estudo, levando em consideração o escopo metodológico adotado, a partir da estrutura de análise anteriormente apresentada.

#### **3.2.1 Localidades de maior criticidade quanto à disponibilidade hídrica em Pernambuco**

De forma geral, observa-se que o quadro do déficit hídrico no semiárido de Pernambuco é bastante heterogêneo, no que tange a sua distribuição dentro das mesorregiões inseridas nessa localidade, e as chamadas regiões de desenvolvimento, segundo a Lei Estadual nº 12.427, de 25 de setembro de 2003.

Dessa forma, observa-se que os municípios de maior criticidade se encontram distribuídos nas seguintes Regiões de Desenvolvimento de Pernambuco (RD):

- Agreste Central
- Agreste Meridional
- Agreste Setentrional
- Sertão do Araripe
- Sertão Central
- Sertão do Moxotó
- Sertão do São Francisco

Para melhor detalhamento destes, na Tabela 1 constam os 20 municípios de maior criticidade segundo o ranking ICAA, com base na metodologia do PAD, os quais foram base para a avaliação de variabilidade climática.

Tabela 1 - Os 20 municípios mais críticos de Pernambuco com base no Índice de Condição de Acesso à Água (ICAA) do Programa Água Doce

<b>Município</b>	<b>Ranking ICAA</b>	<b>RD</b>
Manari	1º	Sertão do Moxotó
Vertente do Lério	2º	Agrete Setentrional
Caetés	3º	Agrete Meridional
Frei Miguelinho	4º	Agrete Setentrional
Iati	5º	Agrete Meridional
Casinhas	6º	Agrete Setentrional
Capoeiras	7º	Agrete Meridional
Cumarú	8º	Agrete Setentrional
Riacho das Almas	9º	Agrete Central
Santa Maria do Cambucá	10º	Agrete Setentrional
Itaíba	11º	Agrete Meridional
Alagoinha	12º	Agrete Central
Paranatama	13º	Agrete Meridional
Dormentes	14º	Sertão do São Francisco
Santa Cruz	15º	Sertão do Araripe
Salgadinho	16º	Agrete Setentrional
Sanharó	17º	Agrete Central
Trindade	18º	Sertão do Araripe
Jataúba	19º	Agrete Central
Águas Belas	20º	Agrete Meridional

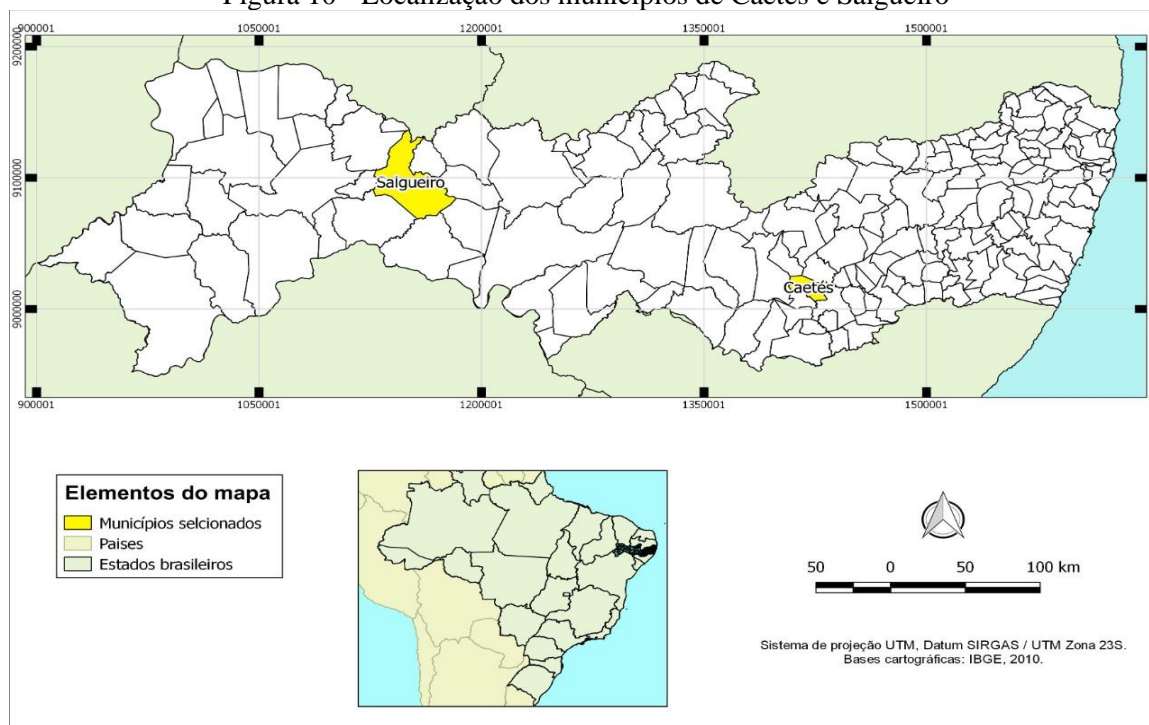
Fonte: Adaptado de Programa Água Doce (2022).

### **3.2.2 Localidades para estudo de perfil climatológico e análise de tendência de mudanças climáticas**

De forma geral, foram analisados dados de mudanças climáticas identificados nos municípios de Caetés e Salgueiro, os quais encontram-se localizados nas regiões do Agreste Meridional e Sertão Central do Estado de Pernambuco, na ótica de criação de um panorama comparativo entre as duas mesorregiões.



Figura 10 - Localização dos municípios de Caetés e Salgueiro



Fonte: Autora (2022).

### 3.2.2.1 Caetés

Caetés é um município brasileiro localizado no Planalto da Borborema, com 849 metros de altitude, na mesorregião do Agreste pernambucano e na microrregião de Garanhuns. Está a 252 km de distância da capital pernambucana. Sua área territorial corresponde a 294,94 km<sup>2</sup>, com uma população estimada de 29.065 habitantes (IBGE, 2021) e uma densidade demográfica de 80,66 hab./km<sup>2</sup>, segundo o Censo Demográfico de 2010.

A vegetação é predominantemente do tipo caatinga hipoxerófila, em toda a área do município. Seu clima é o BSs'h', segundo Koppen. É muito quente, semiárido, tipo estepe, com estação chuvosa que se adianta para o outono, com verão seco, sendo que a estação chuvosa se inicia em janeiro/fevereiro com término em setembro, podendo se estender até outubro. A precipitação média anual é de 743 mm.

No que se refere à caracterização de solos, observa-se que, nas superfícies de suave onduladas a onduladas, ocorrem os Planossolos, medianamente profundos, imperfeitamente drenados, ácidos a moderadamente alcalinos e fertilidade natural média a baixa; Neossolos Regolíticos (antigos Regossolos) de textura arenosa e arenosa/média, acentuadamente drenados, ácidos e com baixa fertilidade natural; e ainda os Argissolos (antigos Podzólicos), que são profundos, de textura média/argilosa, e fertilidade natural média a baixa. Por sua vez,

nas elevações ocorrem os Neossolos Litólicos (antigo Solos Litólicos), rasos, textura média a arenosa e fertilidade natural média a baixa (CPRM, 2005a).

Nos Vales dos rios e riachos, ocorrem os Planossolos, medianamente profundos, imperfeitamente drenados, textura arenosa a média/argilosa, moderadamente ácidos a moderadamente alcalinos, fertilidade natural média a baixa e comumente com problemas de sais (caráter solódico ou sódico), havendo ainda afloramentos de rochas associados (CPRM, 2005a).

De forma mais abrangente, e por ser uma região inserida na zona do Agreste, as limitações ambientais se apresentam de forma bem mais acentuada, podendo citar que associados ao relevo movimentado e solos com baixa fertilidade natural, tem-se ainda áreas com expressiva rochiosidade/pedregosidade, solos rasos, solos com drenagem deficiente, solos afetados por sais, restrições de umidade e as irregularidades (intra-anual e interanual) das chuvas típicas do ambiente semiárido (ARAÚJO FILHO et al., 2014).

Quanto à geologia, o município de Caetés encontra-se inserido, geologicamente, na Província Borborema, sendo constituído pelos litotipos dos complexos Cabrobó e Belém de São Francisco, da Suíte Intrusiva Leucocrática Peraluminosa e dos Granitóides de Quimismo (CPRM, 2005a).

No que tange às águas superficiais, o município de Caetés está totalmente inserido no Domínio Hidrogeológico Fissural, formado de rochas do embasamento cristalino que englobam o sub-domínio rochas metamórficas, constituído do Complexo Belém do São Francisco e do Complexo Cabrobó; e o sub-domínio rochas ígneas dos Granitóides e da Suíte Intrusiva Leucocrática Peraluminosa.

Por sua vez, sob o aspecto de domínios hidrogeológicos concernentes às águas subterrâneas, o município está totalmente inserido no Domínio Hidrogeológico Fissural, formado de rochas do embasamento cristalino que englobam o sub-domínio rochas metamórficas, constituído do Complexo Belém do São Francisco e do Complexo Cabrobó; e o sub-domínio rochas ígneas dos Granitóides e da Suíte Intrusiva Leucocrática Peraluminosa.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município de Caetés apresentava, no que se refere a trabalho e rendimento, em 2019, o salário médio mensal era de 1,5 salários-mínimos e a proporção de pessoas ocupadas em relação à população total era de 5,6% (IBGE Cidades, 2021).

Quanto ao panorama da educação no município, dados de 2010 mostram que a taxa de escolaridade é de 92,6% entre crianças com 6 a 14 anos de idade. Quanto ao Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB) dos anos iniciais do ensino fundamental (Rede

pública), em 2019 se apresentava como 5,2, enquanto os anos finais do ensino fundamental (Rede pública) era de 4,8.

Com relação aos dados econômicos, segundo o IBGE, Caetés ocupa a 77ª posição no ranking estadual, com um PIB per capita de R\$ 11.162,38. Já quando se leva em consideração aspectos de saúde, o mesmo apresenta um índice de Mortalidade Infantil de 6,86 óbitos por mil nascidos vivos, sendo o 150º município segundo esta análise no Estado (IBGE, 2019).

Quanto à caracterização da atividade agropecuária no município, segundo o Censo Agropecuário 2017, o município apresenta um total de 4.463 estabelecimentos rurais, ocupando uma área de 21.673 hectares (IBGE, 2017).

### 3.2.2.2 Salgueiro

Salgueiro é um município localizado na mesorregião do Sertão pernambucano e na microrregião de Salgueiro. Está a 518 km de distância da capital pernambucana. Sua área territorial corresponde a 1.726,4 km<sup>2</sup>, com uma população estimada de 61.561 habitantes (IBGE, 2021) e uma densidade demográfica de 33,57 hab./km<sup>2</sup>, segundo o Censo Demográfico de 2010.

O município está inserido na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, com características típicas do semiárido nordestino, com superfície de pediplanação bastante monótona, relevo predominantemente suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas. A vegetação é basicamente composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia (CPRM, 2005b).

O clima dominante é o BSw<sup>h</sup> de Köppen. É muito quente, semiárido, tipo estepe, com chuvas de verão. O período chuvoso se inicia em novembro com término em abril. A precipitação média anual é de 431,8 mm.

De forma mais pontual, no que tange os solos predominantes na região, nos Patamares Compridos e Baixas Vertentes do relevo suave ondulado ocorrem os Planossolos, imperfeitamente drenados, fertilidade natural média a baixa e problemas de sais (caráter solódico e sódico); Topos e Altas Vertentes e também em relevos suavemente ondulado, destacam-se os Luvisolos (antigos Brunos não Cálcicos), rasos a pouco profundos, de fertilidade natural alta; topos e Altas Vertentes do relevo ondulado ocorrem alguns poucos Argissolos (os antigos Podzólicos), bem drenados e com fertilidade natural média; e nas Elevações Residuais destacam-se os Neossolo litólicos (antigos Solos Litólicos), rasos, pedregosos e com fertilidade natural média.

Quanto à geologia, o município de Salgueiro encontra-se inserido, geologicamente, na Província Borborema, estando constituído pelos litotipos dos complexos Floresta, São Caetano e Salgueiro-Riacho Gravatá, da Suíte Granítica-Migmatítica Peraluminosa Recanto/Riacho do Forno, dos complexos Riacho da Barreira 1 e 2, da Formação Santana dos Garrotes, das suítes Intusiva Tamboril-Santa Quitéria, Shoshonítica Ultra Potássica Triunfo, Intrusiva Shoshonítica Salgueiro/Terra e Calcialcalina de Médio a Alto Potássio Itaporanga, dos Granitóides Diversos e pelos sedimentos das formações Mauriti, Tacaratu e Brejo Santo. (CPRM, 2005b).

Em conformidade com a geologia e o clima semiárido do Sertão, onde notadamente, devido à falta de umidade, há áreas com baixa potencialidade de intemperismo químico, ainda mais acentuado que na região Agreste, observa-se o predomínio de solos rasos a pouco profundos, com presença significativa de frações grossas contendo minerais primários facilmente alteráveis, com destaque também para a pedregosidade (superficial ou interna) dos solos, bem como expressivas áreas com afloramentos rochosos (ARAÚJO FILHO et al., 2014).

No que tange às águas superficiais, o município de Salgueiro está totalmente inserido nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Terra Nova. Seus principais tributários são os riachos: Santa Rosa, Riachinho, Pau Branco, das Traíras, do Pau Ferro, dos Pilões, dos Milagres, Malícia, Baixio Grande, Baixio Verde, Acauã, das Bestas, Salgueiro, Formiga, do Iço, do Miguel, Sauá, do Valério, do Tanque, da Pitombeira, Boa Vista, da Pauta, da Luna, da Balança, do Junco, Caieira, do Sabão, do Fogo, da Ingazeira, dos Negreiros, da Barra, Gravatá, do Boi Morto, do Urubu, da Ramadinha, da Favela, do Firmiano, do Olho d' Água, do Boqueirão, do Caldeirão, do Juazeiro, Ouricuri, Canoa, da Cahoeirinha, Rodeador e do Massapê (CPRM, 2005b).

Os principais corpos de acumulação são os açudes: Argemiro, Monte Alegre, Boa Vista (16.448.450 m<sup>3</sup>), Conceição Creoulas (1.169.400 m<sup>3</sup>), Salgueiro (14.698.200 m<sup>3</sup>) e as lagoas: do Junco, da Caatinga, de Dentro, das Caraíbas e da Jurema. Todos os cursos d'água no município têm regime de escoamento intermitente e o padrão de drenagem é o dendrítico (CPRM, 2005b).

Por sua vez, sob o aspecto de domínios hidrogeológicos concernentes às águas subterrâneas, o município está inserido no Domínio Hidrogeológico Intersticial e no Domínio Hidrogeológico Fissural. O Domínio Intersticial é composto de rochas sedimentares da Formação Brejo Santo, Formação Tacaratu e da Formação Mauriti. O Domínio Fissural é composto de rochas do embasamento cristalino que englobam o sub-domínio rochas

metamórficas constituído da Formação Santana dos Garrotes, Complexo Riacho da Barreira, Suite peraluminosa Recanto-Riacho do Forno, Complexo Salgueiro-Riacho Gravat á Complexo São Caetano do Complexo Floresta e o subdomínio rochas ígneas da Suite calcialcalina Itaporanga, Suite Salgueiro-Terra Nova, Granitóides e da Suite Intrusiva Tamboril-Santa Quitéria (CPRM, 2005b).

Segundo dados do IBGE, o município de Salgueiro apresentava, no que se refere a trabalho e rendimento, em 2019, o salário médio mensal era de 1,9 salários-mínimos e a proporção de pessoas ocupadas em relação à população total era de 13,9 % (IBGE Cidades, 2021).

Quanto ao panorama da educação no município, dados de 2010 mostram que a taxa de escolaridade é de 96,7% entre crianças com 6 a 14 anos de idade. Quanto ao IDEB dos anos iniciais do ensino fundamental (Rede pública), em 2019 se apresentava como 5,7, enquanto o para os anos finais do ensino fundamental (Rede pública) era de 4,9.

Com relação aos dados econômicos, Salgueiro ocupa a 24º posição no ranking estadual, com um PIB per capita de R\$ 16.052,17. Já quando se leva em consideração aspectos de saúde, o mesmo apresenta um índice de Mortalidade Infantil de 11,52 óbitos por mil nascidos vivos, sendo o 102º município segundo esta análise no Estado (IBGE, 2019).

Quanto à caracterização da atividade agropecuária no município, segundo o Censo Agropecuário 2017, o município apresenta um total de 1.988 estabelecimentos rurais, ocupando uma área de 51.624 hectares (IBGE, 2017).

### 3.3 VARIÁVEIS DE ESTUDO CLIMATOLÓGICO

Foram analisados indicadores anuais de extremos climáticos de temperatura e chuva que vem sendo amplamente utilizados, inclusive nos relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), definidos por um grupo de especialistas em detecção e índices de mudanças climáticas (*Expert Team on Climate Change Detection and Indices - ETCCDI*).

Estes índices são baseados nos valores diários de temperatura e chuva e, apontam as características dos extremos climáticos, tais como, frequência e intensidade, para constatar mudanças nos padrões de tempo e clima local, regional e mesmo global (FRICH et al., 2002; PETERSON; MANTON, 2008; ZHANG et al., 2011). Os índices considerados no presente estudo, foram escolhidos com base nos extremos de temperatura e chuva que ocorrem nas regiões de estudo (Tabela 2).

Tabela 2 - Descrição dos índices de extremos climáticos de temperatura e chuva, com suas unidades e descrição

<b>Índice climático (unidade)</b>	<b>Descrição</b>
TN10p (%) - Noites frias	% de dias no ano com temperatura mínima abaixo do percentil 10
TN90p (%) - Noites quentes	% de dias no ano com temperatura mínima acima do percentil 90
TX10p (%) - Dias frios	% de dias no ano com temperatura máxima abaixo do percentil 10
TX90p (%) - Dias quentes	% de dias no ano com temperatura máxima acima do percentil 90
DCS (dias) - Dias consecutivos secos	Nº máximo de dias consecutivos no ano com chuva < 1 mm
DCU (dias) - Dias consecutivos úmidos	Nº máximo de dias consecutivos no ano com chuva ≥ 1 mm
PRCPTOT (mm) – Chuva total	Chuva acumulada no ano
R95p (mm) - Chuva em dias muito úmidos	Quantidade total anual de chuva acima do percentil 95
RX5day (mm) - Chuva máxima em 5 dias	Quantidade máxima anual de chuva acumulada em 5 dias consecutivos
R10 (dias) – Nº de dias com chuva ≥ 10 mm	Nº de dias por ano com chuva ≥ 10 mm
R20 (dias) – Nº de dias com chuva ≥ 20 mm	Nº de dias por ano com chuva ≥ 20 mm
R30 (dias) – Nº de dias com chuva ≥ 30 mm	Nº de dias por ano com chuva ≥ 30 mm

\*Nº - Número; % - Porcentagem.

Para o cálculo dos índices foi utilizado o software ClimPACT2 (ALEXANDER; HEROLD, 2016), que é baseado no *software RClimDex* (ZHANG; YANG, 2004), um código em linguagem R disponibilizado pelo Expert Team (ET) on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI). O software fornece, para todos os índices, tendência linear anual calculada pelo método dos mínimos quadrados; coeficiente de determinação ( $R^2$ ); erro padrão de estimativa e nível de significância estatística da tendência (valor p). No presente estudo só foram consideradas significativas as tendências, que apresentaram nível de significância de 95% ( $p \leq 0,05$ ).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção está direcionada à sistematização e análise dos dados gerados a partir do que foi proposto no presente estudo. Inclui a caracterização climática de regiões inseridas no semiárido de Pernambuco, correlacionando-as ao contexto de escassez hídrica intrínseca à região; e o uso de tecnologias que visem mitigar este cenário, como é o caso da dessalinização de águas subterrâneas, que tem sido amplamente difundida em toda a região do nordeste brasileiro.

Vale ressaltar que os resultados apresentados a seguir, tem como foco principal, a análise climática dos ambientes estudados, e em paralelo avalia-se a mitigação que possa estar agregada à implantação da tecnologia de dessalinização, a partir de um possível incremento da oferta hídrica agregada por este.

A discussão segue a ordem já estruturada nos objetivos específicos propostos, nos quais inicialmente haverá a análise de aspectos relacionados à variabilidade climática (condições extremas) das localidades mais críticas quanto a acesso/disponibilidade de água em Pernambuco; realiza-se um estudo de perfil climatológico e análise de tendências de mudanças climáticas no Agreste e Sertão do Estado; e, por fim, observa-se a correlação de aspectos físicos das localidades de estudo, em relação à qualidade e a disponibilidade hídrica.

### 4.1 VARIABILIDADE CLIMÁTICA DOS MUNICÍPIOS PERNAMBUCANOS MAIS CRÍTICOS QUANTO AO ACESSO A ÁGUA

De forma geral, o cenário intrínseco ao contexto da região semiárida de Pernambuco, no que tange aspectos climáticos e suas alterações nas últimas décadas, foram observados por meio da pesquisa desenvolvida e conforme detalhamento a seguir (Tabela 3), que apresentam uma grande variabilidade no tempo e espaço, quando se leva em consideração os ambientes que apresentam elevados índices de criticidade de acesso à água.

Tabela 3 - Média das variáveis climáticas (Precipitação, TMáxima, TMínima, TMédia e ETo) nos 20 primeiros municípios do ranking ICAA, no período de 1980-2016

Região	Município	Média Precipitação (mm)	Média de TMAX (°C)	Média de TMIN (°C)	Média de TMED (°C)	Média de ETo (mm)
Sertão	Manari	566,90	29,87	19,57	24,72	1753,15
	Dormentes	525,92	32,19	21,48	26,84	1996,80
	Santa Cruz	532,87	31,92	21,24	26,58	1983,11
	Trindade	583,01	31,86	21,03	26,44	1958,63
Agreste	Vertente do Lério	695,17	29,62	20,43	25,02	1665,86
	Caetés	852,14	27,40	18,42	22,91	1647,13
	Frei Miguelinho	695,17	29,62	20,43	25,02	1665,86
	Iati	758,66	29,11	19,46	24,29	1663,13
	Casinhas	762,82	29,61	20,62	25,11	1653,82
	Capoeiras	767,20	27,86	18,53	23,20	1660,89
	Cumaru	792,81	29,49	20,64	25,07	1639,86
	Riacho das Almas	688,38	29,37	20,30	24,84	1650,73
	Santa Maria do Cambucá	695,17	29,62	20,43	25,02	1665,86
	Itaíba	634,42	29,63	19,45	24,54	1712,24
	Alagoinha	703,40	29,00	18,77	23,89	1705,14
	Paranatama	853,01	27,41	18,43	22,92	1647,57
	Salgadinho	794,33	29,66	20,61	25,13	1648,14
	Sanharó	680,20	28,89	18,83	23,86	1699,05
	Jataúba	667,29	29,60	19,26	24,43	1737,83
	Águas Belas	680,77	29,38	19,53	24,45	1682,43

Fonte: Autora (2022).

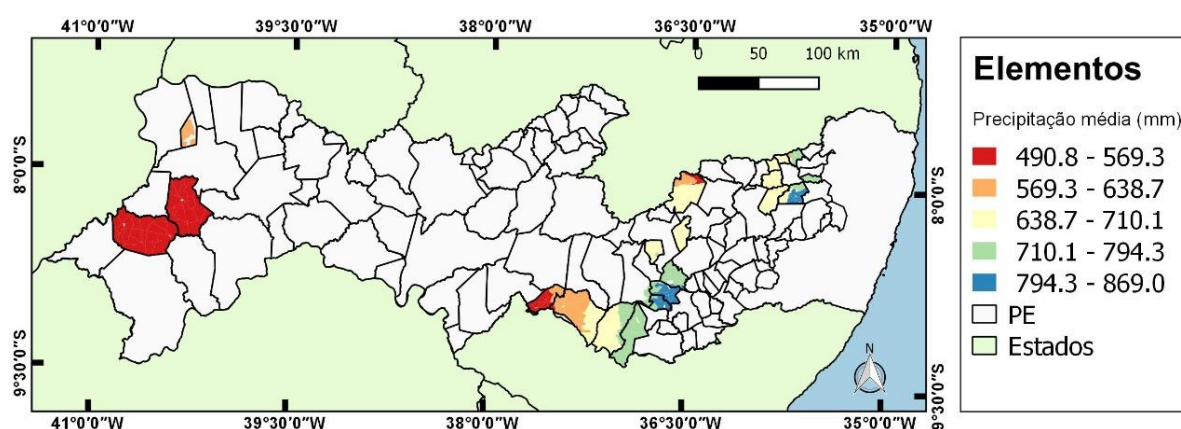
Com base nos dados levantados, quando avaliada a variável climática relacionada a precipitação média, nos 20 municípios mais críticos conforme o ICAA, observa-se que as localidades pertencentes à região do Sertão do Estado (abrangendo os municípios de Manari, Dormentes, Santa Cruz e Trindade) apresentam as menores médias de precipitação, variando entre 525 e 583 mm, com chuvas concentradas entre os meses de janeiro e março, validando as características já intrínsecas a esta região, que além de possuir baixos índices pluviométricos, tem-se a associação da má distribuição da chuva no período de tempo anual analisado.

Quando se analisa a região Agreste do Estado, observa-se uma distribuição de chuva também deficiente, com maiores concentrações entre os meses de maio e julho, e médias de precipitação crescentes observadas longitudinalmente à configuração geográfica do Estado, com uma faixa ligeiramente mais ampla de variabilidade, entre 634 e 853 mm. De forma



geral, nos municípios localizados no limite entre o Agreste e a Zona da Mata, por estarem mais próximas ao litoral, há uma maior influência das massas de ar vindas do oceano, refletindo em maiores índices médios de chuva. Quando se adentra às regiões mais interioranas do Estado, essa influência diminui, e conseqüente há o declínio potencial dos índices de precipitação, podendo este detalhamento ser observado na Figura 11.

Figura 11 - Precipitação média anual nos 20 municípios mais críticos quanto ao acesso à água em Pernambuco



Fonte: Autora (2022).

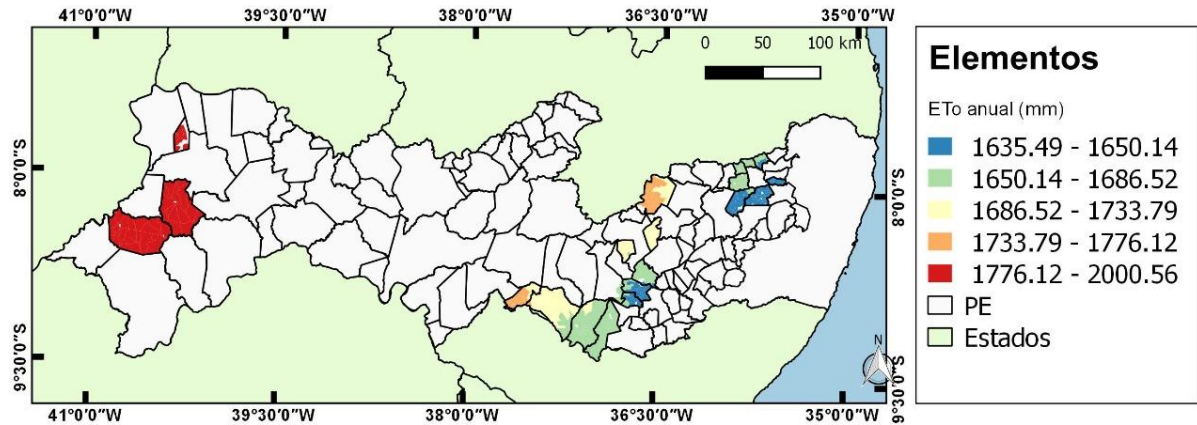
No que se refere às taxas de evapotranspiração potencial, observa-se que a região semiárida apresenta em geral altos índices, estando relacionada ao aumento da temperatura que tem se intensificado nas últimas décadas, como uma das conseqüências mais notáveis de reflexos das mudanças climáticas, conforme será detalhado a seguir.

A avaliação realizada tendo como base os municípios do estudo, conforme evidenciado na Figura 12, mostram que a variabilidade da evapotranspiração potencial se apresenta mais heterogênea quando comparada à precipitação, embora seus maiores índices estejam presentes na região do Sertão, variando entre 1.753 mm e 1.996 mm, corroborando com o contexto de balanço hídrico negativo característico da região semiárida, de forma que, comparativamente, conforme dados apresentados, no Sertão observa-se de forma simultânea os menores índices de precipitação e as maiores taxas de evapotranspiração, contribuindo para o agravamento da escassez hídrica nessa região.

Na região Agreste, a evapotranspiração potencial varia entre 1.639 mm a 1.737 mm, e apesar de ser quantitativamente menor que no Sertão, ainda há predominantemente um balanço hídrico deficiente. Dessa forma, é importante salientar que, a partir das variáveis até então analisadas (precipitação e evapotranspiração), todos os municípios estudados,

apresentam contextos desafiadores quanto à disponibilidade hídrica, uma vez que as condicionantes ambientais de maior influência para a mecânica de disponibilidade hídrica.

Figura 12 - Evapotranspiração potencial média anual nos 20 municípios mais críticos quanto ao acesso à água em Pernambuco

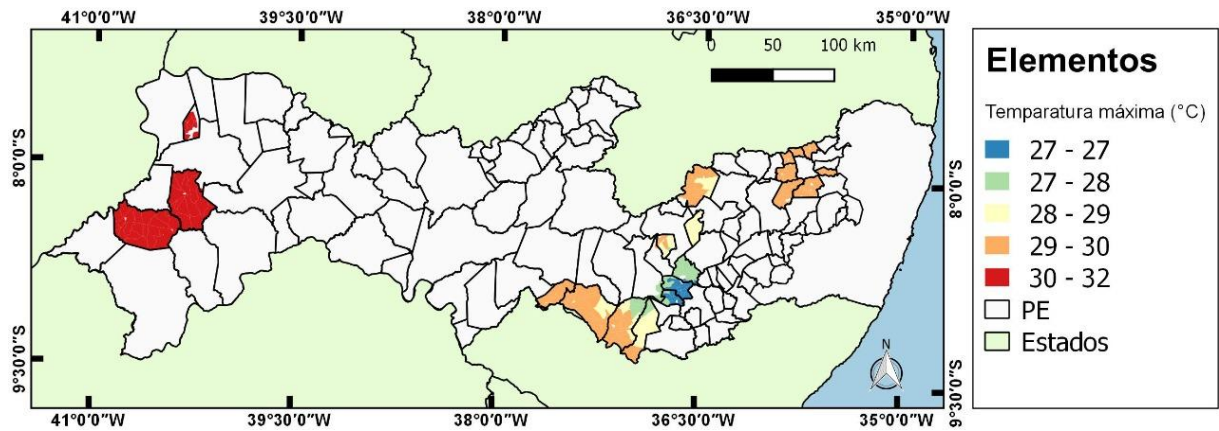


Fonte: Autora (2022).

Quanto às temperaturas, é notadamente observado que há grande variabilidade no contexto dos municípios analisados, os quais encontram-se integralmente inseridos no semiárido de Pernambuco.

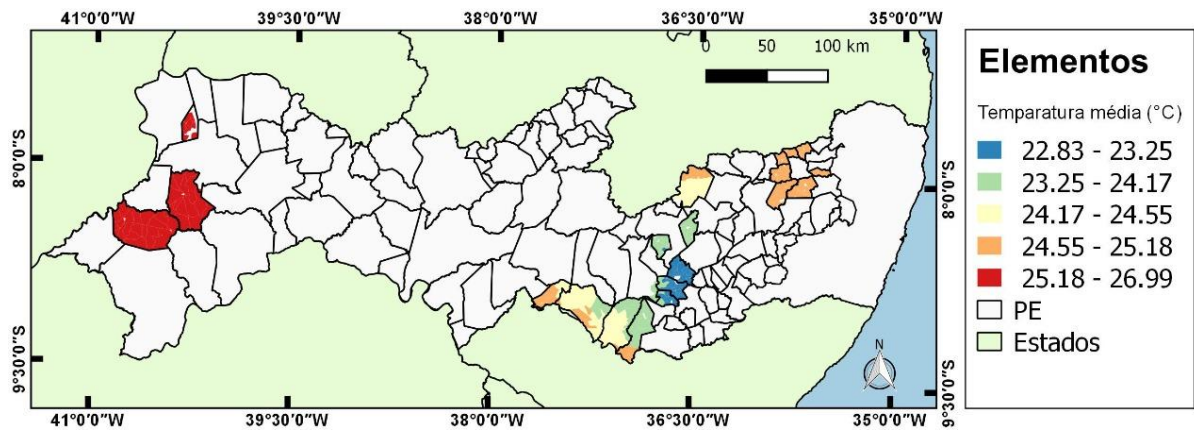
De forma particular, vale salientar que dentre os municípios e regiões estudados, as temperaturas mais amenas, dentre as três variações analisadas ( $T_{\text{máx}}$ ,  $T_{\text{mín}}$  e  $T_{\text{med}}$ ) são observadas no Agreste Meridional, nos municípios de Caetés, Paratama e Capoeiras. Em contrapartidas, as temperaturas mais elevadas são observadas no Sertão do Araripe e Sertão do São Francisco, nos municípios de Trindade, Santa Cruz e Dormentes. No que se refere a maior variabilidade identificada, levando em consideração a diferença entre temperatura máxima e temperatura mínima, o município de Trindade apresenta a maior diferente de temperatura registrada.

Figura 13 - Temperatura máxima nos 20 municípios mais críticos quanto ao acesso à água em Pernambuco



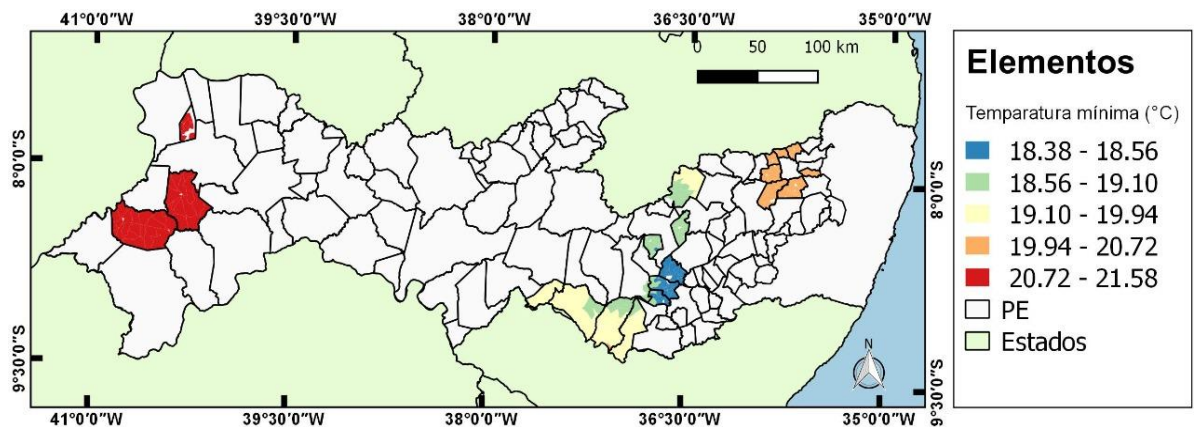
Fonte: Autora (2022).

Figura 14 - Temperatura média nos 20 municípios mais críticos quanto ao acesso à água em Pernambuco



Fonte: Autora (2022).

Figura 15 - Temperatura mínima nos 20 municípios mais críticos quanto ao acesso à água em Pernambuco



Fonte: Autora (2022).

Tal cenário ratifica as condicionantes já identificadas nessas regiões quanto à disponibilidade hídrica, tendo, a partir dos dados das médias de precipitação associados às taxas de evapotranspiração registradas, as quais encontram-se sob influência direta das temperaturas, um perfil ligeiramente heterogêneo, que de forma geral evidenciam o grande desafio para a convivência com a escassez hídrica em todo o semiárido pernambucano, com condições ainda mais acentuadas na região do Sertão.

#### 4.2 ESTUDO DE PERFIL CLIMATOLÓGICO E ANÁLISE DE TENDÊNCIAS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO AGRESTE E SERTÃO DE PERNAMBUCO

A partir dos dados climatológicos identificados nos municípios de Caetés e Salgueiro, os quais encontram-se localizados nas regiões do Agreste Meridional e Sertão Central do Estado de Pernambuco, foi possível visualizar particularidades climáticas inerentes a cada localidade, mesmo levando em consideração que ambos se situam no ambiente semiárido.

Salgueiro, situado na região do Sertão pernambucano apresenta precipitação pluviométrica média anual de 509 mm de acordo com sua normal climatológica, e temperatura média anual de 26,2 °C (Tabela 4). Características semelhantes no perfil térmico anual são observadas em grande parte de sua área circunvizinha, o qual compreende toda a porção oeste de estado de Pernambuco e temperaturas médias anuais que variam de 25,1 a 27,1 °C. Já o perfil de distribuição pluviométrico, apresenta os menores acumulados anuais encontrados na região semiárida do estado Pernambuco, as quais variam de 451 a 613 mm.

Tabela 4 - Média anual de temperatura máxima (TMáxima), mínima (TMínima) e média (TMédia) e chuva para Salgueiro e Caetés no estado de Pernambuco, no período de 1980-2016

<b>Local</b>	<b>TMáxima (°C)</b>	<b>TMínima (°C)</b>	<b>Tmédia (°C)</b>	<b>Chuva (mm)</b>
Salgueiro	31,5	21,0	26,2	509
Caetés	27,6	18,5	23,1	743

Fonte: Xavier; King e Scanlon (2015, 2016).

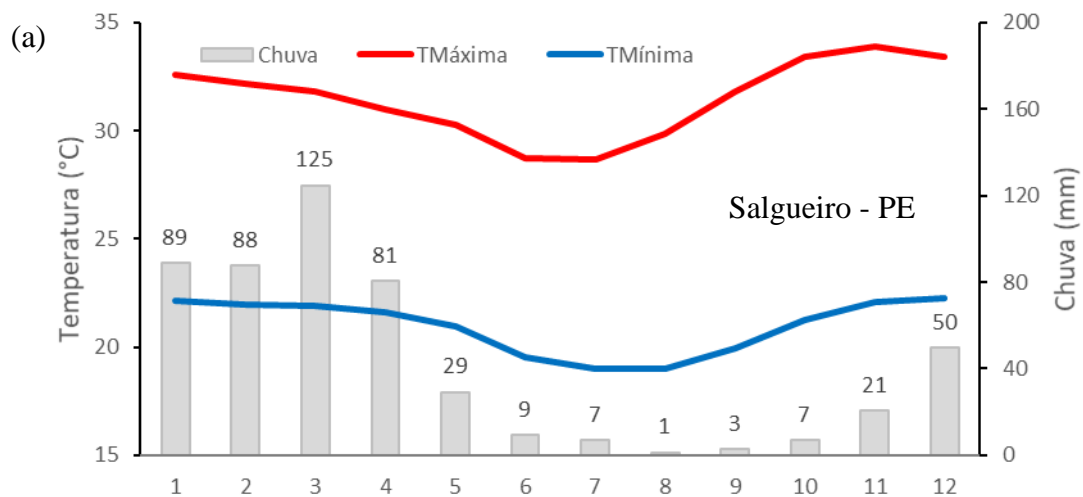
Caetés situado mais a leste do estado, apresenta precipitação média anual de 743 mm, e temperatura média anual de 23,1 °C (Tabela 4). Portanto, na mesma região do semiárido do estado de Pernambuco, Caetés em comparação a Salgueiro apresenta maiores acumulados anuais de chuva, a uma diferença de 234 mm, ou, incremento de 46%, e, menor temperatura

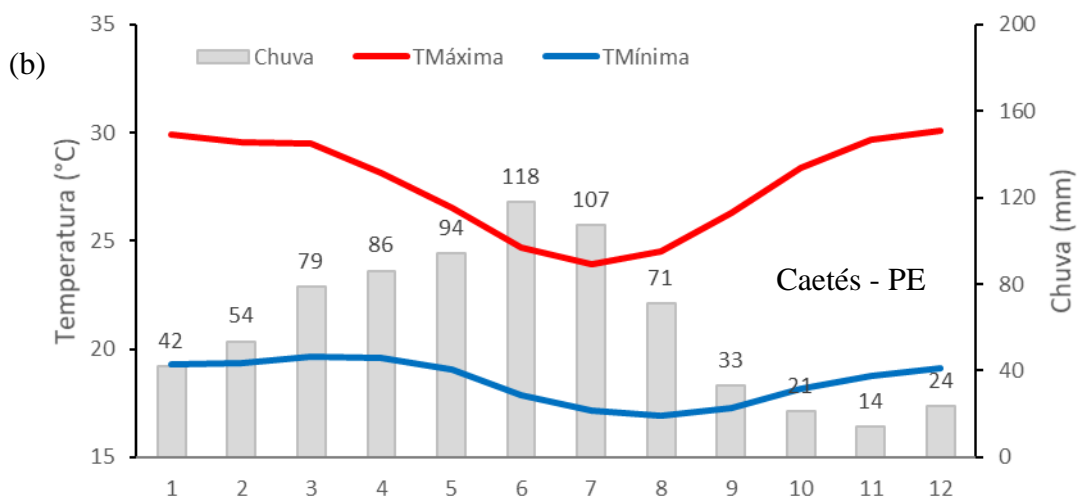
média anual, a uma diferença de 3,1 °C.

Na Figura 16 são apresentados os perfis da normal climatológica mensal dos dados de temperatura máxima e mínima do ar e chuva para as cidades de Salgueiro e Caetés no semiárido de Pernambuco. A região de Salgueiro entre os meses de janeiro a abril registra os maiores índices de chuva na região (89, 88, 125 e 81 mm). Por outro lado, o inverno e primavera são o período mais seco do ano (9, 7, 1, 3, 7 e 21 mm). Já em Caetés, as chuvas ocorrem ao longo do ano, com um curto período de menores acumulados na primavera (33, 21 e 14 mm). A partir do fevereiro tem-se maiores acumulados, atingindo picos no mês de junho (118 mm), quando a porção leste do estado se encontra na estação chuvosa.

As temperaturas máximas na região de Salgueiro são registradas entre os meses de outubro a dezembro, atingindo valor máximo de 33,9 °C em novembro, e, as mínimas nos meses de julho e agosto, quando registra valores de 19,0 °C. Para Caetés, as máximas e mínimas mensais são registradas nos meses de dezembro e julho, com 30,1 °C e 17,2 °C, respectivamente.

Figura 16 - Média mensal da temperatura máxima e mínima (°C; linhas) e chuva mensal acumulada (mm; barras) em Salgueiro (painel superior) e Caetés (painel inferior) no estado de Pernambuco, no período de 1980-2016





Fonte: Xavier; King e Scanlon (2015, 2016).

No que se refere às tendências dos índices de extremos de temperatura e chuva para as localidades analisadas no presente estudo, estão resumidas na Tabela 5, indicado também seu nível de significância. Na sequência, será apresentada a variabilidade temporal observada, que possibilita identificar como os extremos de temperatura e de chuva tem variado em Salgueiro e Caetés, no período de 1980 a 2016.

Tabela 5 - Tendência dos índices de extremos de temperatura e precipitação para as duas localidades analisadas no estado de Pernambuco

Índice climático (unidade)	Salgueiro - Sertão	Caetés - Agreste
TN10p (%) - Noites frias	-0,653*	-0,663*
TN90p (%) - Noites quentes	0,510*	0,008
TX10p (%) - Dias frios	-0,440*	-0,195
TX90p (%) - Dias quentes	0,584*	0,354
DCS (dias) - Dias consecutivos secos	-0,626	-0,432
DCU (dias) - Dias consecutivos úmidos	-0,138	-0,099
PRCPTOT (mm) - Chuva total	-2,444	7,020
R95p (mm) - Chuva em dias muito úmidos	1,484	3,008
RX5day (mm) - Chuva máxima em 5 dias	0,062	0,047
R10 (dias) – N° de dias com chuva $\geq$ 10 mm	-0,056	0,237
R20 (dias) – N° de dias com chuva $\geq$ 20 mm	0,040	0,081
R30 (dias) – N° de dias com chuva $\geq$ 30 mm	0,021	0,043

\*Indica que o valor da tendência é significativo ao nível de significância de 95% ( $p \leq 0,05$ ); N° - número.



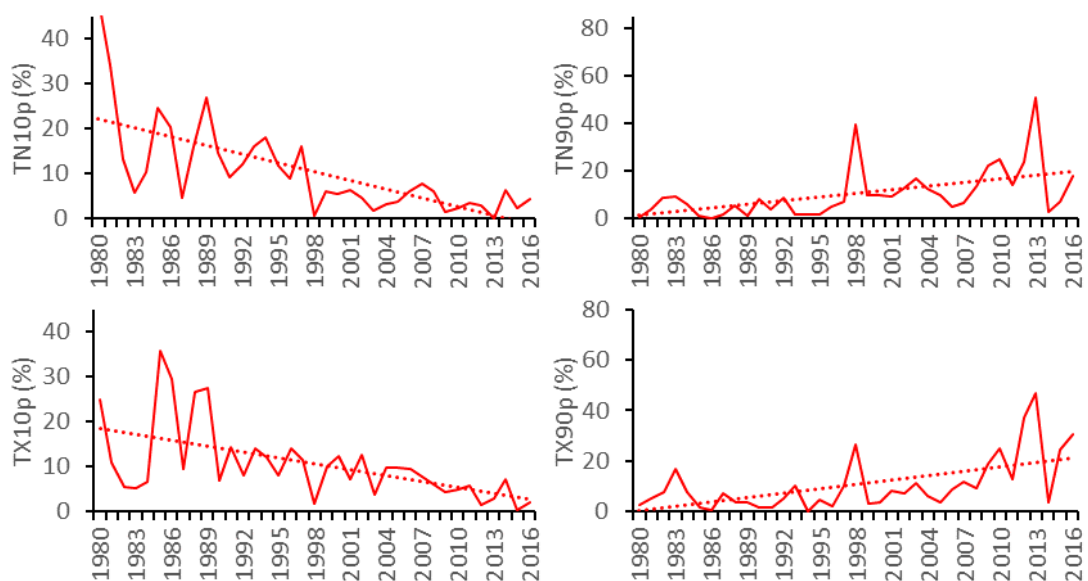
#### 4.2.1 Índices de extremos de temperatura

As séries temporais dos índices extremos de temperatura, referentes as tendências de noites frias (TN10p), noites quentes (TN90p), dias frios (TX10p) e dias quentes (TX90p), para Salgueiro e Caetés, são mostradas nas Figuras 17 e 18, respectivamente.

O índice TN10p em Salgueiro e Caetés, apresentou tendência de redução de noites frias, a uma taxa de -0,653% e -0,663% ao ano, respectivamente, ambos com nível de significância de 95% (Figuras 17 e 18, Tabela 5). Em concordância com a diminuição de noites frias, o índice de noites quentes (TN90p), apresentou tendência de aumento em ambas as localidades, a uma taxa de 0,510% e 0,008% ao ano, respectivamente, sendo essa tendência significativa ao nível de significância de 95% apenas na região de Salgueiro.

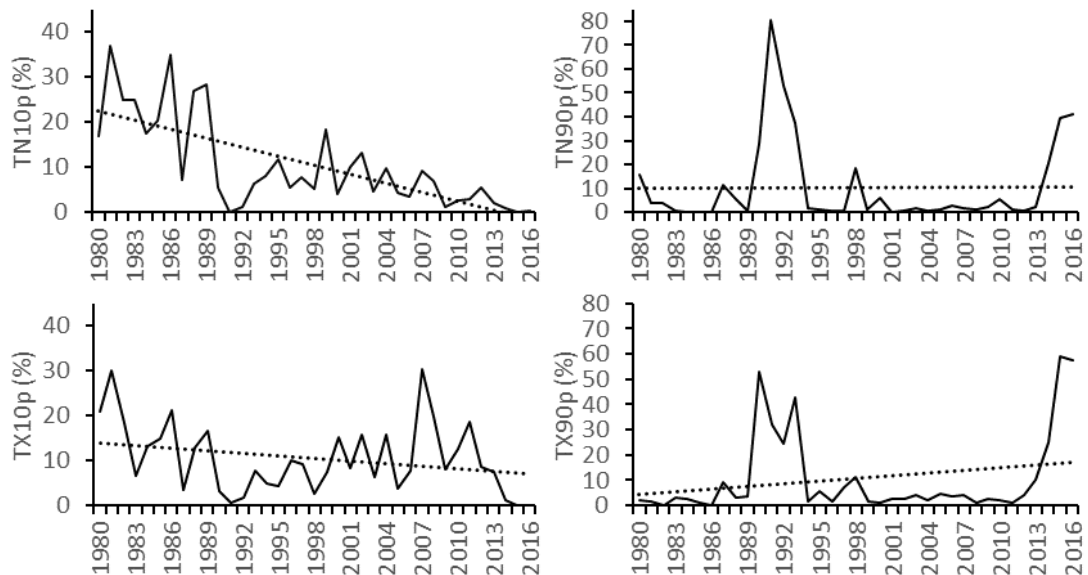
Ao passo que foi observada redução de dias frios (TX10p), a uma taxa de -0,440% e -0,195%, houve tendência de aumento dos dias quentes (TX90p) da ordem de 0,587% e 0,354% ao ano, em Salgueiro e Caetés, respectivamente, sendo estas tendências significativas ao nível de significância de 95%, apenas em Salgueiro, conforme detalhado na Tabela 5. Portanto, observa-se aqui um padrão de aquecimento, principalmente em Salgueiro que apresentou valores significativos de tendência, indicando maior frequência de noites e dias quentes e menor número de noites e dias frios.

Figura 17 - Tendência nas frequências (em %) de noites frias (TN10p) e quentes (TN90p), e de dias frios (TX10p) e quentes (TX90p) em Salgueiro, Pernambuco



Fonte: Autora (2022).

Figura 18 - Tendência nas frequências (em %) de noites frias (TN10p) e quentes (TN90p), e de dias frios (TX10p) e quentes (TX90p) em Caetés, Pernambuco



Fonte: Autora (2022).

Esse padrão de tendências de aumento nos extremos quentes e redução nos extremos frios, corroboram com o aquecimento global (IPCC, 2021), além disso, como já identificado em estudos anteriores, o aumento da temperatura mínima é maior do que a temperatura máxima, reduzindo a amplitude térmica diária (EASTERLING et al., 1997; VOSE; EASTERLING; GLEASON, 2005; GIL-ALANA, 2018).

#### 4.2.2 Índices de extremos de chuva

As Figuras 19 e 20 mostram as séries temporais observadas dos índices extremos de chuva, referente aos dias consecutivos secos (DCS), dias consecutivos úmidos (DCU), chuva total (PRCPTOT), chuva em dias muito úmidos (R95p), chuva máxima em 5 dias (RX5day), e número de dias com chuva acima de 10, 20 e 30 mm (R10, R20 e R30), para Salgueiro e Caetés, respectivamente. Conforme a Tabela 5, nenhum índice de extremos de chuva apresentou tendência significativa a nível de significância de 95%, nos locais avaliados do presente estudo.

Na análise de tendência quanto ao índice DCS e DCU, Salgueiro apresenta tendência de redução, a uma taxa de -0,626 dias e -0,138 dias ao ano, enquanto Caetés, a uma proporção menor, também apresentou tendência de redução a uma taxa de -0,432 dias e -0,099 dias ao



ano (Figuras 19 e 20, Tabela 5). O índice PRCPTOT, apresenta tendência de redução em Salgueiro e aumento em Caetés, a uma taxa de -2,444 mm e 7,020 mm ao ano, respectivamente. Os índices que representam a chuva anual acumulada em dias úmidos (R95p) e em 5 dias consecutivos (RX5day), mostram tendência positiva de 1,484 mm e 0,062 mm ao ano em Salgueiro, e de 3,008 mm e 0,047 mm ao ano em Caetés. Os índices que representam os dias úmidos, R10, R20, e R30, apresentaram tendências positivas para o número de dias com chuvas acima de 10, 20 e 30 mm (exceto em Salgueiro para R10), a uma taxa de -0,056 mm, 0,040 mm e 0,021 mm ao ano em Salgueiro e 0,237 mm, 0,081 mm e 0,043 mm ao ano em Caetés, respectivamente.

O aumento no total anual de chuva em Caetés, com redução nos dias consecutivos úmidos, está relacionado com o aumento na frequência e intensidade de eventos extremos. Resultado similar foi encontrado na região Metropolitana de São Paulo (MARENGO; AMBRIZZI et al., 2020), onde as chuvas intensas tem se concentrado em poucos dias, separados por períodos mais longos de seca.

Considerando que os índices R95p e RX5day estão relacionados a chuvas intensas, a exemplo do que foi identificado em Caetés, com tendência de aumento de 3,008 mm e 0,047 mm ao ano (Figura 20 e Tabela 5), estas podem resultar em maiores impactos em ambiente urbano, devido ao processo de impermeabilização de superfícies, dificultando a infiltração da água no solo, aumentando o escoamento superficial, contribuindo com enchente, inundações e deslizamentos (RODRIGUES et al., 2021).

Por outro lado, Salgueiro historicamente com chuvas irregulares e escassas ao longo do ano, mostra tendência de redução no acumulado total (e principalmente, redução na frequência de dias com chuva  $\geq 10$  mm como visto na Tabela 5), aumentando o risco de secas e estiagens que tem seus impactos na produção de alimentos, na geração de energia e à saúde das populações.

Os eventos de seca do Nordeste Brasileiro, tem sido associado ao El Niño e aquecimento do Oceano Atlântico tropical Norte, resultando em um aumento da vulnerabilidade social da região (CUNHA et al., 2018; MARENGO et al., 2018; MEDEIROS; OLIVEIRA, 2021). Considerando que grande parte da agricultura na região Nordeste do país é de sequeiro, a falta de chuvas ocasiona impactos devido a secas severas aumentando assim a vulnerabilidade hídrica na região.

Somado a isso, a seca dos últimos anos foi de intensidade e impacto econômico e social nunca antes vista (MARENGO et al., 2018). Vale destacar também que tem sido identificado as maiores perdas agrícolas no bioma caatinga, muito em função da seca e

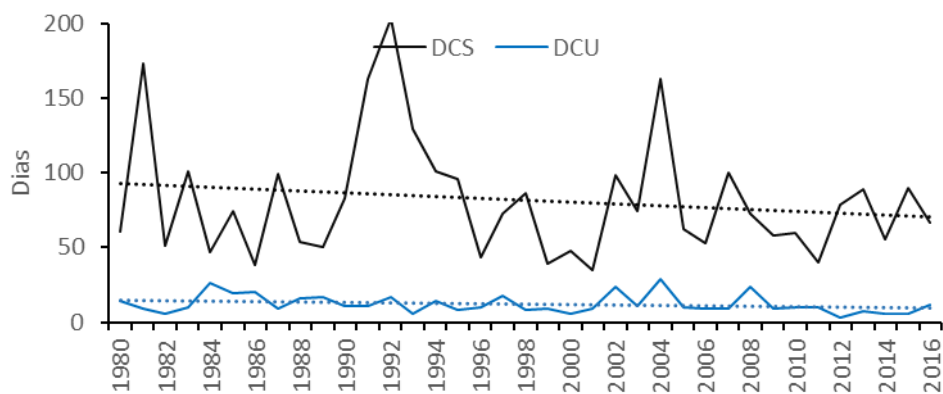
mesmo a estiagem serem desastres recorrentes (CARVALHO et al., 2020).

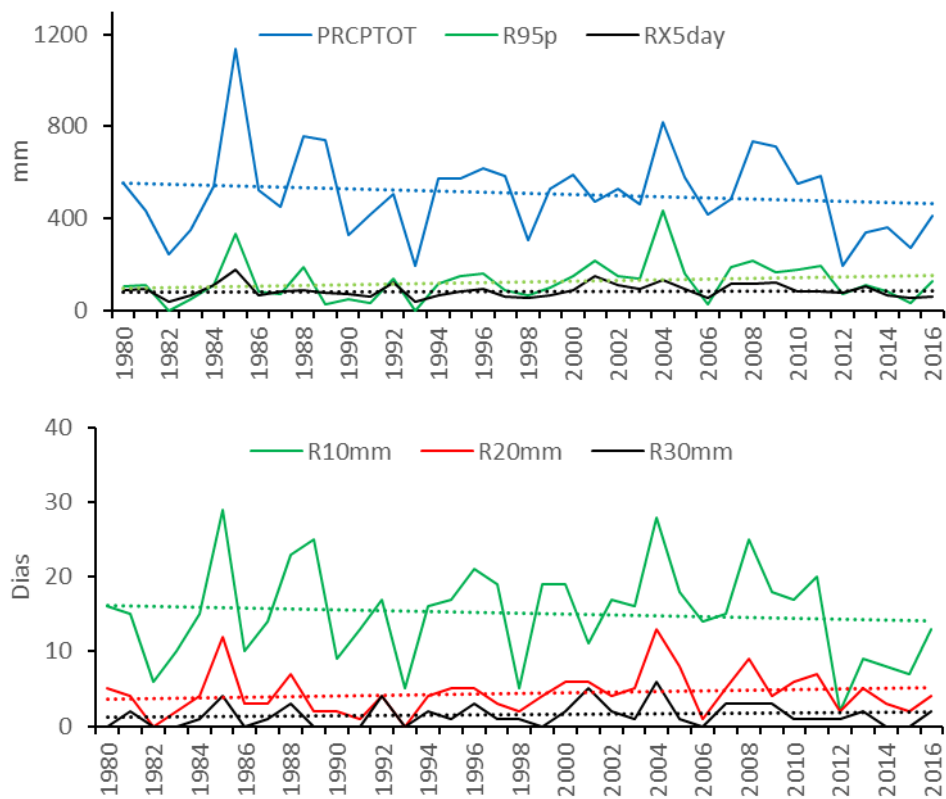
Portanto, os resultados encontrados concordam parcialmente com as previsões realizadas para a sub-região Nordeste da América do Sul (IPCC, 2021) que abrange o Nordeste brasileiro que indica alta confiança de que haverá aumento na duração da seca e, confiança média de que aumentarão a intensidade e frequência das chuvas extremas.

Essas alterações nos extremos de chuva e temperatura, podem estar relacionados a variabilidade natural do clima, ou ainda ao aumento nas emissões de gases de efeito estufa na atmosfera pelas atividades antrópicas (MARENGO; AMBRIZZI et al., 2020), mas, mecanismos de escala regional também podem exercer influência no ambiente, a exemplo, mudanças no uso e cobertura do solo (TOMASELLA et al., 2018).

Embora os índices de chuva não tenham se mostrado significativos em suas tendências de aumento ou diminuição, os resultados evidenciam um aumento nas disparidades regionais do padrão de distribuição da chuva. Já os índices de temperatura apresentaram tendências de aquecimento, embora sendo significativas apenas em Salgueiro. A maior incerteza em relação a mudança nos índices de chuva corrobora com trabalhos anteriores (BENDER; SENTELHAS, 2018; IPCC, 2021).

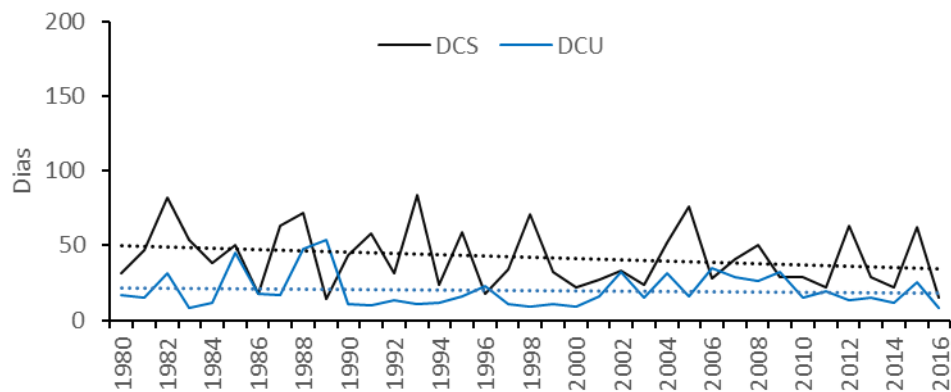
Figura 19 - Tendência da duração (em dias) de dias consecutivos secos (DCS) e dias consecutivos úmidos (DCU), intensidade (em mm) de chuva total (PRCPTOT), chuva em dias muito úmidos (R95p) e chuva máxima em 5 dias (RX5day), e frequência (em dias) de dias com chuva acima de 10, 20 e 30 mm (R10, R20 e R30), em Salgueiro, Pernambuco

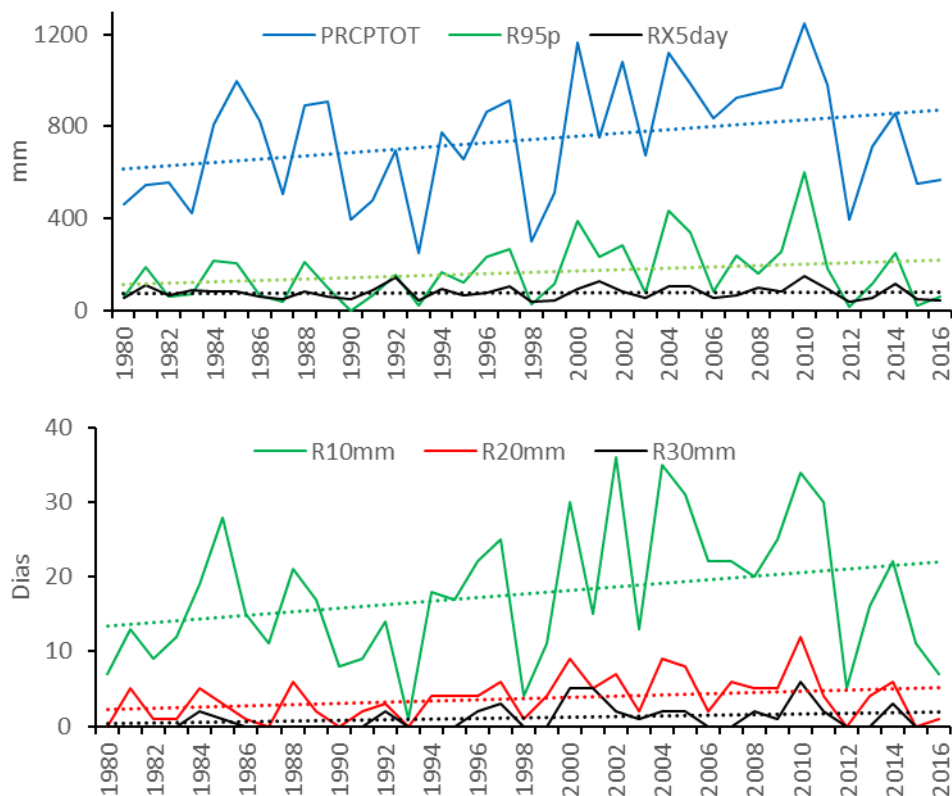




Fonte: Autora (2022).

Figura 20 - Tendência da duração (em dias) de dias consecutivos secos (DCS) e dias consecutivos úmidos (DCU), intensidade (em mm) de chuva total (PRCPTOT), chuva em dias muito úmidos (R95p) e chuva máxima em 5 dias (RX5day), e frequência (em dias) de dias com chuva acima de 10, 20 e 30 mm (R10, R20 e R30), em Caetés, Pernambuco





Fonte: Autora (2022).

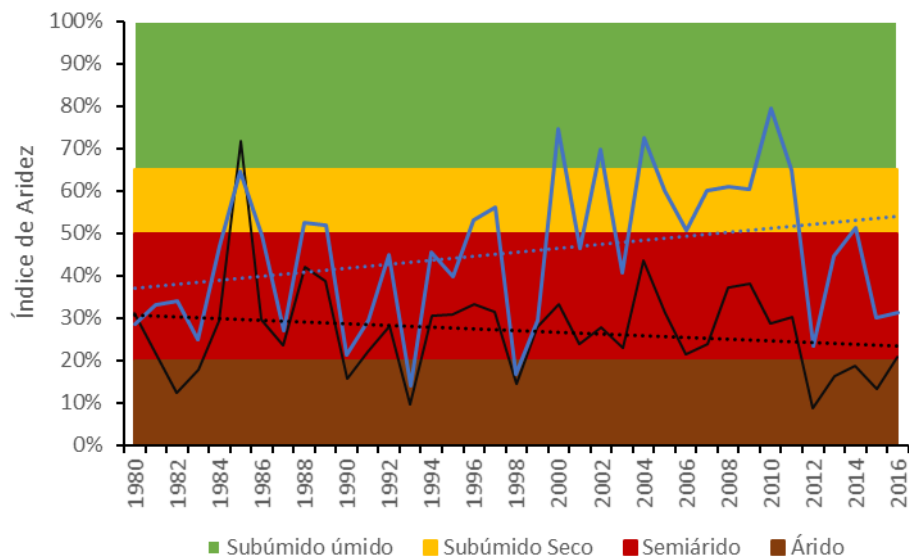
#### 4.2.3 Índice de aridez

Considera-se que a classificação de terras suscetíveis ao processo de desertificação pode ser determinada com o índice de aridez obtido a partir do quociente entre a chuva total anual e a evapotranspiração potencial total anual (UNEP, 1992). Um ambiente condicionado a índices pluviométricos decrescentes (-24,44 mm/década, Tabela 5 e Figura 19), no qual o aumento da temperatura média (a uma taxa de 0,42 °C/década, não mostrado) induz a uma maior taxa de evapotranspiração, o que implica em menor índice de aridez, e maior suscetibilidade a desertificação, a exemplo do que se observa em Salgueiro (Figura 21). Já na região de Caetés, historicamente com maiores acumulados de chuva (somado a tendência de aumento, a uma taxa de 70,2 mm/década, Tabela 5 e Figura 20), a taxa decrescente na evapotranspiração (a uma taxa de -11,24 mm/década, não mostrado), induz a um índice de aridez crescente, reduzindo ainda mais a suscetibilidade a degradação.

Considera-se áreas suscetíveis à desertificação, aquelas com índice de aridez variando entre 5 até 65%. A suscetibilidade pode variar de muito alta (5% a 20%), alta (21 a 50%) até moderada (51 até 65%), de acordo com o próprio índice de aridez, isto é, quanto mais seco mais susceptível à desertificação (UNEP, 1992). Portanto a região de Salgueiro, com regime

de chuvas concentrado em poucos meses, marcado por forte irregularidade interanual e com temperatura média de 26,2°C, que determina altas taxas de evapotranspiração potencial, configurando déficit hídrico, apresenta tendência de transição de área semiárida para árida, colocando-a em uma condição de elevado risco (alto e muito alto) à desertificação. Enquanto Caetés, com tendência de transição da área semiárida para subúmida seca, está em uma condição de moderado risco (moderado e baixo) à desertificação.

Figura 21 - Variabilidade interanual do índice de aridez e tendência climática à desertificação para Salgueiro (na cor preta), e Caetés (na cor azul), Pernambuco



Fonte: Autora (2022).

Soma-se ao risco do aumento das áreas semiáridas e surgimento de áreas áridas (MARENGO; CUNHA et al., 2020), a redução da produção, perda de biodiversidade e a degradação dos ecossistemas, principalmente em áreas de pastagem e caatinga (VIEIRA et al., 2015; TOMASELLA et al., 2018), acelerado por eventos de seca mais intensos, longos e abrangentes que tem sido observados de 2012 a 2018 (BRITO et al., 2017; CUNHA et al., 2019).

#### 4.3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE RESERVAS SUBTERRÂNEAS COM ÊNFASE NOS POÇOS INDICADOS À IMPLANTAÇÃO DE DESSALINIZADORES PELO PAD

A região semiárida brasileira, no que se refere a caracterização geológica, é constituída predominante por rochas cristalinas. Sob esta ótica e levando em consideração que, conforme

já esclarecido anteriormente, o aproveitamento das reservas subterrâneas é primordial para o abastecimento hídrico de regiões difusas, através da perfuração de poços (CIRILO, 2008).

Vale salientar que, de forma geral, rochas cristalinas naturalmente não se caracterizariam como boas reservas, uma vez que os minerais que a constituem estão fundidos uns aos outros, de forma que, não há poros/vazios, que naturalmente poderia propiciar um acúmulo de água. Porém, devido a ações causadas por movimentos tectônicos, de diversas naturezas, essas rochas passam por um processo de quebra, formando fraturas ou juntas, propiciando a criação de estruturas que favorecem o acúmulo de água (DEMETRIO et al., 2007).

Aliado ao fato da limitada estrutura de acumulação de água, o embasamento cristalino se caracteriza por apresentar reservas hídricas com elevador teores de sais que limitam seu uso, principalmente no que tange ao abastecimento humano. Nesta conjuntura e levando-se em consideração que os municípios sob estudo estão integralmente localizados na região semiárida de Pernambuco, para análise de aplicabilidade das políticas públicas existentes, como é o caso do PAD, se fez necessário realizar estudos preliminares para caracterização socioambiental e técnica, englobando testes de vazão e análises físico-químicas e bacteriológicas, de todos os poços sob escopo de atendimento do convênio em questão.

Paralelo aos estudos realizados, vale salientar também as legislações vigentes que medem e dão diretrizes para uso e classificação da água, de acordo com sua finalidade de uso. Neste contexto, no território brasileiro as legislações vigentes que tratam de potabilidade da água para consumo humano e de águas subterrâneas são, respectivamente, a Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021, do Ministério da Saúde e a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Segundo estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888/2021, o valor máximo permitido (VMP) de Sólidos Totais Dissolvidos (TDS) é de 500 mg/L, o qual se estabelece como padrões de potabilidade da água para consumo humano. Já no que se refere à Resolução nº 357/2005 do CONAMA, a qual estabelece parâmetros de classificação da água, tem-se, conforme Tabela 6, a classificação desta, segundo concentração TDS:

Tabela 6 - Parâmetros de Qualidade de Água

<b>Classificação</b>	<b>Salinidade</b>	<b>Concentração salina</b>	<b>Concentração de TDS</b>
Água Doce	Igual ou inferior a 0,5 ‰	≤ 500 ppm	≤ 500 mg/L
Água Salobra	Superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰	501 ppm - 29.999 ppm	501 ppm - 29.999 mg/L
Água Salina	Igual ou superior a 30 ‰;	≥ 30.000 ppm	≥ 30.000 mg/L

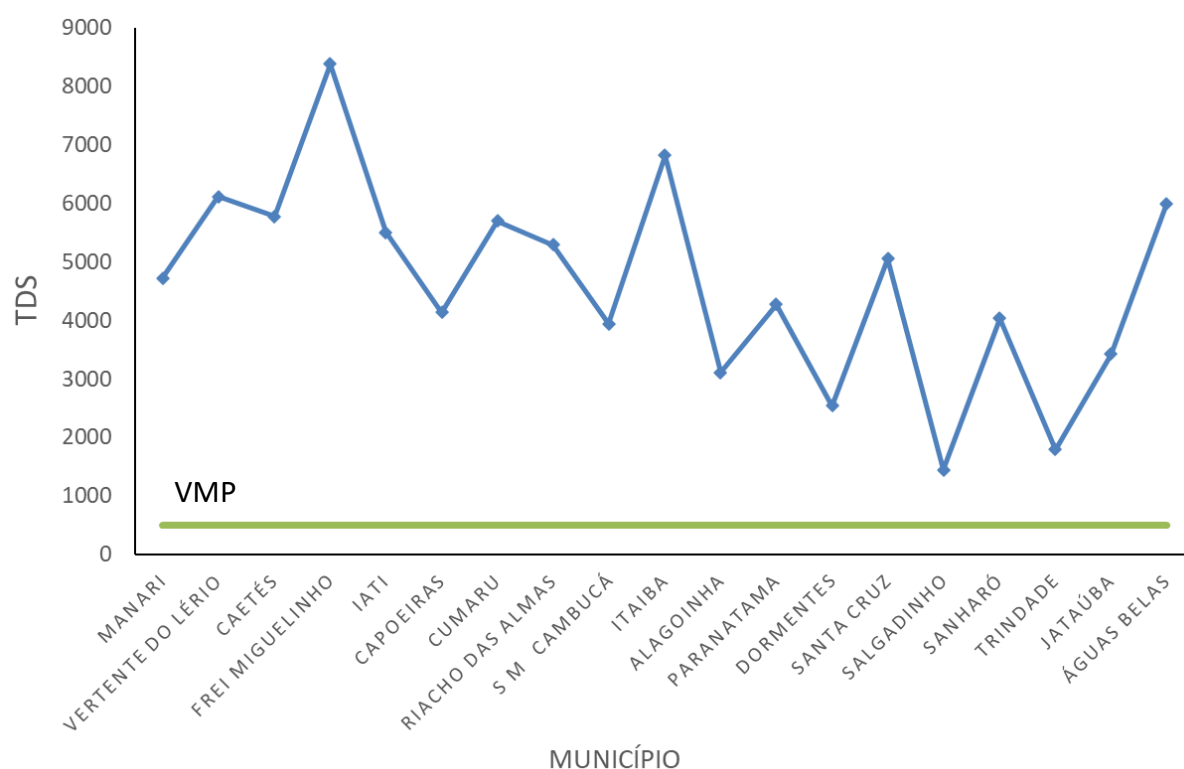
Fonte: Adaptado de Resolução CONAMA N° 357 (2005).

Com base na classificação CONAMA 357/2005, identifica-se que os 170 poços, sob escopo do atual convênio de implantação de dessalinizadores, para abastecimento humano de comunidades pertencentes aos 20 municípios mais críticos quanto o acesso à água em Pernambuco, classificam-se integralmente como fontes de águas salobras, com concentração de TDS variando de 977 a 15.800 mg/L.

Quando avaliado os padrões de potabilidades da água para consumo humano, segundo Portaria GM/MS nº 888/2021, observa-se que do universo de 170 poços sob análise, 100% destes apresentam água impróprias para consumo humano, devido aos altos índices de sólidos totais dissolvidos. Para uma melhor visualização de tal panorama foram avaliadas as médias de concentração dos TDS dos poços nos municípios estudados, sendo ratificado que os mesmos apresentam valores superiores ao VMP, indicando sua inviabilidade de uso para dessedentação humana, conforme detalhado na Figura 22.

A partir dos dados obtidos, há comprovadamente a necessidade de agregar tecnologias que viabilizem o uso de tais recursos hídricos, principalmente quando se leva em consideração que estes representam uma das principais fontes de abastecimento hídrico no semiárido, conforme já detalhado.

Figura 22 - Média de TDS dos poços indicados à implantação pelo PAD



Fonte: Autora (2022).

#### 4.4 DIRETRIZES PARA USO DOS SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO COMO MEDIDA DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

As condicionantes identificadas conforme estudos realizados comprovam o grande desafio já existente no que tange a questão hídrica em toda a região semiárida. Conforme detalhamento apresentado anteriormente, tendem a se agravar ainda mais, com a ocorrência cada vez mais frequente de eventos de extremos climáticos, potencializando os riscos à desertificação, principalmente na região do Sertão no Estado.

Neste contexto, e levando em consideração a abrangência deste trabalho, com a avaliação da condição climática das localidades de maior criticidade no que tange o acesso à água, com base no escopo metodológico do PAD, pôde-se observar adversidades relativas às limitações naturais dessas localidades, paralela à eficiência na aplicabilidade de políticas públicas voltadas à questão da gestão hidroclimática.

O estudo evidenciou a importância do uso de sistemas de dessalinização, diante das condições de disponibilidade e qualidade de água em todo o semiárido, com comprovado



potencial para a ampliação e atendimento da demanda de água para consumo humano nessa região.

Em contrapartida, também foi possível identificar pontos de fragilidade relacionados a esta metodologia, as quais precisam ser melhor trabalhados visando ampliar sua extensão de atendimento e eficiência dos sistemas implantados, levando em consideração aspectos de sustentabilidade ambiental. Neste âmbito cabe salientar a gestão integrada e permanente dos sistemas; aspectos relacionados a suprimentos energéticos; e mitigação de impactos a partir dos efluentes da dessalinização.

No que se refere à expansão de atendimento e melhoria da concepção de políticas públicas voltadas à difusão da tecnologia da dessalinização no âmbito estadual, necessita-se do fortalecimento do Núcleo Estadual já formulado pelo PAD, integrado por representações de órgãos federais, estaduais, municipais, organizações não governamentais, universidades, associações técnico-científicas, comunitárias e de produtores rurais. Em sua abrangência cabe destacar seu caráter deliberativo em toda a instância de atuação do Programa, que o torna fundamental para o acompanhamento e eficiência de gestão do PAD.

Atualmente tem-se como integrantes do Núcleo Estadual do PAD em Pernambuco, entidades como Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade de Pernambuco (SEMAS), Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH), Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), Associação Municipalista de Pernambuco (AMUPE), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Departamento Nacional de Obras Contra as Seca (DNOCS), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), Secretaria Executiva de Recursos Hídricos (SERH), entre outros membros.

Salienta-se a importância do trabalho integrado dessas entidades, na formulação de metodologias de gestão participativa relacionado à questão hídrica, sendo indispensável a atuação conjunta destes que devem englobar e contribuir com suas expertises, no desenvolvimento colaborativo da formulação e/ou melhoria de Programas que visam ampliar o uso de sistemas de dessalinização, formulando políticas cada vez mais eficientes e sustentáveis para a convivência com a escassez hídrica no semiárido.

Ademais, evidencia-se os desafios referentes ao suprimento e sustentabilidade energética desses sistemas, levando em consideração seu âmbito de implantação, que em suma relaciona-se ao atendimento de comunidades rurais difusas. Observa-se, predominantemente, a necessidade de adaptação dos sistemas elétricos comumente instalados para atendimento das demandas energéticas residenciais, quando beneficiadas por sistemas de

dessalinização, uma vez que a potência/carga instalada da rede elétrica pré-existente (monofásica) pode comprometer a manutenção dos sistemas implantados frente às deficiências de tais sistemas elétricos, com baixa potência.

Dessa forma, recomenda-se que sejam agregados aos sistemas de dessalinização o uso de energia solar, associando ao seu projeto, placas fotovoltaicas, que se destacam por ser uma energia limpa e renovável, a qual apresenta grande viabilidade de uso, levando em consideração as condições de incidência solar presente em todo o Estado. Além disto, tal formulação minimiza custos referentes ao mantimento/funcionamento, contribuindo para a autonomia e sustentabilidade dos sistemas.

Por fim, cabe destacar a importância do desenvolvimento de novos estudos/pesquisas, relacionadas à ampliação de aproveitamento do efluente da dessalinização (concentrado), que possam minimizar impactos ambientais. A difusão e uso da tecnologia, implicam em aumentar, proporcionalmente, a geração de resíduos. O concentrado já apresenta grande potencial de aproveitamento produtivo, que deve ser explorado em sua totalidade, podendo inclusive agregar valor ao seu uso, e garantir o ciclo de desenvolvimento sustentável da tecnologia.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo, confirmam os fortes indícios de mudanças climáticas em toda região semiárida, com maiores potencialidades identificadas na região do Sertão. Portanto, a partir da análise de eventos de extremos climáticos (chuva e temperatura), observa-se moderado risco à desertificação no Agreste, enquanto no Sertão, há o agravamento de condições que desfavorecem a manutenção das reservas hídricas, comprometendo o atendimento da demanda de sua população, com alto risco à desertificação.

Além disto, é importante destacar que a qualidade da água das reservas subterrâneas apresenta condições fora dos padrões de potabilidade para o consumo humano, devido aos altos níveis de salinidade, limitando seu uso para dessedentação humana e tornando ainda mais crítico o cenário de escassez hídrica no semiárido pernambucano.

Neste contexto, o uso de sistemas de dessalinização é de extrema importância, pois favorecem o aproveitamento dessas reservas de águas subterrâneas, que são naturalmente salobras, tornando-as potável e contribuindo com a saúde e qualidade de vida das comunidades difusas beneficiadas.

Dessa forma, é importante que haja o comprometimento de setores públicos e privados para a ampliação de políticas que incentivem a adoção de metodologias práticas de uso eficiente da água, como a dessalinização, as quais são imprescindíveis para a garantia de atendimento da demanda de água no semiárido, visto que há uma parcela significativa do Estado, em condições de vulnerabilidade hídrica, devido à falta de gestão da água, no que se refere à sua qualidade e disponibilidade.

## REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, Lisa.; HEROLD, Nicholas. **ClimPACT2: Indices and software**, ARCCSS-extremes/climpact2, github.com. 2016.
- ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; SPAROVEK, Gerd. **Köppen's climate classification map for Brazil**. 2013. Meteorologische Zeitschrift, 22(6), 711–728.
- AMORIM, Miriam Cleide Cavalcante de; PORTO, Everaldo Rocha; ARAÚJO, Odilon Juvino; SILVA JÚNIOR, Luiz Gonzaga de Albuquerque. **Alternativas de reuso dos efluentes da dessalinização por osmose inversa: evaporação solar e meio líquido para cultivo de tilápia koina (Oreochromis sp.)**, 2004.
- AMORIM, Miriam Cleide Cavalcante de; PORTO, Everaldo Rocha; SILVA JÚNIOR, Luiz Gonzaga de Albuquerque. Efeito de sais no solo provenientes de rejeitos da dessalinização por osmose inversa no semi-árido pernambucano. In: Congresso Brasileiro De Engenharia Agrícola, 26. 1997, Campina Grande. **Anais**. Campina Grande: SBEA; UFPB, 1997.
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019** - Brasília: ANA, 100p, 2019. Disponível em: [http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura\\_informe\\_anual\\_2019-versao\\_web-0212-1.pdf](http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura_informe_anual_2019-versao_web-0212-1.pdf). Acesso em: 27 nov. 2021.
- ARAÚJO FILHO, José Coelho de; ARAÚJO, Maria do Socorro Bezerra de; MARQUES, Flávio Adriano; LOPES, Helio Leandro. Solos. In: TORRES, F.S.M.; PFALTZGRAFF, P.A.S. Geodiversidade do estado de Pernambuco. Recife: **CPRM**, 2014. p. 109-138.
- ARAÚJO, Odilon Juvino; PORTO, Everaldo Rocha. **Cultivo de tilápia rosa (Oreochromis sp.) em água de rejeito de dessalinizadores**. Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, 1999. Não paginado, il. (Embrapa Semi-Árido. Instruções Técnicas; 23).
- ARTICULAÇÃO NO SEMIÁRIDO (ASA). **O Lugar da Convivência na Erradicação da Extrema Pobreza: reflexões e proposições da Articulação no Semiárido Brasileiro (ASA), no intuito de contribuir para a garantia plena do acesso à água para todas as pessoas no semiárido**. Recife. 2011. Disponível em: [http://www.adital.com.br/site/noticia\\_imp.asp?lang=PT&img=S&cod=58506](http://www.adital.com.br/site/noticia_imp.asp?lang=PT&img=S&cod=58506). Acesso em: 12 set. 2020.
- BATTISTI, Rafael; BENDER, Fabiani Denise; SENTELHAS, Paulo Cesar. **Assessment of different gridded weather data for soybean yield simulations in Brazil. Theoretical and Applied Climatology**, 135(1–2), 237–247. 2019.
- BENDER, Fabiani Denise; SENTELHAS, Paulo Cesar. Solar radiation models and gridded databases to fill gaps in weather series and to project climate change in Brazil. **Advances in Meteorology**, 2018, 1-15. 2018.
- BERNAT, Xavier; GIBERT, Oriol; GUIU, Roger; TOBELLA, Joana; CAMPOS, Carlos. The economics of desalination for various uses. En: Martínez-Cortina, L. Garrido, A., López-

Gunn, E. (eds): Re-thinking Water and food security: Botín Foundation Water Workshop. CRC Press/Balkema. Taylor and Francis, Leiden, pp. 329-346, 2010.

BRASIL. **Decreto nº 7.492, de 2 de junho de 2011**. Institui o Plano Brasil Sem Miséria. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 jul. 2011a.

\_\_\_\_\_. **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, DF, 27 jul. 2011b.

\_\_\_\_\_. **Lei Federal n. 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política e Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Ministério da Integração Nacional, WWF-Brasil. **Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais relacionados às secas no contexto da mudança do clima**. Brasília, DF: MMA, 125p, 2017a. Disponível em: [https://d3nehc6y19qzo4.cloudfront.net/downloads/estudo\\_secas\\_completo\\_com\\_isbn.pdf](https://d3nehc6y19qzo4.cloudfront.net/downloads/estudo_secas_completo_com_isbn.pdf). Acesso em: novembro de 2021.

\_\_\_\_\_. **Programa Água Doce: Documento Base**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2012.

\_\_\_\_\_. **Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste**. Ministério do Desenvolvimento Regional, Brasília, 2017b. Disponível em: <http://www.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>. Acesso em: 11 set. 2020.

BRITO, Sheila S. B.; CUNHA, Ana Paula M. A.; CUNNINGHAM, Charles. C.; ALVALÁ, Regina C., MARENGO, José Antonio; CARVALHO, M. A. Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. **International Journal of Climatology**, 38 (2), 517-529. 2017.

BRITO, Luiza Teixeira de Lima; MELO, Roseli Freire de; GIONGO, Vanderlise. **Impactos ambientais causados pela agricultura no Semiárido brasileiro**. Petrolina, Embrapa Semiárido, 136 p. 2010.

BURN, Stewart; HOANG, Manh; ZARZO, Domingo; OLEWNIAC, Frank; CAMPOS, Elena.; BOLTO, Brian; BARRON, Olga. 2015. **Desalination techniques - A review of the opportunities for desalination in agriculture**. Desalination. 364: 2-16, 2015.

CARVALHO, André Luiz de; SANTOS, Diogo Victor; MARENGO, José Antônio; COUTINHO, Sonia Maria Viggiani; MAIA, Stoécio Malta Ferreira. **Impacts of extreme climate events on Brazilian agricultural production**. Sustainability in Debate, 11(3), 197–210. 2020.

CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque; FERREIRA, Nelson Jesus; DIAS, Maria Assunção Faus da Silva; SILVA, Maria Gertrudes Alvarez Justi da. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos. 2009.

CEPED UFSC. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012**: 2. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre

Desastres, 126 p, 2013. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/>. Acesso em: 21 nov. 2021.

CHOU, Sin Chan; LYRA, André; MOURÃO, Caroline; DERECZYNSKI, Claudine; PILOTTO, Isabel; GOMES, Jorge; ...; MARENGO, José Antonio. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. **American Journal of Climate Change**, 03(05), 438–454. 2014.

CIRILO, Jose Almir. **Políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido**, Estudos Avançados, vol.22, n.63, p.61-82, 2008.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Diagnóstico do Município de Caetés**. Ministério de Minas e Energia – Secretaria de Desenvolvimento Energético – Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Recife, 2005a.

\_\_\_\_\_. **Diagnóstico do Município de Salgueiro**. Ministério de Minas e Energia – Secretaria de Desenvolvimento Energético – Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Recife, 2005b.

COSTA, Ana Mônica de Britto; MELO, José Geraldo de; SILVA, Fernando Moreira da. **Aspectos da salinização das águas do aquífero cristalino no estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil**. Águas Subterrâneas, v.20, n.1, p.67-82, 2006.

CUNHA, Ana Paula M. A.; TOMASELLA, Javier; RIBEIRO-NETO, Germano; BROWN, Matthew; GARCIA, Samia R.; BRITO, Sheila. B.; CARVALHO, Magog A. Changes in the spatial–temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast. **Atmospheric Science Letters**, 19(10), e855. 2018.

CUNHA, Ana Paula M. A.; ZERI, Marcelo; LEAL, Karinne Deusdará; COSTA, Lidiane; CUARTAS, Luz Adriana; MARENGO, José Antonio; ... RIBEIRO-NETO, Germano. **Extreme drought events over Brazil from 2011 to 2019**. Atmosphere, 10(11). 2019.

DEMETRIO, J. Geilson A., et al. Aquíferos fissurais. In: CIRILO, J. A. et al. (Org.) O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semi-áridas. Recife: ABRH – Editora Universitária UFPE, 508p. 2007.

EASTERLING, David. R.; HORTON, Briony; JONES, Philip. D.; PETERSON, Thomas C.; KARL, Thomas R.; PARKER, David. E.; ... FOLLAND, Christopher K. **Maximum and Minimum Temperature Trends for the Globe**. Science, 277(5324), 364–367. 1997.

FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL (FBB). **Tecnologias sociais: transformando o Brasil pelo desenvolvimento sustentável**, 2018. Disponível em: <https://gife.org.br/tecnologias-sociais-transformando-o-brasil-pelo-desenvolvimento-sustentavel/>. Acesso em: 20 set. 2020.

FRICH, P.; ALEXANDER, Lisa V.; DELLA-MARTA, P.; GLEASON, Byron; HAYLOCK, M.; TANK KLEIN, A. M. G.; PETERSON, Thomas. **Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century**. Climate Research, 19(3), 193–212. 2002.

GHAFFOUR, Noredine; MISSIMER, Thomas M.; AMY, Gary L. **Technical review and**

**evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability.** s.l. : Elsevier, 2013, Vol. 309, pp. 197-207.

GIL-ALANA, Luis A. Maximum and minimum temperatures in the United States: Time trends and persistence. **Atmospheric Science Letters**, 19(4), 1–3. 2018.

GLENN, Edward P.; BROWN, J. Jed; O’LEARY, James W. **Irrigation crops with seawater.** **Scientific American**, New York, v. 278, n. 1, p. 76-81, 1998.

GUALDANI, Carla; SALES, Marli. **Tecnologias Sociais de Convivência com o Semiárido como estratégia de mitigação/adaptação.** Sustentabilidade em Debate, Brasília, v. 7, Edição Especial, p.86-99, 2016.

GUERREIRO, Mário Luís Ferreira Brandão. “Dessalinização para Produção de Água Potável - Perspectivas para Portugal”. **Dissertação de Mestrado**, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estimativa da População.** Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 26 jan. 2022.

\_\_\_\_\_. **Cidades.** Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/caetes/panorama>. Acesso em: 26 jan. 2022.

\_\_\_\_\_. **Censo Agropecuário 2017.** Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censoagropecuario.bhtml?=&t=resultados>. Acesso em: 26 jan. 2022.

\_\_\_\_\_. **Pesquisa Nacional de Saúde 2019.** Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/caetes/pesquisa/39/30279?tipo=ranking>. Acesso em: 26 jan. 2022.

International Panel on Climate Change (IPCC). **Climate Change 2007: IPCC Fourth Assessment Report, Climate Change 2007: Synthesis Report—Summary for Policymakers, Contribution of Working Groups I–III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, eds. L. Bernstein et al. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.

\_\_\_\_\_. **Climate Change 2014: Mitigation of climate change. Working group III contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** United States of America, 2014. Disponível em: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_full.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_full.pdf). Acesso em: 23 fev. 2021.

\_\_\_\_\_. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

KAYANO, Mary Toshie; ANDREOLI, Rita. V. **Clima da Região Nordeste do Brasil.** In:

CAVALCANTI, I. F. de A. et al. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.213- 233.

MARENGO José Antonio. **Water and Climate Change**. Estudos Avançados (USP), v. 22, p. 83-96. 2008

MARENGO, José Antonio; ALVES, Lincoln M.; BESERRA, Elder A.; LACERDA, Francinete F. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. Campina Grande: INSA, p.383-422, 2011.

MARENGO, José Antonio; ALVES, Lincoln M.; ALVALA, Regina C. S.; CUNHA, Ana Paula; BRITO, Sheila; MORAES, Osvaldo. L. L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid northeast Brazil region. **Anais Da Academia Brasileira de Ciências**, 90(2), 1973–1985. 2018.

MARENGO, José Antonio, AMBRIZZI, Tercio, ALVES, Lincoln M.; BARRETO, Naurinete J. C.; REBOITA, Michelle Simões; RAMOS, Andrea M. **Changing Trends in Rainfall Extremes in the Metropolitan Area of São Paulo: Causes and Impacts**. *Frontiers in Climate*, 2(3), 1–13. 2020.

MARENGO, José Antonio; CUNHA, Ana Paula M. A.; NOBRE, Carlos A.; RIBEIRO NETO, Germano G.; MAGALHAES, Antonio R.; TORRES, Roger R.; ... ALVALA, Regina C. S. Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4 °C. *Natural Hazards*, 103(2), 2589–2611. 2020.

MARENGO, José Antonio; GALDOS, Marcelo V.; CHALLINOR, Andrew; CUNHA, Ana Paula, MARIN, Fabio R., VIANNA, Murilo dos Santos; ... BENDER, Fabiani. **Drought in Northeast Brazil: A review of agricultural and policy adaptation options for food security**. *Climate Resilience and Sustainability*, 00, 1-20. 2021.

MEDEIROS, Felipe Jeferson de; OLIVEIRA, Cristiano Prestrelo de. **Dynamical Aspects of the Recent Strong El Niño Events and its Climate Impacts in Northeast Brazil**. *Pure and Applied Geophysics*, 178(6), 2315–2332. 2021.

O'LEARY, James W. **A critical analysis of the use of Atriplex species as crop plant for irrigation with highly saline water**. In: AHMAD, R.; SAN PIETRO, A.(Ed.). *Prospects for biosaline research*. Karachi: Karachi University, 1986. p. 416-432.

PERNAMBUCO. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. **Programa de Ação Estadual de Pernambuco para o Combate Desertificação e Mitigação aos Efeitos da Seca – PAE- PE / SECTMA**. – Recife: CEPE, 2009.

\_\_\_\_\_. Constituição (2013). Lei nº 14.922, de 18 de março de 2013. **Política Estadual de Convivência Com o Semiárido**. Disponível em: <http://legis.alepe.pe.gov.br/arquivoTexto.aspx?tiponorma=1&numero=14922&complemento=0&ano=2013&tipo;=>. Acesso em: 20 set. 2020.

PESSOA, L. C. C. Análise do desempenho e do impacto ambiental dos dessalinizadores por osmose reversa. 158 f. **Dissertação (Mestrado em Hidráulica)** - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2000.



PETERSON, Thomas C.; MANTON, Michael John. **Monitoring changes in climate extremes: A tale of international collaboration**. Bulletin of the American Meteorological Society, 89(9), 1266–1271, 2008.

PINHEIRO, José César Vieira; CALLADO, Sandra Maria Guimarães. Avaliação de desempenho dos dessalinizadores no Ceará. **Revista Econômica do Nordeste**, v.36, n.1, p.43-59, 2005.

PORTO, Everaldo Rocha; AMORIM, Miriam Cleide Cavalcante; SILVA JÚNIOR, Luis. G. A. **Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*)**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.5, n.1, p.111-114, 2001.

PORTO, Everaldo Rocha; ARAÚJO, Odilon; ARAÚJO, Cherman Garcia Leal, AMORIM, Miriam Cleide Cavalcante; PAULINO, Renata Vale; MATOS, Ana Nery Barbosa. **Sistema de Produção Integrado Usando Efluentes da Dessalinização /Petrolina, PE**: Embrapa Semi-Árido, 2004. 22 p. (Embrapa Semi-Árido. Documentos, 187).

REGOTO, Pedro; DEREZYNSKI, Claudine; CHOU, Sin Chan; BAZZANELA, Anna Carolina. Observed changes in air temperature and precipitation extremes over Brazil. **International Journal of Climatology**, 41(11), 5125–5142. 2021.

RODRIGUES, Daniele Tôrres; GONÇALVES, Weber Andrade; SPYRIDES, Maria Helena Constantino; ANDRADE, Lara de Melo Barbosa; SOUZA, Diego Oliveira de; ARAUJO, Paula Andressa Alves de; SILVA, Any Caroline Nunes da; SILVA, Cláudio Moisés Santos. **Probability of occurrence of extreme precipitation events and natural disasters in the city of Natal, Brazil**. Urban Climate, 35, 100753. 2021.

SANTOS, Andréa Souza. **Vulnerabilidades socioambientais diante das mudanças climáticas projetadas para o semiárido da Bahia**. 2008. 153 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SCHOEDER, Elson; ALVES, Gilda Glauce M.; MAZZINI, Vera Lúcia. O Desafio de valorizar e difundir o conhecimento do semiárido. In: CONTI, Irio Luiz; Schoeder, Elson; MEDAGLIA, Vicente Rahn. (organizadores). **Construindo saberes, cisternas e cidadania: formação para a convivência com o semiárido brasileiro**. Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – FAURGS/REDEgenteSAN/ Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade – IABS/ Agência Espanhola de Cooperação Internacional para o Desenvolvimento – AECID/ Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome – MDS. VI. Editora IABS, Brasília-DF, Brasil, 2014.

SILVA, L. S. **As condições climáticas do Estado de Pernambuco e seus impactos nos aspectos socio-econômicos**. Trabalho de Conclusão de curso de Geografia. Departamento de Ciências Geográficas (DCG). Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 60 p. 2013.

SOARES, Tales Miler; SILVA, Ênio Farias de França; DUARTE, Sergio Nascimento; MELO, Ralini Ferreira; JORGE, Cristiano de Andrade; BONFIM-SILVA, Edna Maria. **Produção de alface utilizando águas salinas em sistema hidropônico**. Revista Irriga, v.12, n.2, p.235-248, 2007.

SOARES, Tales Miler. Utilização de águas salobras no cultivo da alface em sistema hidropônico NFT como alternativa agrícola condizente ao semi-árido brasileiro. Piracicaba: ESALQ/USP, 2007. 267 p. **Tese Doutorado.**

SOARES, Tales Miler; SILVA, Iran J. O.; DUARTE, Sergio Nascimento; SILVA, Ênio Farias de França. Destinação de águas residuárias provenientes de dessalinizadores por osmose reversa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.730-737, 2006.

SOUZA, José Thyago Aires; FARIAS, André Aires de; FERREIRA, Roberto Carlos Cavalcante; LUCENA, Juliane Neves de; OLIVEIRA, Suenildo Josémo Costa. **Utilização dos tanques de pedra como fonte de armazenamento de água em uma comunidade rural no município de Taperoá-PB.** In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Campina Grande-PB, 2012.

SUASSUNA, João. **Convivência com o Semiárido.** Recife, 27 dezembro 2007. Disponível em: [www.ecodebate.com.br](http://www.ecodebate.com.br). Acesso em: 03 set. 2021.

TOMASELLA, Javier; VIEIRA, Rita M. Silva Pinto; BARBOSA, Alexandre A.; RODRIGUEZ, Daniel A.; SANTANA, Marcos de Oliveira; SESTINI, Marcelo F. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000–2016. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 73, 197–206, 2018.

TORRE, Júlia Betina. **Dessalinização de água salobra e/ou salgada: métodos, custos e aplicações.** Trabalho de diplomação em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

TORRES, Roger R.; LAPOLA, David M.; MARENGO, José Antonio; LOMBARDO, Magda A. **Socio-climatic hotspots in Brazil.** *Climatic Change*, 115(3–4), 597–609. 2012.

United Nations Environment Programme (UNEP). **World Atlas of Desertification.** Londres: UNEP/Edward Arnold, 1992. 69 p.

VIEIRA, Rita M. Silva Pinto; TOMASELLA, Javier; ALVALÁ, Regina C.; SESTINI, Marcelo F.; AFFONSO, A. G.; RODRIGUEZ, Daniel A.; ... SANTANA, Marcos de Oliveira. **Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast.** *Solid Earth*, 6, 347–360. 2015.

VILANOVA, Regiane Souza; DELGADO, Rafael Coll; ANDRADE, Caio Frossard de; SANTOS, Gilsonley Lopes; MAGISTRALI, Iris Cristiane; OLIVEIRA, Carlos Magno Moreira de; ... RODRIGUES, Rafael de Ávila. **Vegetation degradation in ENSO events: Drought assessment, soil use and vegetation evapotranspiration in the Western Brazilian Amazon.** *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23, 100531. 2021.

VOSE, Russell S.; EASTERLING, David R.; GLEASON, Byron. **Maximum and minimum temperature trends for the globe: An update through 2004.** *Geophysical Research Letters*, 32(23). 2005.

XAVIER, Alexandre C.; KING, Carey W.; SCANLON, Bridget R. **Daily gridded**

**meteorological variables in Brazil (1980-2013).** *International Journal of Climatology*, 36(6), 2644–2659. 2015.

XAVIER, Alexandre C.; KING, Carey W.; SCANLON, Bridget R. **An update of Xavier, King and Scanlon (2016) daily precipitation gridded data set for the Brazil.** In proceedings of the 18th Brazilian Symposium on Remote Sensing, Santos, São Paulo, Brazil, 28-31 May 2017. 2016.

ZANELLA, Maria Elisa. **Considerações Sobre o Clima e os Recursos Hídricos do Semiárido Nordestino.** Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, Volume Especial, n.36, p. 126-142, 2014.

ZHANG, Xuebin; ALEXANDER, Lisa; HEGERL, Gabriele C.; JONES, Philip; TANK, Albert Klein; PETERSON, Thomas C.; TREWIN, Blair; ZWIERS, Francis W. **Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data.** *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(6), 851–870. 2011.

ZHANG, Xuebin; YANG, Feng. **“RClimDex (1.0) - User Manual”**, Climate Research Branch Environment Canada Downsview, Ontario, 2004.