



Universidade Federal
do Espírito Santo

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

IGOR CEZANA GOMES

**CRISE HÍDRICA NO NORTE DO ESPÍRITO SANTO: ANÁLISE DO PROCESSO
DE DESSALINIZAÇÃO COMO PROPOSTA AO ABASTECIMENTO PÚBLICO NA
REGIÃO DE GURIRI, SÃO MATEUS/ES**

VITÓRIA
MARÇO 2022

IGOR CEZANA GOMES

**CRISE HÍDRICA NO NORTE DO ESPÍRITO SANTO: ANÁLISE DO PROCESSO
DE DESSALINIZAÇÃO COMO PROPOSTA AO ABASTECIMENTO PÚBLICO NA
REGIÃO DE GURIRI, SÃO MATEUS/ES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Edumar Ramos Cabral Coelho.

Coorientador: Dr. Pedro Junior Zucatelli.

VITÓRIA

MARÇO DE 2022

IGOR CEZANA GOMES

CRISE HÍDRICA NO NORTE DO ESPÍRITO SANTO: ANÁLISE DO PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO COMO PROPOSTA AO ABASTECIMENTO PÚBLICO NA REGIÃO DE GURIRI, SÃO MATEUS/ES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovado em 15 de março de 2022.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Edumar Ramos Cabral Coelho

Dr. Pedro Junior Zucatelli.

Prof. Dr. Antonio Sergio Ferreira Mendonça

Prof. Dr. Maurice Barcellos da Costa

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente aos meus familiares, ao meu pai, Noel, minha mãe, Rosana, e ao meu irmão, Vitor, além das minhas primas Karini e Bianca, por todo apoio que me forneceram e que foi essencial durante toda a graduação.

Às minhas companheiras de república e grandes amigas Amanda e Ana Caroline, que acompanharam todos os surtos e comemorações que a Ufes proporcionou durante a graduação e me ajudaram a manter a sanidade neste período da minha vida.

Aos meus amigos de longa data Augusto, Breno, Hayllander, Ítalo, Lucas, Maurício, Niltomar e Werllys, que mantiveram nossa amizade mesmo com toda distância entre Vitória e o norte do Espírito Santo.

À Amanda, Damyris, Emanuely, Joyce e Marcos, por estarem presentes na minha vida desde éramos crianças, mantendo a conexão de amizade até os dias atuais.

Aos amigos que fiz na época em que morei em São Mateus, principalmente à Caiuby, Diego, Henrique, Natividade e Taís.

A todas as amizades que fiz durante minha graduação na Ufes, em especial àqueles que estavam presentes em todos os momentos de estudos e de festas, como Ainoã, Arthur, Izabel, Lara, Luana, Murilo, Piol, PJ, Raquel, Ronald e Thiago.

Por fim, aos meus orientadores Edumar e Pedro, além de todos os professores que participaram da minha formação profissional durante minha graduação em Engenharia Ambiental na Universidade Federal do Espírito Santo.

Não posso respirar, não posso mais nadar. A terra está morrendo, não dá mais pra plantar. E se plantar não nasce, se nascer não dá. Até pinga da boa é difícil de encontrar.

Luiz Gonzaga (1989)

RESUMO

A Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus encontra-se inserida em uma Área de Entorno Susceptível a Desertificação, sendo assolada por estiagens em períodos recentes. O objetivo central do presente estudo foi realizar uma análise do processo de dessalinização como uma solução possível para a crise no abastecimento urbano na localidade de Guriri, São Mateus/ES. Foi proposto, assim, discorrer sobre a problemática do processo de desertificação e escassez hídrica, dimensionar as vazões de uma planta de dessalinização de água salobra e os impactos socioeconômicos e ambientais da implantação de uma usina para este fim na localidade. Sob essa ótica, a dessalinização da água subterrânea salobra surge como uma solução viável para futuras crises hídricas, principalmente se for necessária a manutenção da segurança hídrica da população, mas se atentando para a mitigação dos impactos derivados da atividade, como o reaproveitamento da energia e do rejeito salino gerado.

Palavras-chave: crise hídrica; desertificação; dessalinização.

ABSTRACT

The São Mateus River Basin is located in a Surrounding Area Susceptible to Desertification, being devastated by droughts in recent periods. The main objective of the present study was to carry out an analysis of the desalination process as a possible solution to the crisis in urban water supply in the locality of Guriri, São Mateus/ES. Thus, it was proposed to discuss the problem of the process of desertification and water scarcity, to dimension the flows of a brackish water desalination plant and the socioeconomic and environmental impacts of the implantation of a plant for this purpose in the locality. From this point of view, brackish groundwater desalination emerges as a viable solution for future water crises, especially if it is necessary to maintain the water security of the population, but paying attention to the mitigation of the impacts derived from the activity, such as the reuse of energy and generated saline waste.

Keywords: water crisis; desertification; desalination.

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH)
Agência Nacional de Águas (ANA)
Área de Proteção Permanente (APP)
Área Susceptível à Desertificação (ASD)
Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)
Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus (BHRSM)
Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)
Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)
Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD)
Divisão Hidrográfica Nacional (DNH)
Estação de Tratamento de Água (ETA)
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA)
Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (IDAF)
Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)
Organização das Nações Unidas (ONU)
Organização Mundial da Saúde (OMS)
Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)
Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAN-Brasil)
Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE)
Sistema de Abastecimento de Água (SAA)
Sólidos Sedimentáveis (SSD)
Ministério do Meio Ambiente (MMA)
Programa Água Doce (PAD)
Unidades de Planejamento (UP)

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Balanço hídrico resultante da diferença entre a lâmina média mensal precipitada e evapotranspirada na Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus.....	23
Figura 02: Série histórica anual de precipitação na estação meteorológica de São Mateus/ES.....	23
Figura 03: Interferência das captações subterrâneas no nível dos aquíferos.	25
Figura 04: Intrusão salina e efeitos decorrentes do bombeamento de poços em áreas costeiras.....	26
Figura 05: Áreas Susceptíveis à Desertificação na Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus.	27
Figura 06: Unidades de planejamento dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus.....	28
Figura 07: Sistemas aquíferos na Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus.	29
Figura 08: Distribuição percentual das captações de água subterrânea classificadas por tipo de uso.....	30
Figura 09: Áreas susceptíveis à desertificação.	34
Figura 10: Esquema simplificado do processo de dessalinização.....	37
Figura 11: Evolução histórica comparativa da capacidade instalada de processos térmicos de dessalinização e processos por membranas.	38
Figura 12: Princípio da osmose reversa.....	39
Figura 13: Diagrama simplificado de uma planta de dessalinização da água do mar ou salobra por osmose reversa.....	41
Figura 14: Membrana em forma de espiral.	43
Figura 15: Unidades básicas integrantes de um sistema de osmose reversa.....	44
Figura 16: Diferentes arranjos de sistemas de osmose reversa: (a) arranjo em série, (b) arranjo em paralelo, (c) arranjo cônico e (d) arranjo cônico com bombas entre os estágios.....	44
Figura 17: Adutora de PVC do sistema de captação da água do mar na praia de Boldró, em Fernando de Noronha.	46
Figura 18: Vista aérea da planta de dessalinização de Torevieja, Espanha.	47
Figura 19: Vista aérea da planta de dessalinização de Sydney, Austrália.	48

Figura 20: <i>Atriplex nummularia</i> irrigada com o rejeito da dessalinização da água salobra, com um ano de idade.	50
Figura 21: Curva logística.	56
Figura 22: Partes constituintes de um sistema de abastecimento de água.....	60
Figura 23: Partes constituintes do sistema de abastecimento com dessalinizador e captação em poço de água subterrânea. de água.	61
Figura 24: Interface do software DUPONT® WAVE 1.82.....	62
Figura 25: Localização de Guriri.....	65
Figura 26: Setores censitários do distrito de Barra Nova, São Mateus/ES.	66
Figura 27: Esquematização simplificada do sistema de dessalinização para Guriri, São Mateus/ES.....	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Área e vazão média dos recursos hídricos nas ASDs.....	21
Quadro 02: Disponibilidade hídrica por unidade de planejamento na Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus.....	22
Quadro 03: Dados de vazão específica e estabilizada no sistema aquífero granular da Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus.....	24
Quadro 04: Unidades de Planejamento da Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus e suas respectivas áreas.....	28
Quadro 05: Ocorrência dos sistemas aquíferos aflorantes nas Unidade de Planejamento da Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus.....	30
Quadro 06: Classificação das águas doces, salobras e salinas.....	35
Quadro 07: Palatabilidade da água em função da concentração de sólidos totais dissolvidos.....	36
Quadro 08: Dados do Censo 2010 para Guriri.....	66
Quadro 09: Dados populacionais de Guriri para o ano de 2010.....	68
Quadro 10: Dados censitários do município de São Mateus/ES para os anos de 1991, 2000 e 2010.	68
Quadro 11: Projeção ano a ano da população de Guriri, sem levar em consideração a população flutuante.	73
Quadro 12: Projeção ano a ano da população, levando em consideração a população flutuante.....	74
Quadro 13: Dados da água proveniente dos poços de Guriri/ES.....	76

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Incremento populacional para o município de São Mateus/ES obtido através do método aritmético.	69
Gráfico 02: Incremento populacional para o município de São Mateus/ES obtido através do método geométrico.	70
Gráfico 03: Incremento populacional para o município de São Mateus/ES obtido através do método da curva logística.	71
Gráfico 04: Comparação entre os dados do IBGE, os incrementos populacionais obtidos pelos métodos aritmético, geométrico e da curva logística para o município de São Mateus/ES.	72

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	18
2.	JUSTIFICATIVA	19
3.	OBJETIVOS	20
3.1.	OBJETIVO GERAL.....	20
3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
4.1.	DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	21
4.1.1.	Disponibilidade hídrica na Bacia do Rio São Mateus	22
4.2.	AQUÍFEROS	24
4.2.1.	Cunhas salinas	25
4.3.	CARACTERÍSTICAS E INFORMAÇÕES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO MATEUS	26
4.3.1.	Águas subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus	29
4.3.2.	Qualidade das águas quanto à salinidade	31
4.4.	DESERTIFICAÇÃO	31
4.4.1.	O conceito de desertificação	32
4.4.2.	As causas da desertificação	32
4.4.3.	A desertificação no norte do Espírito Santo	33
4.5.	DESSALINIZAÇÃO	35
4.5.1.	Definição e composição da água salgada e salobra	35
4.5.2.	Panorama da dessalinização no Brasil	36
4.5.3.	Processos e métodos de dessalinização	37
4.5.3.1.	Dessalinização por osmose reversa.....	38
4.5.4.	Componentes constituintes de uma planta de dessalinização por osmose reversa	40
4.5.4.1.	Pré-tratamento.....	41

4.5.4.2.	Bombas de alta pressão	42
4.5.4.3.	Membranas	42
4.5.4.4.	Pós-tratamento	45
4.5.5.	Utilização da osmose reversa em tratamento de água e potabilidade de água.....	45
4.5.5.1.	Brasil: Fernando de Noronha	46
4.5.5.2.	Espanha: Torre Vieja	47
4.5.5.3.	Austrália: Sydney.....	48
4.5.6.	Rejeitos do processo de dessalinização.....	48
4.5.7.	Impactos socioeconômicos e ambientais de uma usina de dessalinização	51
4.6.	LICENCIAMENTO AMBIENTAL.....	51
5.	METODOLOGIA	53
5.1.	DEFINIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO.....	53
5.2.	ESTUDO DA POPULAÇÃO	53
5.2.1.	Período do projeto.....	53
5.2.2.	Definição da população a ser atendida	53
5.2.3.	Métodos de crescimento populacional	54
5.2.3.1.	Método aritmético	54
5.2.3.2.	Método geométrico.....	55
5.2.3.3.	Método da curva logística.....	55
5.2.3.4.	Escolha do método a ser utilizado.....	58
5.2.3.5.	Extrapolação do incremento populacional.....	58
5.2.3.6.	População flutuante.....	58
5.3.	ESTUDO DAS VAZÕES.....	58
5.3.1.	Definição dos parâmetros	58
5.3.1.1.	K_1 e K_2	58
5.3.1.2.	Perdas no sistema e na rede.....	59

5.3.1.3.	Per capita	59
5.3.1.4.	Vazões pontuais	59
5.3.1.5.	Vazão de incêndio	60
5.3.1.6.	Tempo de operação do sistema	60
5.3.1.7.	Perdas no tratamento	60
5.3.1.8.	Análise da água de alimentação.....	60
5.3.2.	Dimensionamento do sistema.....	60
5.3.2.1.	Cálculo das vazões	60
5.3.2.2.	Cálculo da concentração de sal no rejeito	63
5.3.2.3.	Escolha da membrana osmótica	63
5.4.	AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL DA USINA DE DESSALINIZAÇÃO	64
5.5.	LICENCIAMENTO AMBIENTAL DA USINA DE DESSALINIZAÇÃO	64
5.6.	PROJETO DA USINA DE DESSALINIZAÇÃO	64
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
6.1.	DEFINIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	65
6.2.	ESTUDO DA POPULAÇÃO	65
6.2.1.	Período do projeto.....	65
6.2.2.	Definição da população a ser atendida	66
6.2.3.	Métodos de crescimento populacional	69
6.2.3.1.	Método aritmético	69
6.2.3.2.	Método geométrico.....	69
6.2.3.3.	Método da curva logística.....	70
6.2.3.4.	Escolha do método a ser utilizado.....	71
6.2.3.5.	Extrapolação do incremento populacional	73
6.2.3.6.	População flutuante	74
6.3.	ESTUDO DAS VAZÕES.....	75

6.3.1.	Definição dos parâmetros	75
6.3.1.1.	<i>K1 e K2</i>	75
6.3.1.2.	Perdas no sistema e na rede.....	75
6.3.1.3.	Per capita	75
6.3.1.4.	Vazões pontuais	76
6.3.1.5.	Vazão de incêndio.....	76
6.3.1.6.	Tempo de operação do sistema	76
6.3.1.7.	Perdas no tratamento.....	76
6.3.1.8.	Análise da água de alimentação.....	76
6.3.2.	Dimensionamento do sistema.....	77
6.3.2.1.	Cálculo das vazões	77
6.3.2.2.	Cálculo da concentração de sal no rejeito.....	78
6.3.2.3.	Escolha da membrana osmótica	78
6.3.3.	Perspectiva de um cenário com maior salinidade.....	78
6.4.	AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL DA USINA DE DESSALINIZAÇÃO	79
6.4.1.	Impactos socioambientais gerados e medidas mitigadoras sugeridas na fase de instalação	79
6.4.1.1.	Supressão de vegetação.....	79
6.4.1.2.	Impactos na fauna	80
6.4.1.3.	Movimentação de terra.....	80
6.4.1.4.	Tráfego de maquinários.....	80
6.4.1.5.	Poluição atmosférica	81
6.4.1.6.	Poluição sonora.....	81
6.4.1.7.	Poluição do solo e das águas.....	81
6.4.1.8.	Alteração da estética da paisagem local	82
6.4.1.9.	Desapropriação	82
6.4.1.10.	Aumento da oferta de vagas de emprego	82

6.4.2. Impactos socioambientais gerados e medidas mitigadoras sugeridas na fase de operação	83
6.4.2.1. Avanço da cunha salina	83
6.4.2.2. Aumento da demanda energética.....	83
6.4.2.3. Geração de rejeito salino.....	84
6.4.2.4. Poluição sonora.....	84
6.4.2.5. Fotopoluição.....	85
6.4.2.6. Aumento da oferta de vagas de emprego	85
6.4.2.7. Segurança hídrica	85
6.5. LICENCIAMENTO AMBIENTAL DA USINA DE DESSALINIZAÇÃO.....	85
6.6. PROJETO DA USINA DE DESSALINIZAÇÃO.....	86
6.6.1. Etapas da usina de dessalinização	86
6.6.1.1. Captação	86
6.6.1.2. Pré-tratamento.....	86
6.6.1.3. Dessalinização	87
6.6.1.4. Pós- tratamento.....	87
6.6.1.5. Reservatório	87
6.6.1.6. Gerenciamento do rejeito	87
6.6.2. Esquematização	87
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
REFERÊNCIAS	90

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Convenção das Nações Unidas, a desertificação é o processo de degradação de terras nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas. Esse fenômeno se dá pelos mais diversos fatores, entre eles as atividades humanas e as variações climáticas (ACCIOLY *et al.*, 2019). As áreas susceptíveis à desertificação (ASD) cobrem 1.340.863 km², as quais abrangem 1.488 municípios dos nove estados do nordeste, norte de Minas Gerais e norte do Espírito Santo (BRASIL, 2007).

A Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus possui área de drenagem de aproximadamente 8.237 km², estando localizada na região norte do Espírito Santo e abrangendo os municípios de Água Doce do Norte, Barra de São Francisco, Boa Esperança, Conceição da Barra, Ecoporanga, Jaguaré, Mantenópolis, Nova Venécia, Ponto Belo, São Mateus e Vila Pavão. Estes municípios, com exceção de Conceição da Barra, Jaguaré e São Mateus, estão dentro de uma Área de Entorno Susceptível à Desertificação (AGERH, 2018).

A localidade de Guriri, região litorânea do município de São Mateus, vem sofrendo com consecutivas interrupções no abastecimento de água por conta da elevada salinidade nas águas do rio São Mateus, o seu principal manancial superficial. Isso gera, como consequência, a perfuração de muitos poços, com o intuito de garantir água em frente as crises constantes no sistema de abastecimento público. Entretanto, a situação pode se tornar cada vez mais grave devido ao bombeamento em excesso e o avanço das águas salgadas sobre a zona de água doce do aquífero (AGERH, 2018).

Na região do semiárido, a solução encontrada pelo Programa Água Doce (PAD), iniciado como Programa Água Boa no ano de 1997, é a instalação de dessalinizadores (AMARAL *et al.*, 2020). Entretanto, os sistemas de dessalinização, além de gerar água potável, também produzirá rejeito altamente salino e de alto poder de poluição, o qual deve ser manejado corretamente (SOARES *et al.*, 2005 *apud* PINHEIRO *et al.*, 2018). O presente trabalho consiste na análise da implantação de uma usina de dessalinização na localidade de Guriri, São Mateus-ES, visando solução para os rejeitos gerados e o equilíbrio social, ambiental e econômico do projeto.

2. JUSTIFICATIVA

As interrupções de abastecimento de água no município de São Mateus/ES, com especial atenção à localidade de Guriri, vem afligindo os moradores da região. Não obstante, a salinidade da água distribuída, principalmente em períodos de estiagem, contribui para o cenário de crise hídrica. Por estar dentro de uma Área de Entorno Susceptível À Desertificação, a Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus (BHRSM) está sujeita à possíveis novos eventos de secas futuras.

A Organização das Nações Unidas (ONU), dentro da Agenda 2030 de seus Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), possui como Objetivo 6 a Água Potável e Saneamento, dentro do qual visa-se garantir a disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos.

Além disso, existe a motivação pessoal do autor, o qual possui raízes na região e busca retribuir à população local, trazendo para o debate acadêmico a problemática da escassez hídrica no norte do Espírito Santo.

Desse modo, o presente trabalho busca apresentar o processo de dessalinização por osmose reversa como alternativa ao cenário apresentado, de modo a garantir água potável e de qualidade aos cidadãos residentes em Guriri, São Mateus/ES.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do projeto é realizar uma análise técnica do processo de dessalinização como uma possível solução para a crise no abastecimento urbano na localidade de Guriri, São Mateus/ES.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Discorrer acerca da problemática do processo de desertificação e escassez hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus;
- Dimensionar as vazões de uma usina de dessalinização de água salobra para a localidade de Guriri, São Mateus/ES;
- Discutir sobre os impactos socioeconômicos e ambientais da implantação de uma usina de dessalinização, bem como soluções para os passivos ambientais gerados.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. DISPONIBILIDADE HÍDRICA

A água é de fundamental importância para a existência da vida na terra, servindo para a manutenção e equilíbrio ambiental dos ecossistemas terrestres, bem como para o desenvolvimento de inúmeras atividades antrópicas, como a produção de alimentos, de bens de consumo, de energia, para o transporte e o lazer (LIMA, 2001).

Vários podem ser os usos da água que acarretarão na diminuição da disponibilidade hídrica: no âmbito urbano, temos o uso doméstico e público; no rural, temos o uso das comunidades; no agropecuário, o uso para irrigação e uso animal; além disso, temos o uso industrial da água. Contudo, a irrigação é o setor com maior consumo de água dos mananciais dentre os citados, inclusive dentro das ASD (BRASIL, 2007).

O conceito do Brasil ter disponibilidade hídrica abundante deu suporte, por muito tempo, à cultura do desperdício, da não valorização econômica e da falta de investimentos necessários para uso e proteção da água (LIMA, 2001).

No ano de 2006, o Ministério do Meio Ambiente (MMA), por meio da Secretaria de Recursos Hídricos instituiu, baseando-se em um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Para a implementação do PNRH, a base físico-territorial adotada foi a Divisão Hidrográfica Nacional (DHN), dentro da qual há 6 regiões parcialmente incluídas nas ASD (BRASIL, 2007). No Quadro 01, são descritas essas regiões.

Quadro 01: Área e vazão média dos recursos hídricos nas ASD.

Região Hidrográfica	Área (km ²)	Área nas ASDs		Vazão Média (m ³ /s)
		(km ²)	%	
Atlântico Leste	388.160	284.633	73,3	1.492
Atlântico Nordeste Ocidental	274.301	26.329	9,6	2.683
Atlântico Nordeste Oriental	286.802	261.526	91,2	779
Atlântico Sudeste	214.629	11.383	5,3	3.179
Parnaíba	333.056	267.593	80,3	763
São Francisco	638.576	488.257	76,5	2.850

Fonte: BRASIL (2007) adaptado de PNRH (2006).

4.1.1. Disponibilidade hídrica na Bacia do Rio São Mateus

Em seu estudo, PUPPIN *et al.* (2019) estimou a disponibilidade hídrica superficial para cada Unidade de Planejamento (UP) caracterizada em função da vazão média de longo termo (Q_{MLT}). No Quadro 02, é apresentado a estimativa da Q_{MLT} .

Quadro 02: Disponibilidade hídrica por unidade de planejamento na Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus.

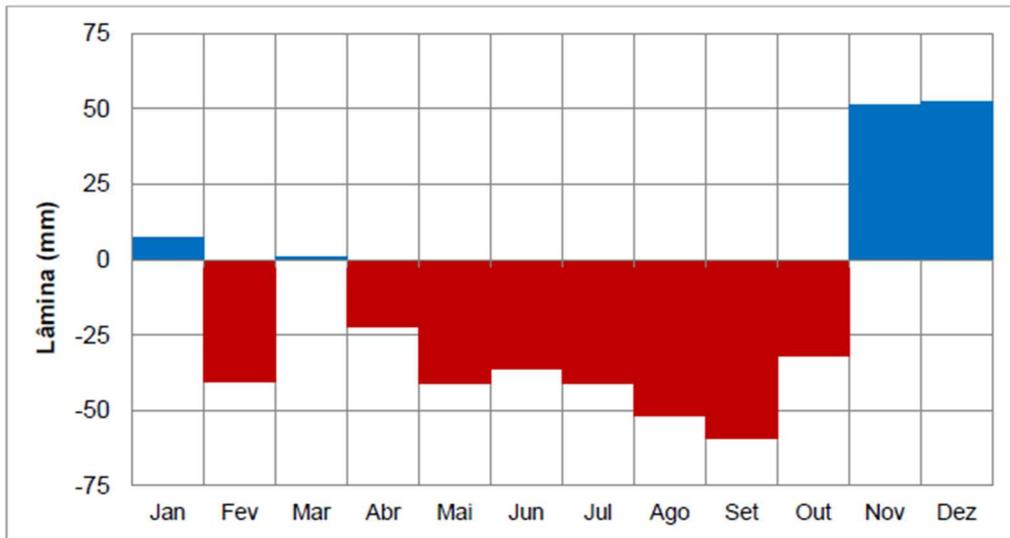
UP	Área de drenagem da UP (km ²)	Área acumulada (km ²)	Precipitação (mm/ano)	Q_{MLT} (m ³ /s)
Alto Cotaxé	2.246	6.042	1.133	45,7
Médio Cotaxé	811	6.854	1.111	49,3
Baixo Cotaxé	597	7.451	1.059	49,6
Alto Cricaré	1.964	3.812	1.115	31,2
Baixo Cricaré	735	4.548	1.059	33,7
Rio São Mateus	1.355	13.355	1.135	85,5
Rio Santana	526	13.881	1.135	88,1

Fonte: PUPPIN *et al.* (2019).

Deve-se observar que nas UP Alto Cotaxé e Alto Cricaré, somou-se a sua área de drenagem junto com a área localizada no estado de Minas Gerais para obtenção da área acumulada (PUPPIN *et al.*, 2019).

Em relação ao balanço hídrico, este pode ser obtido a partir da diferença entre a precipitação e a evapotranspiração em uma bacia hidrográfica (AGERH, 2018). O balanço hídrico da Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus é disposto na Figura 01.

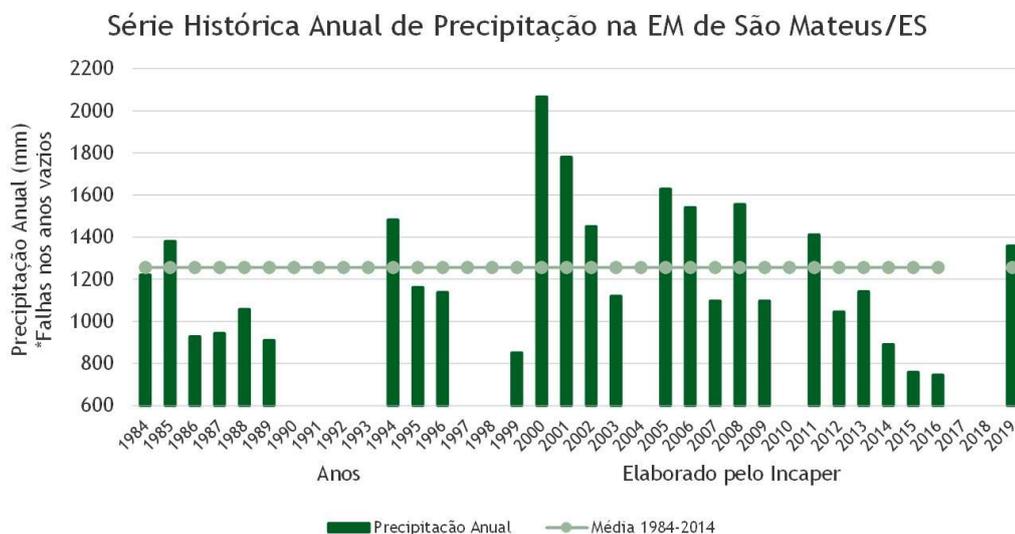
Figura 01: Balanço hídrico resultante da diferença entre a lâmina média mensal precipitada e evapotranspirada na Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus.



Fonte: AGERH (2018).

A partir do gráfico acima apresentado, é possível perceber que há um profundo déficit hídrico na região, totalizando oito meses do ano com valores maiores de evapotranspiração em relação às precipitações. Tal particularidade faz com que a Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus tenha características similares ao semiárido nordestino e classificada como uma Área de Entorno Susceptível à Desertificação (AGERH, 2018). Ao que tange a pluviosidade em São Mateus/ES, a Figura 02 apresenta a Série Histórica Anual no município.

Figura 02: Série histórica anual de precipitação na estação meteorológica de São Mateus/ES.



Fonte: INCAPER (2022).

Com relação aos sistemas aquíferos, o Quadro 03, desenvolvido por AGERH (2018), dispõe da vazão específica e estabilizada para o do tipo granular na BHRSM.

Quadro 03: Dados de vazão específica e estabilizada no sistema aquífero granular da Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus.

Sistema Aquífero Granular				
	Depósitos Terciários		Depósitos Quaternários	
	Vazão Específica (m³/h/m)	Vazão Estabilizada (m³/h)	Vazão Específica (m³/h/m)	Vazão Estabilizada (m³/h)
Mínimo	0,006	0,480	0,019	1,436
Média	1,075	12,32	5,776	10,64
Máximo	9,231	50,00	20,00	23,23
Desvio Padrão	1,922	13,52	5,970	4,969

Fonte: AGERH (2018)

Desse modo, diante do cenário de escassez hídrica superficial no norte capixaba, o qual se agravou cada vez mais nos últimos anos, deve-se entender que a exploração das águas subterrâneas de forma planejada poderá aumentar a segurança hídrica na região (AGERH, 2018).

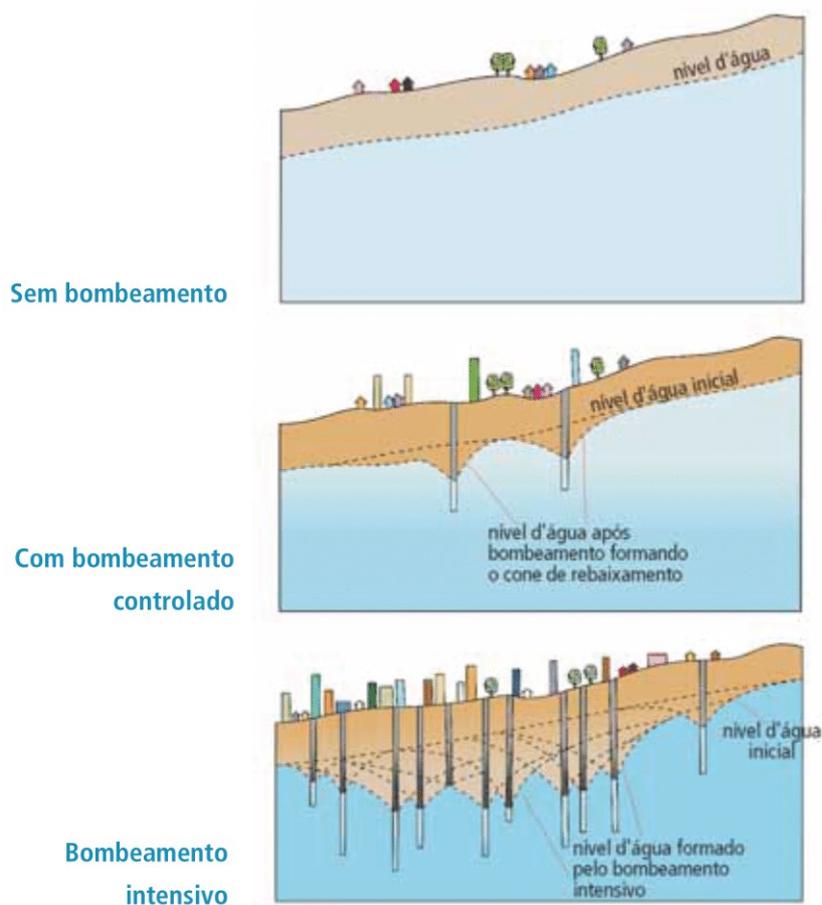
4.2. AQUÍFEROS

De acordo com ANA (2007), as unidades geológicas podem ser divididas em 3 domínios de aquíferos, em função do modo de armazenamento e transmissão da água: os aquíferos faturados, que são os aquíferos em que a água ocorre nas descontinuidades das rochas ígneas e metamórficas e constituem os terrenos chamados, de maneira genérica, como cristalinos; os aquíferos fraturado-cártico, nos quais a água ocorre nas descontinuidades da rocha, como fraturas, falhas e diaclases, associadas a feições de dissolução e corresponde aos locais de rochas sedimentares ou metassedimentares associadas a rochas calcárias; e os aquíferos porosos, nos quais a água ocorre entre os grãos que compõem a rocha e são representados pelas rochas sedimentares.

4.2.1. Cunhas salinas

O fenômeno da exploração intensiva, ou bombeamento em excesso, ocorre quando a taxa de bombeamento excede a taxa de recarga natural do aquífero, ocasionando como consequência o rebaixamento sem controle do nível de água (DAEE, 2008). A Figura 03 apresenta as diferentes situações de bombeamento e a evolução do nível d'água no aquífero.

Figura 03: Interferência das captações subterrâneas no nível dos aquíferos.

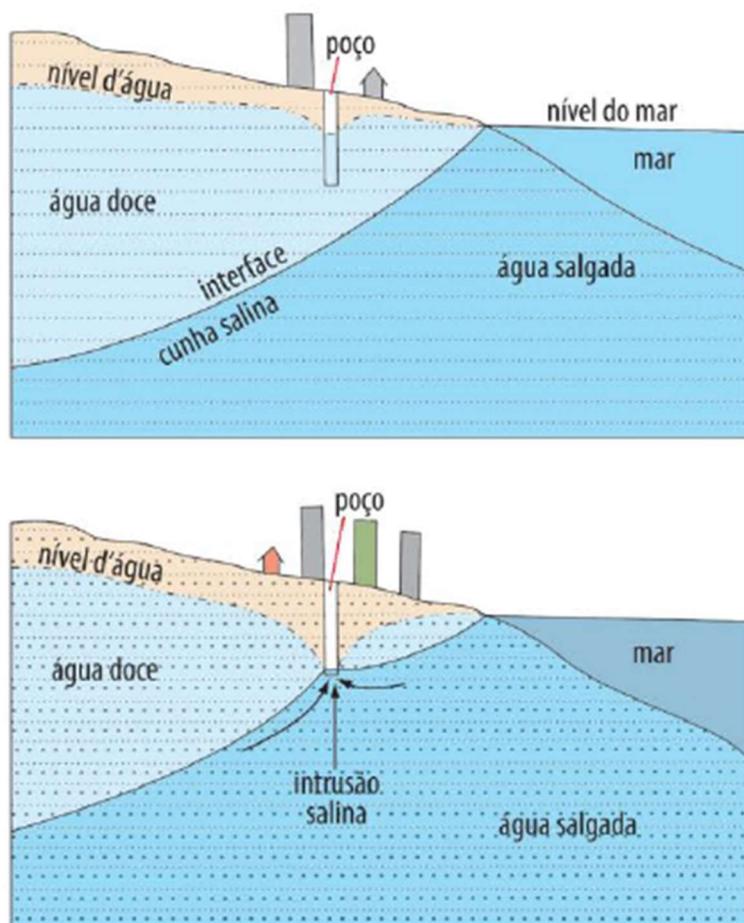


Fonte: DAEE (2008).

Porém, nos aquíferos litorâneos, o fluxo natural da água subterrânea ocorre em direção ao oceano, onde o aquífero realiza sua descarga. A densidade da água do mar é maior por conta de sua salinidade, a qual tende a ficar abaixo da água subterrânea, de modo a formar uma interface de equilíbrio chamada de cunha salina. Ao realizar-se uma intensa exploração da água subterrânea, este equilíbrio é

perturbado, resultando na intrusão salina no aquífero e, conseqüentemente, no comprometimento da reserva deste recurso hídrico subterrâneo (DAEE, 2008). Este fenômeno está representado na Figura 04.

Figura 04: Intrusão salina e efeitos decorrentes do bombeamento de poços em áreas costeiras.



Fonte: DAEE (2008).

4.3. CARACTERÍSTICAS E INFORMAÇÕES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO MATEUS

A Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus (BHRSM) possui uma área de drenagem de aproximadamente 8.237 km², estando localizada na região norte do Espírito Santo e abrangendo os municípios de Água Doce do Norte, Barra de São Francisco, Boa Esperança, Conceição da Barra, Ecoporanga, Jaguaré, Mantenópolis, Nova Venécia, Ponto Belo, São Mateus e Vila Pavão. Estes municípios, com exceção de Conceição da Barra, Jaguaré e São Mateus, estão dentro das ASDs (AGERH, 2018).

A Figura 05 dispõe da representação cartográfica comparativa entre a área compreendida pela BHRSM e as regiões inseridas nas Áreas Susceptíveis à Desertificação.

Figura 05: Áreas Susceptíveis à Desertificação na Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus.



Fonte: AGERH (2018).

A Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus é formada por dois principais afluentes: o Rio Cricaré, o qual compõe o braço sul, nascendo no município de São Félix de Minas (MG) e o Rio Cotaxé, o qual compõe o braço norte, nascendo no município de Itambacuri (MG). Os dois rios convergem no município de São Mateus (ES), dando origem ao Rio São Mateus, o qual segue rumo ao município de Conceição da Barra (ES), onde deságua no Oceano Atlântico (AGERH, 2018).

Esta bacia foi segmentada em Unidades de Planejamento (UP), as quais consistem em porções físicas com identidades regionais homogêneas, levando em consideração os aspectos físicos, econômicos, socioculturais e políticos (AGERH, 2018). O Quadro 04 dispõe das UP da Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus, bem como suas respectivas áreas.

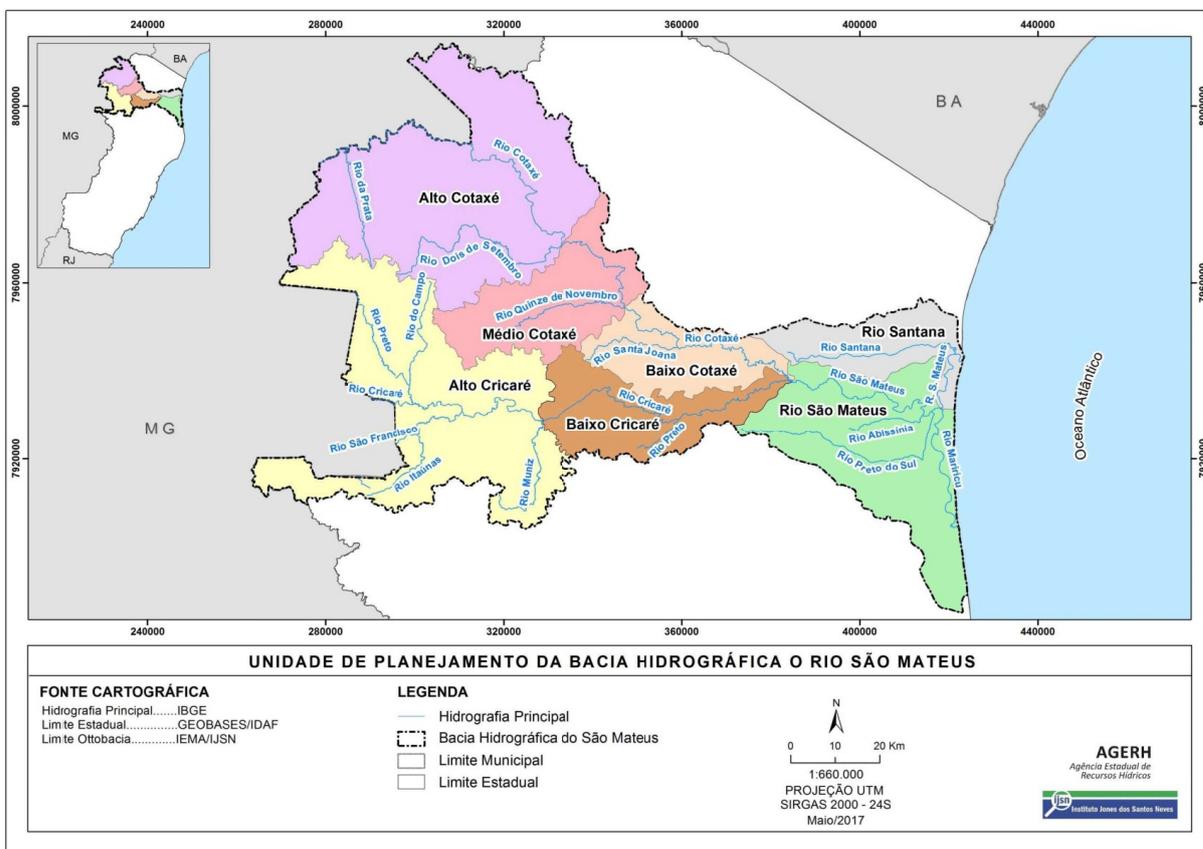
Quadro 04: Unidades de Planejamento da Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus e suas respectivas áreas.

Unidade de Planejamento	Área (km ²)
Alto Cotaxé	2246,7
Médio Cotaxé	811,2
Baixo Cotaxé	597,7
Alto Cricaré	1964,1
Baixo Cricaré	735,8
Rio Santana	526,1
Rio São Mateus	1355,6

Fonte: Adaptado de AGERH (2018).

Na Figura 06, observa-se a distribuição geográfica dessas UP ao longo da BHRSM. Percebe-se que o distrito de Guriri localiza-se nas UP Rio São Mateus, ao sul, e Rio Santana, ao norte (AGERH, 2018).

Figura 06: Unidades de planejamento dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus.



Fonte: AGERH (2018).

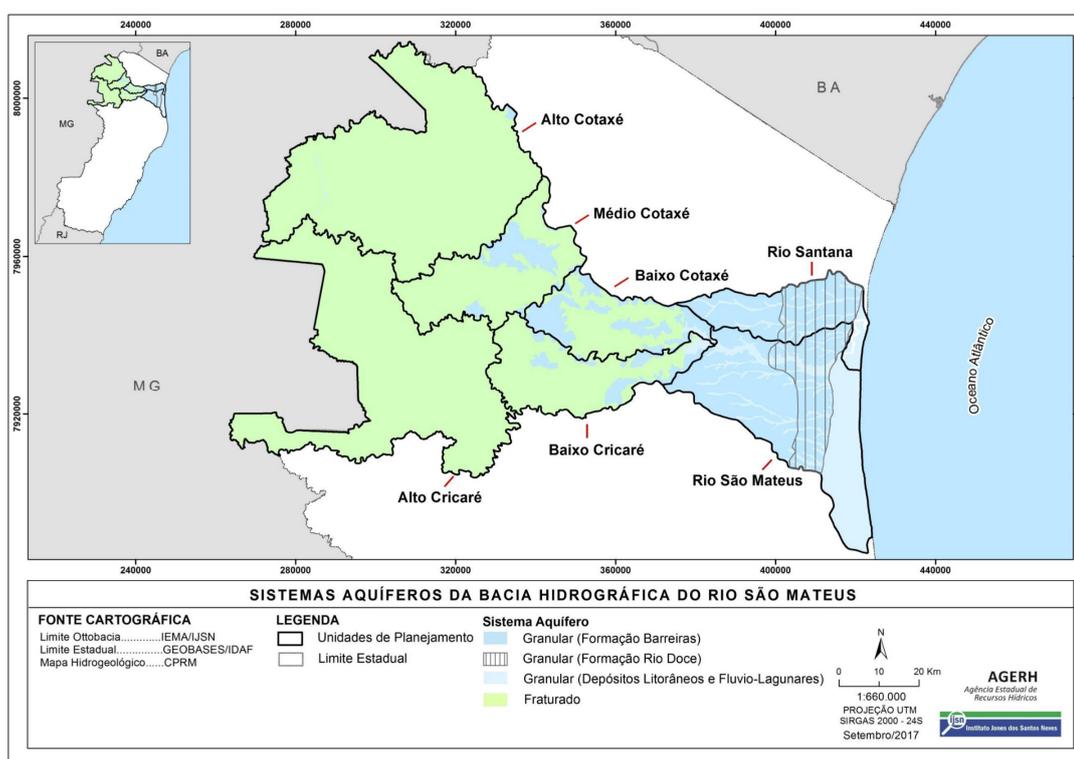
Ao que tange o uso do solo na bacia, o Diagnóstico e Prognóstico das Condições de Uso da Água da Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus da AGERH (2018) diz que o uso antropizado nas Áreas de Proteção Permanente (APP) dentro da BHRSM corresponde a 865,77 km², enquanto o sistema natural corresponde a 376,40 km². Dentro do uso antropizado, o maior destaque é para o uso de pastagens, o qual corresponde a 749,11 km² da área total das APPs. Neste cenário, as pastagens possuem maior representatividade nas regiões montantes dos rios Cotaxé e Cricaré, ou seja, nas UP do Alto Cotaxé e do Alto Cricaré, correspondendo às áreas de 323,29 km² e 211,60km², respectivamente.

Em adição à essas informações, de acordo com um estudo realizado pela CEDAGRO no ano de 2012, na bacia havia uma área degradada de 642,5 km² (7,8%), levando em consideração as pastagens, cultivos de café e silvicultura (CEDAGRO, 2012).

4.3.1. Águas subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus

Por volta de 30% de todo o território da BHRSM é composto por aquíferos granulares, totalizando uma área de 2.437km² (AGERH, 2008). A Figura 07 apresenta os sistemas aquíferos que compõem a bacia.

Figura 07: Sistemas aquíferos na Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus.



Fonte: AGERH (2018).

O Quadro 05 expõe a ocorrência dos sistemas aquíferos aflorantes em cada Unidade de Planejamento da BHRSM.

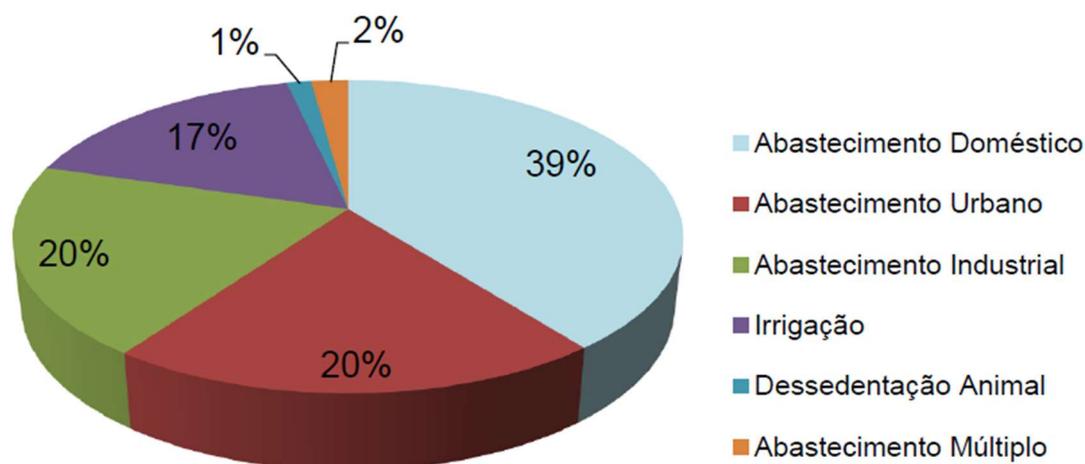
Quadro 05: Ocorrência dos sistemas aquíferos aflorantes nas Unidade de Planejamento da Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus

Sistema Aquífero Aflorante		Distribuição percentual nas unidades de planejamento						Rio São Mateus
		Alto Cotaxé	Médio Cotaxé	Baixo Cotaxé	Alto Cricaré	Baixo Cricaré	Rio Santana	
Granular	Depósito Terciário	1	19	41	-	16	80	59
	Depósito Quaternário	-	-	2	-	2	20	41
Fraturado	Rochas Cristalinas e Metassedimentos / Metavulcânicos	99	81	57	100	82	-	-

Fonte: AGERH (2018).

O uso das águas subterrâneas no norte do estado tem assumido um importante papel para o abastecimento de pequenas localidades e comunidades rurais, bem como contribui relevantemente para o abastecimento público em Conceição da Barra, no distrito da Vila de Itaúnas, em São Mateus e no distrito de Guriri (MOURÃO et al., 2002). A Figura 08 dispõe da distribuição dos usos das águas subterrâneas captadas.

Figura 08: Distribuição percentual das captações de água subterrânea classificadas por tipo de uso.



Fonte: AGERH (2018).

Entretanto, em disparidade à aparente solução para as crises hídricas constantes que assolaram o norte do Espírito Santo nos últimos anos, o aumento do uso das águas subterrâneas não foi realizado concomitantemente a um sistema de gestão integrada dos recursos hídricos que garantisse a manutenção dos aspectos qualitativos e quantitativos destes (MOURÃO et al., 2002). A salinização das águas superficiais no norte do Espírito Santo já é uma realidade, principalmente nos municípios de Conceição da Barra e São Mateus, o que levou a muitos usuários a realizarem captações subterrâneas indiscriminadamente, potencializando a intrusão salina e comprometendo a qualidade da água do aquífero (AGERH, 2018).

4.3.2. Qualidade das águas quanto à salinidade

Sabe-se que o processo de salinização das águas subterrâneas e superficiais, principalmente nos períodos secos, tem assolado a região costeira da BHRSM (AGERH, 2018). No ano de 2015, a salinidade do Rio Mariricu, em Guriri, atingiu 10.000 ppm e no Rio Cricaré 1.488 ppm, quando o máximo permitido pela Organização Mundial de Saúde (OMS) é de 250 ppm (SÃO MATEUS, 2015). Essa situação agrava-se pelo fato de que na UP Rio São Mateus não existe tratamento de água avançado para remover a salinidade e, mais precisamente na ETA de Guriri – Mariricu, a qual trata 6.912,00 m³/dia de água, o tratamento é do tipo convencional (AGERH, 2018). Em poços perfurados nas localidades de Barra Nova e Barra Nova Sul, as águas dos mesmos apresentaram índices elevados de cloreto de sódio e ferro total, tornando-se imprópria para o consumo humano (SÃO MATEUS, 2018).

4.4. DESERTIFICAÇÃO

O primeiro registro da utilização do vocábulo desertificação data do ano de 1927, pelo pesquisador francês Louis Lavauden, popularizando-se na década de 1940 após uma década de experiências ruins em relação à degradação da terra na Grande Planície Americana (MATALLO JÚNIOR, 2009). A discussão acerca da existência de processos de desertificação no Brasil intensificou-se a partir do ano de 1977, por meio da obra do professor Vasconcelos Sobrinho (RODRIGUES, 1992 *apud* SOARES, FILHO e NÓBREGA, 2011).

Sendo um processo de causas antrópicas e naturais, as consequências decorrentes da desertificação e da degradação das terras são dramáticas e possuem altos custos econômicos, sociais e ambientais (BRASIL, 2007).

4.4.1. O conceito de desertificação

Durante muito tempo, associou-se desertificação ao processo de formação de desertos (SOARES, FILHO e NÓBREGA, 2011). De acordo com FEARNSTIDE (1979), a desertificação diz respeito à transformação de áreas não desérticas em desérticas devido às mudanças climatológicas e ecológicas. Porém, deve-se salientar que a palavra “deserto” pode assumir diversos significados, como por exemplo: áreas cujo precipitação anual médias é inferior a um determinado valor; um tipo de vegetação; uma região estéril do ponto de vista dos interesses humanos. Essa variedade de interpretações justificaria, segundo o autor, parte da confusão que, por vezes, acompanha as discussões sobre desertificação.

Entretanto, há uma discussão sobre as diferenças entre desertização (formação de desertos) e desertificação, na qual MATALLO JÚNIOR (2009) afirma que os conceitos são totalmente distintos. Segundo o autor, enquanto os desertos resultam da evolução climática, a desertificação é o produto final do manejo inapropriado dos recursos naturais das zonas áridas.

O conceito de desertificação nos indica um processo e, logo, dinamismo, sendo associado a longos períodos de seca. Desse modo, entende-se a desertificação como um conjunto de fenômenos os quais levam uma região a transformarem-se em desertos ou a se assemelharem a eles, podendo resultar de mudanças climáticas desencadeadas por causas naturais ou pressão das atividades humanas sobre ecossistemas frágeis, sendo as periferias dos desertos as áreas de maior risco de degradação (CONTI, 2008).

O processo de desertificação ocorre por etapas progressivas, as quais são: redução da cobertura vegetal, degradação ambiental, deterioração da agricultura, declínio econômico e complicações sociais. (SAMPAIO, ARAÚJO e SAMPAIO, 2005 *apud* MATTALO JUNIOR, 2001).

4.4.2. As causas da desertificação

Diversas podem ser as causas, ou combinações delas, que resultam na formação de desertos, tanto controladas quanto não controladas pelo homem (FEARNSTIDE, 1979). Nos dias atuais, a desertificação é constantemente induzida pelo ser humano, inclusive em locais cujo clima não é desértico, por meio do uso inadequado do espaço físico (SOARES, FILHO e NÓBREGA, 2011).

Conforme é apresentado por SOARES, FILHO e NÓBREGA (2011) *apud* RODRIGUES (1987), devemos compreender a desertificação como um fenômeno integrador de processos sociais, econômicos e naturais e/ou induzidos, os quais destroem o equilíbrio do solo, da água, da vegetação, do ar e da qualidade de vida da espécie humana. Dentre as causas mais comuns da ocorrência do fenômeno em questão, os autores destacam as atividades humanas de desmatamento, mineração, irrigação, cultivo excessivo e sobrepastoreio, além da superpopulação e do sistema de propriedade da terra.

Não obstante, há também regiões no planeta que, por conta da circulação global de ar, possuem maior predisposição ao surgimento de condições desérticas. Isso se dá devido às massas de ar que são aquecidas na região equatorial, as quais rumam aos polos em grandes altitudes e, devido ao movimento de rotação da Terra, descem mais ou menos na latitude 30°. Porém, quando este ar seco desce, a pressão atmosférica o reaquece, ocasionando absorção de água. Isso justifica o fato de boa parte dos desertos do mundo estarem nesta faixa de latitude, como o deserto do Saara no hemisfério norte e as áreas secas da Argentina, no hemisfério sul (FEARNSIDE, 1979).

4.4.3. A desertificação no norte do Espírito Santo

O Brasil é signatário da Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD) desde 1997, o qual estabelece a desertificação como a degradação da terra em regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas. Em dezembro de 2004, foi elaborado o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAN-Brasil), o qual é um dos compromissos básicos dos Países Partes do tratado e onde delimitou-se as Áreas Susceptíveis à Desertificação do Brasil (ASD) (BRASIL, 2007).

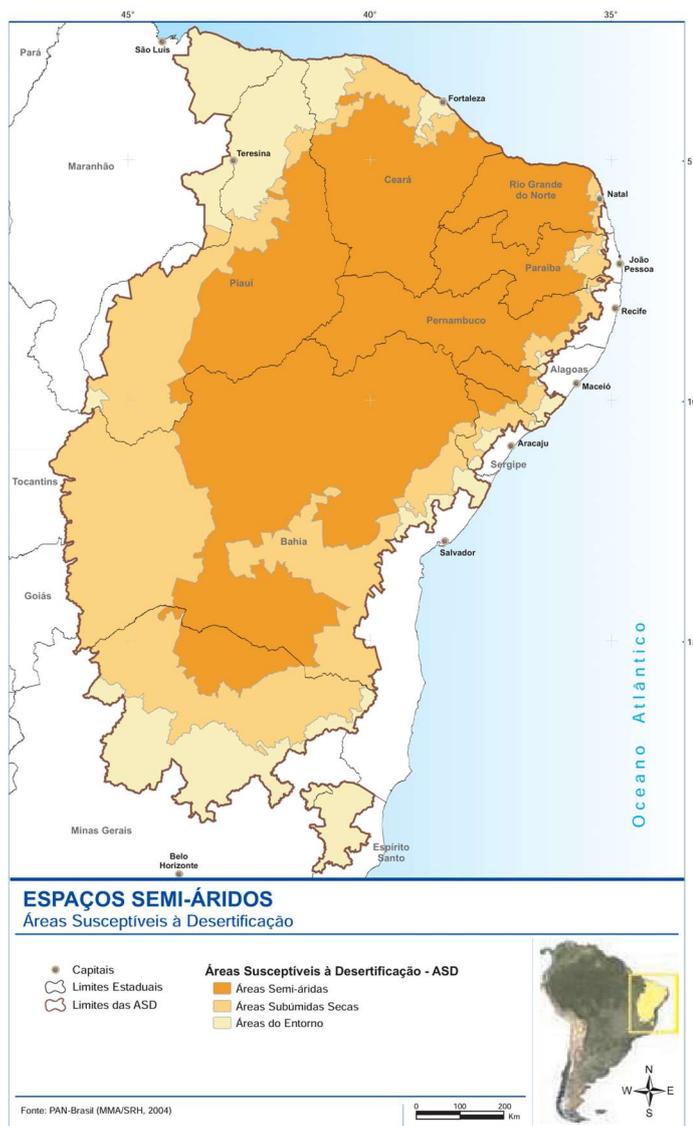
As ASD compreendem 1.340.863 km², englobando 1.488 municípios dos nove Estados do Nordeste, além de alguns municípios setentrionais no norte de Minas Gerais e Espírito Santo (PEREZ-MARIN *et al.*, 2012).

A determinação das ASD foi realizada a partir dos pressupostos norteadores da UNCCD, que propõem a adoção do índice de aridez (IA), o qual é calculado através da razão entre a precipitação pluviométrica e a evapotranspiração. Desse modo, o Brasil possuía apenas regiões semiáridas e subúmidas secas, cujo IA encontra-se entre 0,20 e 0,65. Entretanto, adotou-se a categoria de Áreas de Entorno às ASD, por

conta de apresentarem características comuns às regiões de clima semiárido e subúmido seca, apesar de não se enquadrarem no padrão climático considerado como susceptível à desertificação (BRASIL, 2007).

Segundo BARRETO-NETO e MARCHESI (2019) *apud* FSOSMA & INPE (2011), um acelerado processo de desmatamento foi observado no estado do Espírito Santo nas últimas décadas, restando apenas 12% de Mata Atlântica dispersos em pequenos fragmentos. No ano base de 2010, 8,54% das terras capixabas estavam degradadas, onde 16,65% eram de áreas agrícolas degradadas, as quais devido as atividades de pastagens e cultura cafeeira (BARRETO-NETO e MARCHESI, 2019 *apud* CEDAGRO, 2012). A Figura 09 esquematiza as ASD brasileiras.

Figura 09: Áreas susceptíveis à desertificação.



Fonte: BRASIL, 2007.

4.5. DESSALINIZAÇÃO

Denomina-se dessalinização como o processo de remoção dos sais dissolvidos na água, de forma a produzir água doce a partir da água do mar ou da água salobra. O processo de dessalinização já é utilizado pela humanidade há séculos, sendo que uma de suas primeiras referências foi feita por Aristóteles por volta do ano 320 AC, onde ele discorreu sobre destilação da água do mar (HENTHORNE, 2009).

A dessalinização é uma forma de tratamento de água que está em forte expansão e com um promissor futuro no mundo. Isso ocorre por conta da necessidade constante de se encontrar fontes alternativas de água devido à escassez e poluição da água doce, bem como ao avanço das tecnologias de dessalinização (GUERREIRO, 2009). Alguns países possuem grande dependência do processo de dessalinização para obtenção de água potável, como os Emirados Árabes, Kuwait e Arábia Saudita, localizados no Oriente Médio. Mesmo em países os quais não possuem problemas com escassez de água, futuramente estes poderão deparar-se com problemas relacionados à tal recurso natural (TORRI, 2015).

4.5.1. Definição e composição da água salgada e salobra

A classificação das águas doces, salobras e salinas, segundo Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº. 357 de 17 de março de 2005, ocorre em função dos limites percentuais de salinidade, sendo essencial para à defesa de seus níveis de qualidade. O Quadro 06 apresenta esta classificação.

Quadro 06: Classificação das águas doces, salobras e salinas.

Classificação	Percentual de salinidade
Águas doces	Igual ou inferior a 0,5%
Águas salobras	Entre 0,5% e 30%
Águas salinas	Igual ou superior a 30%

Fonte: Adaptado de CONAMA (2005).

A salinidade é a concentração total dos íons dissolvidos e, desse modo, quanto maior for a salinidade da água, maior a quantidade de sólidos dissolvidos e, conseqüentemente, maior sua condutividade elétrica, visto que os íons são partículas eletricamente carregadas (LOGAN, 1965 *apud* OLIVEIRA, 2005).

No Quadro 07, é apresentada a palatabilidade da água em função de diferentes concentrações de sólidos dissolvidos.

Quadro 07: Palatabilidade da água em função da concentração de sólidos totais dissolvidos.

Palatabilidade	Sólidos Dissolvidos (mg/L)
Excelente	Menos que 300
Boa	Entre 300 e 600
Razoável	Entre 600 e 900
Pobre	Entre 900 e 1.200
Inaceitável	Maior que 1.200

Fonte: Adaptado de FOUNDATION FOR WATER RESEARCH, (2011).

O grau de salinidade das águas interfere em várias propriedades químicas, podendo atuar tanto indiretamente, quanto diretamente, no metabolismo dos vegetais e dos animais que consomem este recurso (LOGAN, 1965 *apud* OLIVEIRA, 2005).

4.5.2. Panorama da dessalinização no Brasil

No decorrer dos últimos anos, foram instalados diversos dessalinizadores por osmose reversa no Brasil, principalmente na Região Nordeste, a qual enfrentou, e vem enfrentando, profundas mazelas socioeconômicas oriundas da escassez de água (SOARES *et al.*, 2006). No semiárido nordestino brasileiro, encontra-se comumente águas salobras nos poços, a qual é imprópria para o consumo por conta do seu grau de salinidade. De forma a contornar este problema, o Ministério do Meio Ambiente criou o Programa Água Doce, que, através da dessalinização, aproveitou a água salobra dos poços para transformá-la em potável (TORRI, 2015). As ações desse programa são financiadas pelo próprio Ministério do Meio Ambiente (MMA), bem como por meio de parcerias firmadas com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Petrobras, Fundação Banco do Brasil, Agência Nacional de Águas (ANA), entre outros (BRASIL, 2012).

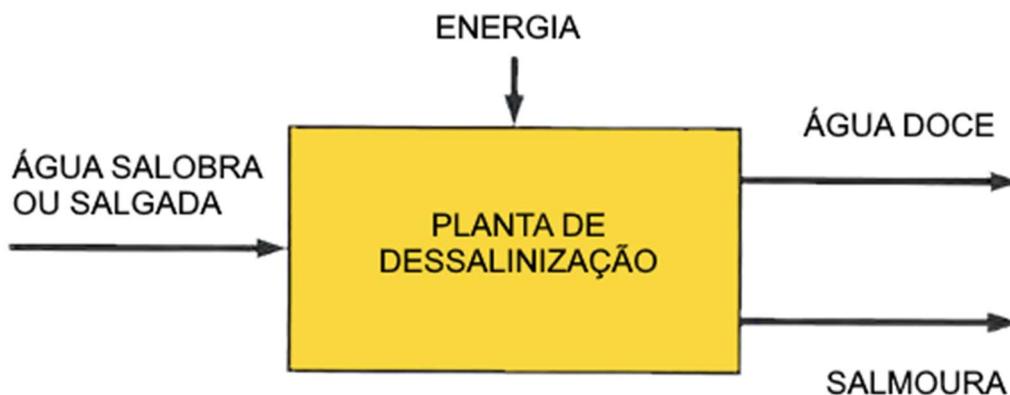
Predominantemente, a osmose reversa tem sido o método mais usado para a dessalinização no Nordeste, muito por conta da robustez e simplicidade do equipamento, dos baixos custos de implantação e operação, da alta taxa de recuperação e da excelente qualidade da água tratada (SOARES *et al.*, 2006).

Atualmente, a maior usina de dessalinização do Brasil encontra-se no arquipélago de Fernando de Noronha, possuindo capacidade de produção de 18m³/h. Entretanto, está aprovada a construção de uma usina dessalinizadora no Ceará para diversificar a matriz hídrica da Região Metropolitana de Fortaleza (NUNES, 2021). A usina produzirá 1m³/s de água potável, incrementando a oferta de água da região em 12% e beneficiando 720 mil pessoas diretamente (FALCÃO, 2021).

4.5.3. Processos e métodos de dessalinização

Em todos os processos de dessalinização são utilizadas tecnologias da indústria química, onde uma corrente salina é alimentada no início do processo com uma fonte de energia na forma de pressão, eletricidade ou calor, resultando em uma corrente de água dessalinizada e outra corrente com alta concentração de sais (TORRI, 2015). A Figura 10 esquematiza o processo.

Figura 10: Esquema simplificado do processo de dessalinização.



Fonte: Adaptado de FOUNDATION FOR WATER RESEARCH, (2011).

De acordo com YOUNOS e TOLOU (2005), os processos de dessalinização podem ser térmicos, como a destilação multiestágios, destilação multiefeitos, destilação por compressão de vapor e destilação solar, ou podem ser por membranas, como a nanofiltração, osmose reversa, eletrodialise e eletrodialise reversa.

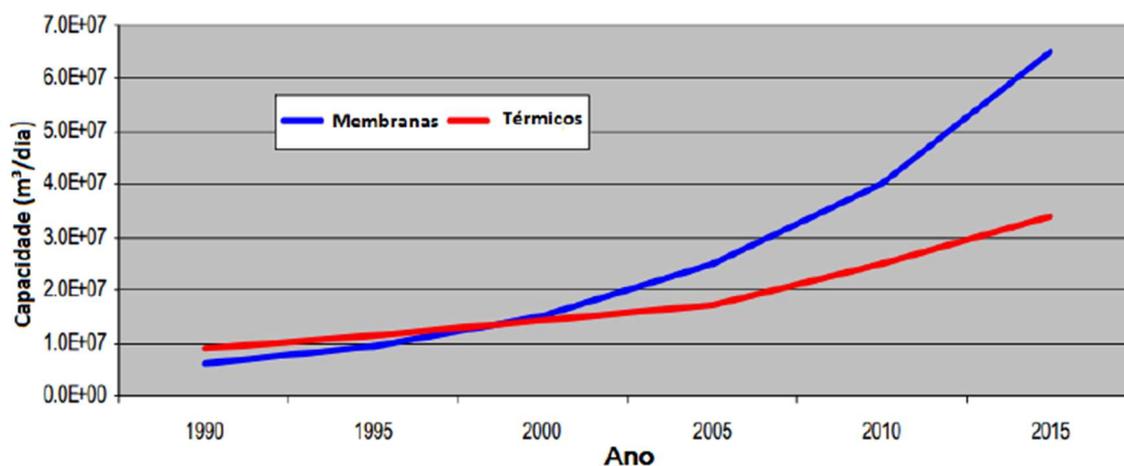
Para escolher-se a tecnologia em uma planta de dessalinização, deve-se levar em conta a qualidade da fonte d'água, a demanda de energia, frequência de uso da

unidade, volume produzido, entre outros. Porém, a qualidade da fonte d'água a ser dessalinizada é o fator crítico na escolha do processo (TORRI, 2015).

A tecnologia de membranas para dessalinização tornou-se comercialmente viável a partir dos anos 80 do século XX, época na qual a dessalinização térmica era predominante, principalmente no Oriente Médio. Atualmente, a tecnologia preponderante de dessalinização é a realizada por membranas de osmose reversa, correspondendo a 58% da capacidade instalada (HENTHORNE, 2009).

A Figura 11 apresenta a evolução da capacidade instalada de processos térmicos de dessalinização e processos com membranas.

Figura 11: Evolução histórica comparativa da capacidade instalada de processos térmicos de dessalinização e processos por membranas.



Fonte: GWI (2015) *apud* TORRI (2015).

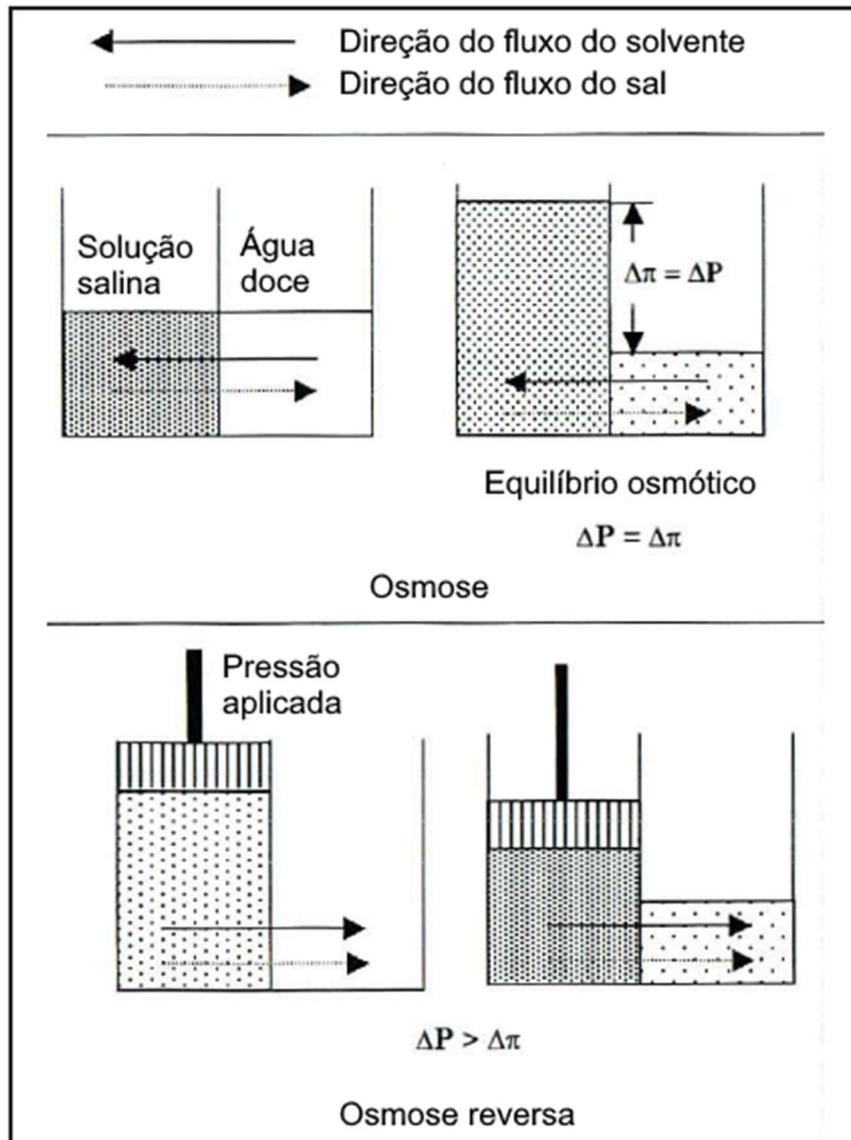
Os processos com membranas ganharam espaço a partir do ano 2000, por conta de seu baixo custo em processos de grande escala e de sua simplicidade (TORRI, 2015). Desse modo, no presente trabalho optou-se pelo aprofundamento no processo de osmose reversa por meio de membranas semipermeáveis.

4.5.3.1. Dessalinização por osmose reversa

Entende-se por osmose o processo no qual a água passa por meio de uma membrana semipermeável, fluindo de uma solução de baixa concentração para uma de alta concentração. Entretanto, caso uma pressão seja aplicada no lado que possui maior concentração, ocorre o processo inverso, isto é, a água difunde-se através da membrana semipermeável da solução de alta concentração em direção à de baixa

concentração. Denomina-se este fenômeno como osmose reversa (FOUNDATION FOR WATER RESEARCH, 2011). A Figura 12 esquematiza este processo.

Figura 12: Princípio da osmose reversa.



Fonte: Adaptado de YOUNOS e TOLOU (2005).

A movimentação da água pura em direção à solução de maior concentração se dá devido à movimentação dos íons em direção à solução com maior diluição, denominando-se este fenômeno como difusão (SOARES *et al.*, 2006). Levando em consideração o potencial da água, dado pela Equação 01, e mantendo-se constantes os demais componentes, exceto o potencial osmótico, a água tende a se difundir do local com maior potencial osmótico para o menor potencial osmótico (SOARES *et al.*, 2006).

$$\Phi T = \Phi g + \Phi P + \Phi m + \Phi os$$

(Equação 01)

Onde:

ΦT : Potencial total;

Φg : Potencial gravitacional;

ΦP : Potencial de pressão;

Φm : Potencial mátrico;

Φos : Potencial osmótico.

Para evitar a osmose, aplica-se uma determinada pressão (chamada de pressão osmótica), a qual pode ser quantificada pela diferença do nível de duas soluções após estas atingirem o equilíbrio (JUAN, 2000). Aplicando-se uma pressão superior à pressão osmótica, atinge-se a osmose reversa (SOARES *et al.*, 2006). Segundo JUAN (2000), a fonte de energia para vencer o potencial osmótico da cunha salina e a qualidade da membrana semipermeável são os dois principais aspectos a serem levados em conta na osmose reversa.

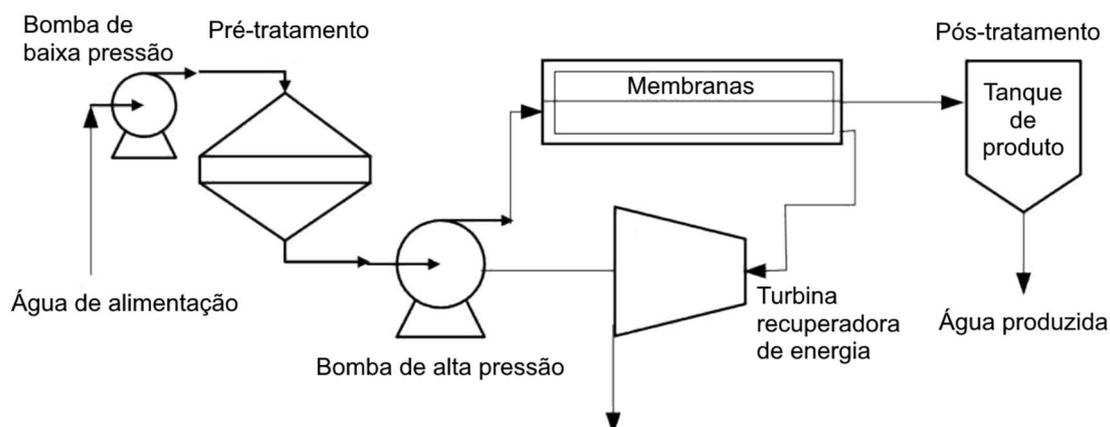
A osmose reversa é um processo que pode ser aplicada tanto na dessalinização da água do mar, quanto na água salobra (YOUNOS e TOLOU, 2005). É possível aumentar a eficiência da dessalinização através de membranas mais eficientes e de diferentes estruturas de produção, ou seja, organizando-se as membranas em série e/ou paralelo (JUAN, 2000).

4.5.4. Componentes constituintes de uma planta de dessalinização por osmose reversa

De acordo com GUERREIRO (2009), os quatro maiores componentes de uma planta de osmose reversa são: pré-tratamento da água de alimentação, bomba de alta pressão, membrana e pós-tratamento do permeado.

A Figura 13 esquematiza os componentes de uma planta de dessalinização por osmose reversa.

Figura 13: Diagrama simplificado de uma planta de dessalinização da água do mar ou salobra por osmose reversa.



Fonte: Adaptado de GUERREIRO (2009).

4.5.4.1. Pré-tratamento

Operações que envolvem membranas requerem medidas de pré-tratamento da água de alimentação do processo. Sendo assim, o pré-tratamento é a primeira etapa de controle de incrustações nas membranas: pode ser simples quando não envolve nenhuma adição química, envolvendo apenas microfiltração; ou pode ser complexo, quando a água é tratada, incluindo ajuste do pH, cloração, sedimentação, adição de coagulantes, absorção de carvão ativado, clareamento, adição de complexantes, filtração e avaliação final (TAYLOR e JACOBS, 1996).

Esta etapa é essencial para garantir que o processo de dessalinização tenha o máximo desempenho, ou seja, produza o máximo volume de água tratada e assegure a maior durabilidade dos materiais (GUERREIRO, 2009).

Quase todos os processos de dessalinização requerem algum tipo de pré-tratamento (GUERREIRO, 2009). O projeto ideal de pré-tratamento dependerá da fonte de água composição e aplicação. (BRASIL, 2012).

Desse modo, a etapa de pré-tratamento é uma das etapas mais importantes na dessalinização por osmose reversa, uma vez que a água bruta possui muitos sólidos suspensos e, como essa água passará pelas membranas que possuem poros microscópicos, faz-se necessário a remoção do máximo de partículas que possam prejudicar o processo (GUERREIRO, 2009).

4.5.4.2. Bombas de alta pressão

Para ocorrer a osmose reversa, a pressão aplicada deve superar a pressão osmótica da solução para separar os sais da água e, em um processo de grande escala, este fenômeno ocorre com o auxílio de uma bomba de alta pressão, responsável por exercer pressão da água de alimentação sobre a membrana (BRASIL, 2012).

A pressão que deve ser exercida na água salgada está relacionada diretamente com a concentração de sólidos totais dissolvidos nesta água. Enquanto que, para água salgada, a pressão necessária deve ser superior a 8,27MPa, para água salobra a pressão necessária encontra-se entre 0,97 e 8,27MPa (YOUNOS e TOLOU, 2005).

A maior parcela de custo na dessalinização por osmose reversa está atrelada ao consumo de energia, o qual pode representar entre 30% e 50% dos custos de operação. A maior parte da energia requerida no sistema é consumida no processo de osmose reversa em si, basicamente pela bomba de alta pressão. Nesta etapa, é consumida de 66% a 70% de toda energia da planta de dessalinização (BURN *et al.*, 2015).

4.5.4.3. Membranas

Dentro de uma planta de dessalinização por osmose reversa, o elemento principal são as membranas (TORRI, 2015). Estas podem ser definidas como uma barreira de separação entre duas fases e que restringe, parcialmente ou totalmente, o transporte de um ou vários produtos químicos (MULDER, 1991).

Geralmente, estas membranas são constituídas de camadas finas de polímeros semipermeáveis presas a um revestimento rígido, podendo ser simétricas, assimétricas e compósito (GUERREIRO, 2009).

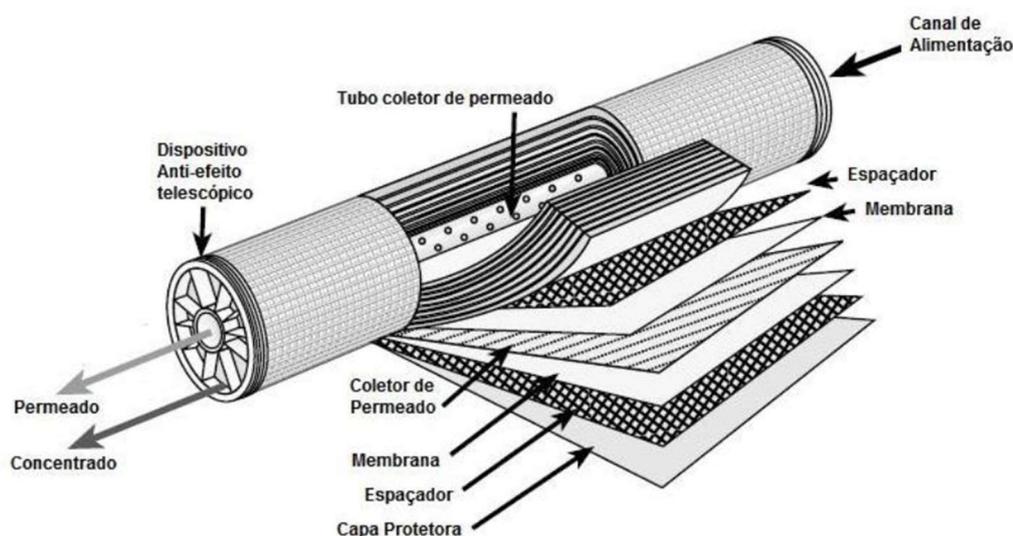
As membranas também podem ser combinadas em módulos, sendo estes os elementos básicos de um sistema de membranas, os quais reúnem todas as estruturas que são necessárias para possibilitar sua operação (BRASIL, 2012). De acordo com SCHNEIDER e TSUTIYA (2001), os módulos podem conter como elementos as membranas e estrutura de suporte da pressão e os canais de alimentação e remoção do permeado e do concentrado. Ainda de acordo com os autores, os módulos são projetados para limitar o acúmulo de material retido pela membrana, maximizar a superfície da membrana por volume de módulo e evitar que o permeado se contamine com o material concentrado. Além disso, o projeto dos

módulos deve ser simples para o manuseio, deve permitir uma eficiente limpeza da membrana e o mínimo volume retido no interior do módulo.

Os dois módulos de maior sucesso comercial são as membranas em espiral e membranas de fibra oca, feitas, na maioria dos casos, de tricetato de celulose e poliamidas (KHAWAJI, 2008).

O módulo espiral é o mais empregado em plantas que demandam pressões de escala alta ou intermediário, onde cada elemento é formado por um pacote de membranas e espaçadores enrolados entorno de um tubo central coletor de permeado (BRASIL, 2012). A Figura 14 esquematiza uma membrana em forma de espiral.

Figura 14: Membrana em forma de espiral.



Fonte: COSTA (2016).

O módulo é a unidade básica de filtração, sendo que o princípio da modularidade é seguido na construção de plantas que possuem vazões grandes (BRASIL, 2012). Os elementos de membranas podem ser combinados em série dentro dos vasos de pressão. Estes podem ser combinados em paralelo para formar arranjos, o quais, por sua vez, podem ser dispostos em série afim de formar arranjos (COSTA, 2016). A Figura 15 representa estas unidades básicas.

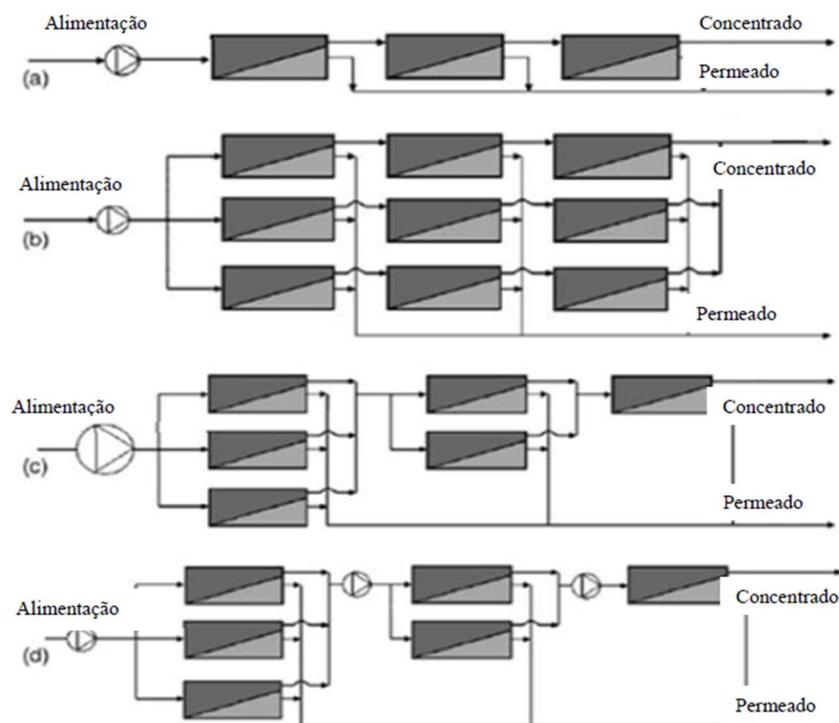
Figura 15: Unidades básicas integrantes de um sistema de osmose reversa.



Fonte: COSTA (2016).

Três configurações principais de arranjo são possíveis para osmose reversa, sendo estes dependentes do tamanho da planta (SHWINGE *et al.*, 2004 *apud* COSTA, 2016). A Figura 16 mostra estes três principais arranjos de osmose reversa.

Figura 16: Diferentes arranjos de sistemas de osmose reversa: (a) arranjo em série, (b) arranjo em paralelo, (c) arranjo cônico e (d) arranjo cônico com bombas entre os estágios.



Fonte: MACINTOSH (2002) *apud* COSTA (2016).

O arranjo (a) é feito ao conectar-se diversos vasos de pressão em série, porém é limitada pelo fato de que a pressão fornecida pela bomba é progressivamente menor em cada vaso subsequente devido à perda de carga nos canais de alimentação, o que ocasiona redução da taxa de transferência de massa e, conseqüentemente, a formação de incrustações (FAZILET, 2000 *apud* COSTA, 2016).

Já o arranjo (b) é formado por vasos de pressão em paralelo, o que aumenta a capacidade de acomodação de elementos, porém reduz o comprimento total dos vasos de pressão (COSTA, 2016).

Por outro lado, o arranjo (c) é consistido pela forma cônica, onde reduz-se significativamente o fluxo de alimentação ao longo dos vasos de pressão devido à permeação. Este arranjo é chamado de cônico ou árvore de natal e é a melhor opção de projeto, pois possibilita uma redução proporcional da área transversal no decorrer do comprimento do vaso de pressão em relação à redução da taxa de fluxo, apesar de requerer altas pressões antes do primeiro estágio (COSTA, 2016).

Por fim, o arranjo (d) é um caso especial do arranjo cônico, diferenciando-se pela presença de bombas interestágios para aumentar a pressão e melhorar a transferência de massa, uma vez que o aumento da concentração também pode reduzir a pressão a níveis muito baixos (SHWINGE *et al.*, 2004 *apud* COSTA, 2016).

4.5.4.4. Pós-tratamento

Nesta fase realiza-se a estabilização e preparação da água para a sua correta distribuição. Nela é incluído o ajuste de pH, a desinfecção usando hipoclorito de cálcio ou gás cloro e a remoção de gases dissolvidos que podem ter ultrapassado a membrana, como o ácido sulfídrico (H₂S) e o dióxido de carbono (CO₂) (GUERREIRO, 2009).

4.5.5. Utilização da osmose reversa em tratamento de água e potabilidade de água

A seguir são apresentados exemplos de unidades de dessalinização por osmose reversa que se encontram em operação atualmente no planeta.

4.5.5.1. Brasil: Fernando de Noronha

O arquipélago de Fernando de Noronha é considerado um dos pontos turísticos mais belos do Brasil, possuindo uma população de, aproximadamente 4 mil habitantes e recebendo por volta de 500 turistas por mês (BEZERRA, 2018).

O período de funcionamento do sistema de dessalinização varia de 10 a 14 horas por dia, sendo a principal limitação a oscilação da maré, porque ele somente consegue operar na maré alta (TAVARES, 2015). Para o processo da dessalinização, a água de alimentação é transportada por uma distância de 340m através de uma tubulação de PVC com diâmetro de 100mm, sendo armazenada em um tanque, de onde segue para um sistema de pré-tratamento, por um filtro de areia e filtro de cartucho para então ser submetida a um aumento de pressão através de uma bomba de alta pressão para que ocorra o processo de dessalinização por osmose reversa. De toda a água do mar que entra no processo, 60% é retida na membrana e reenviada ao mar (TORRI, 2015).

Figura 17: Adutora de PVC do sistema de captação da água do mar na praia de Boldró, em Fernando de Noronha.



Fonte: Adaptado de TORRI (2015).

A demanda de água potável do arquipélago é de 58m³/h (TORRI, 2015). Atualmente a capacidade instalada é de, aproximadamente, 48 m³/h e já possui um projeto finalizado para aumento da capacidade para 72m³/h, encerrando, assim, o rodízio de dias sem água ao mesmo tempo que o consumo de energia reduzirá (COMPESA, 2021).

4.5.5.2. Espanha: Torrevieja

Na Europa, a Espanha é um dos países que mais se dedica à agricultura, a qual consome 80% da água do país. Desse modo, o governo espanhol possui o programa de dessalinização nacional, fornecendo água para a população e garantindo o fornecimento de água dessalinização para irrigação de 250 mil hectares de plantações (MAÑUECO, 2015).

A maior planta de dessalinização do país foi instalada em 2010 localiza-se em Torrevieja. É uma planta baseada em osmose reversa com capacidade de produção de 240.000 m³ de água potável por dia, abastecendo 400.000 habitantes da região e irrigando uma área de 8.000 hectares de plantações (CALA, 2021).

Figura 18: Vista aérea da planta de dessalinização de Torevieja, Espanha.



Fonte: CALA (2021).

4.5.5.3. Austrália: Sydney

Dentre as grandes usinas de dessalinização de água do mar, temos as instalações de Sydney e Gold Coast, as quais fornecem água para os centros urbanos de Sydney, Gold Coast e Brisbane. A usina de Sydney entrou em operação em 2010 e utiliza osmose reversa, possui capacidade de abastecimento de 266 mil m³ por dia, o que corresponde a 15% do consumo total da cidade. Já a usina de Gold Coast possui capacidade de abastecimento de 133 mil m³/dia, fornecendo água potável para Gold Coast e, nos períodos de seca, para cidade de Brisbane (JONES *et al.*, 2015 *apud* BEZERRA, 2018).

Figura 19: Vista aérea da planta de dessalinização de Sydney, Austrália.



Fonte: JONES *et al.* (2015) *apud* BEZERRA (2018).

4.5.6. Rejeitos do processo de dessalinização

O sistema de osmose reversa sempre produzirá água de alta qualidade e água residuária, a qual pode ser concentrado, salmoura ou rejeito (SOARES *et al.*, 2006). Dependendo do equipamento e da qualidade da água, a quantidade de rejeito produzido poderá ser da ordem de 40% a 60% do total de água salobra que alimenta o sistema (PORTO *et al.*, 2001). A água residuária possui um grande poder poluente por ser altamente salina e, desse modo, deve-se buscar a melhor destinação,

principalmente porque o solo e os cursos d'água tornam-se as alternativas mais atraentes para sua disposição (SOARES *et al.*, 2006).

Nos países desenvolvidos, em geral, este rejeito é transportado para oceanos ou injetados em poços com profundidades grandes; porém, estudos para outras alternativas estão em andamento, como bacias de evaporação, redução de volume do rejeito por plantas aquáticas, bacias de percolação e irrigação de plantas halófitas (PORTO *et al.*, 2001).

Para escolher-se a melhor opção de disposição do rejeito da dessalinização, deve-se atentar-se às disponibilidades locais, como a terra, distância e compatibilidade do corpo hídrico receptor, às disponibilidades regionais, como geologia, leis estaduais, geografia e clima, ao volume de concentrado, custos, opinião pública e permissibilidade. O sistema mais utilizado para destinação do rejeito é a emissão em águas superficiais, sendo usual para todos os tamanhos de planta, podendo haver necessidade de diluição para compatibilidade com as águas receptoras. (MICKLEY, 2004 *apud* SOARES *et al.*, 2006). Apesar deste sistema possuir custos relativamente baixos, é importante se atentar para o impacto sobre a vida aquática, nos rios e mares receptores (SOARES *et al.*, 2006).

Dentre as grandes plantas de dessalinização instaladas ao redor do globo, a principal destinação é seu retorno ao oceano. Tal alternativa seria a ideal, uma vez que os mares possuem alto poder de diluição, porém é conveniente considerar-se a fragilidade de cada sistema (HOEPNER e LATTEMANN, 2002). Não somente a alta concentração do rejeito ocasionará prejuízos aos ecossistemas marinhos, mas também a presença de compostos químicos que podem vir a ser utilizados no pré-tratamento da água. Sendo assim, além do impacto na vida marinha, os danos ambientais das plantas de dessalinização por osmose reversa são: prejuízo ao uso do solo do litoral, pois as plantas podem ocupar as praias; poluição decorrente do aumento do uso da energia; poluição dos aquíferos, em caso de vazamentos; e poluição sonora (EINAV e LOKIEC, 2003 *apud* SOARES *et al.*, 2006).

A destinação em redes de esgoto é outra alternativa, sendo a segunda mais utilizada nos EUA, porém esta depende do volume e da composição do rejeito, além de poder requerer pré-diluição, pré-tratamento, pagamento de impostos e tubulação de acesso, pois pode prejudicar o tratamento de esgoto (MICKLEY, 2004 *apud* SOARES *et al.*, 2006). Por outro lado, o lançamento do rejeito em águas superficiais, incluindo o esgoto, pode somente deslocar o problema para longe do local de produção, o que

explica a relutância de usuários à jusante do corpo receptor em aceitar o rejeito, mesmo realizando diluição do mesmo (GLENN *et al.* 1998).

Já a injeção do rejeito em poços com grandes profundidades é uma técnica que fica restrita aos grandes projetos de dessalinização, por conta da viabilidade econômica e das características hidrogeológicas de cada terreno (MICKLEY, 2004 *apud* SOARES *et al.*, 2006). Quanto à técnica de tanques de evaporação, deve-se observar que ocorre o aumento da concentração do rejeito e, conseqüentemente, a concentração de elementos como selênio, boro e metais pesados em níveis tóxicos (ONG *et al.*, 1995 *apud* SOARES *et al.*, 2006).

No nordeste do Brasil, onde as plantas de dessalinização de água salobra são de porte pequeno, outras alternativas, que não somente as usuais, estão sendo avaliadas. Em algumas comunidades do sertão, é utilizado o rejeito para a piscicultura, em especial para cultura de camarão e de tilápia, espécie que apresentou melhor adaptação ao sistema (TORRI, 2015). Outrossim, o rejeito também é utilizado no Nordeste para o cultivo de plantas halófitas, mais precisamente da espécie *Atriplex nummularia*, a qual possui alta tolerância a sais, conseguindo absorver uma alta quantidade de água salgada quando irrigada com salmoura. Essas plantas são fontes ricas em caroteno e proteínas e, por este motivo, são utilizadas para alimentação para o gado (SOARES *et al.*, 2006).

Figura 20: *Atriplex nummularia* irrigada com o rejeito da dessalinização da água salobra, com um ano de idade.



Fonte: PORTO *et al.* (2001).

4.5.7. Impactos socioeconômicos e ambientais de uma usina de dessalinização

A geração de impactos ambientais é consequência direta e intrínseca ao desenvolvimento de quaisquer atividades antrópicas, independentemente de seu porte (SÁNCHEZ, 2013). Sobre este olhar, usinas de dessalinização podem causar significativos impactos ao meio ambiente, podendo estes serem diretos ou indiretos, como a alteração da paisagem, redução de habitat, sucção de animais durante a captação da água, poluição sonora, poluição e contaminação da água do mar por conta do lançamento de concentrado salino, entre outros (NASCIMENTO e SILVA, 2020). Entretanto, tendo em vista dos impactos às mudanças climáticas e dos prognósticos socioeconômicos decorrentes disso, a dessalinização da água surge como uma medida de equacionamento da segurança hídrica possuindo também impactos positivos para abastecer suplementarmente a demanda d'água, podendo substituir perdas de outras fontes, mitigando os impactos das mudanças climática no abastecimento hídrico, aumentando a simetria e qualidade do abastecimento (VILLES *et al.*, 2019).

Diante disso, fazem-se necessários estudos que avaliem os possíveis impactos ambientais para escolha das medidas de redução destes, sendo o componente ambiental um critério muito importante no estudo de viabilidade de usinas de dessalinização, devendo-se reconhecer que os impactos positivos superam os negativos, senão os impactos ambientais negativos inviabilizariam um projeto deste tipo (NASCIMENTO e SILVA, 2020).

4.6. LICENCIAMENTO AMBIENTAL

O processo de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) é um instrumento que possui o intuito de identificar e prever potenciais impactos sobre o meio ambiente ocasionados por atividades antrópicas, propondo medidas de redução e eliminação dos impactos negativos (MORAES e D'AQUINO, 2022).

Deve-se saber que a AIA é um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, prevista no art. 9º, III da Lei 6.938/81, sendo um dos estudos ambientais necessários para a implantação de uma determinada atividade e uma das etapas do procedimento de licenciamento ambiental (OLIVEIRA, 2012).

De acordo com o art. 1º, I da Resolução CONAMA 237/97, o licenciamento ambiental pode ser definido como:

Art. 1º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:
I - Licenciamento Ambiental: procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso. [...]

Já no art. 3º da Lei 6.938/81, pode-se apreciar o conceito de poluição:

Art 3º - Para os fins previstos nesta Lei, entende-se por:
[...]

III - poluição, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; c) afetem desfavoravelmente a biota; d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos;

Desse modo, a existência do licenciamento ambiental se dá para que haja uma proteção maior do meio ambiente, sob o intuito de minimizar os impactos causados por meio do respeito da legislação ambiental, de forma a atingir um desenvolvimento econômico do país de forma sustentável (OLIVEIRA, 2012).

Ainda de acordo com a Resolução CONAMA 237/97, os tipos de licença podem ser: Licença Prévia, Licença de Instalação e Licença de Operação.

Art. 8º O Poder Público, no exercício de sua competência de controle, expedirá as seguintes licenças:

I - Licença Prévia (LP) - concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade, aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação;

II - Licença de Instalação (LI) - autoriza a instalação do empreendimento ou atividade, de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante;

III - Licença de Operação (LO) - autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação. Parágrafo único. As licenças ambientais poderão ser expedidas isoladas ou sucessivamente, de acordo com a natureza, características e fase do empreendimento ou atividade.

Pode-se inferir então que a licença ambiental é um ato administrativo resultante do exercício do poder da polícia ambiental (OLIVEIRA, 2012).

5. METODOLOGIA

5.1. DEFINIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

Para a escolha do local de estudo, levou-se em conta os dados apresentados nos itens 4.3 e 3.3 da Revisão Bibliográfica.

5.2. ESTUDO DA POPULAÇÃO

A implementação de políticas públicas e a posterior avaliação de seus respectivos programas, bem como para estratégias de planejamento do setor privado, dependem dos cálculos de indicadores sociodemográficos, na qual a projeção da população apresenta fundamental importância (IBGE, 2018).

5.2.1. Período do projeto

Nas obras de abastecimento de água das cidades devem ser projetadas de modo a atender uma população determinadas, a qual geralmente é maior que atual, correspondente ao crescimento demográfico em um número de anos específico, sendo denominado como período do projeto (TSUTIYA, 2006).

Este parâmetro possui ligação direta com a durabilidade do Sistema de Abastecimento de Água (SAA) elaborado (BOTEGA *et al.*, 2020). A vida útil de obras de SAA fundamentam-se na durabilidade das instalações e dos equipamentos presentes no sistema, crescimento da população, dificuldade de manuseio dos equipamentos, condições financeiras da comunidade e de financiamentos (GARCEZ, 2014).

Tal período pode variar entre 20 a 30 anos, sendo adotado comumente o período de 20 anos (TSUTIYA, 2006).

5.2.2. Definição da população a ser atendida

A partir da ferramenta Sinopse por Setores, disponível no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), é possível obter-se dados censitários a níveis de setores em distritos por município. Dessa forma, somando-se as populações e número de domicílios de cada setor da localidade, obtém-se a população e número total de domicílios de Guriri, respectivamente. Além disso, realizando-se uma média simples da densidade demográfica de cada setor, obtém-se a densidade demográfica de Guriri.

Pode-se obter os dados censitários de São Mateus para os anos de 1991, 2000 e 2010 pelo IBGE. Dessa forma, pode-se obter a equação da curva de crescimento por

meio de um dos métodos apresentados a seguir e aplicá-la a população obtida de Guriri.

5.2.3. Métodos de crescimento populacional

Utilizou-se de métodos matemáticos para os cálculos do crescimento da população futura. Neste caso, esta previsão é realizada por meio de uma equação matemática, onde os parâmetros são obtidos a partir de dados conhecidos, sendo os métodos mais conhecidos o aritmético, o geométrico e do da curva logística (TSUTIYA. 2006).

5.2.3.1. Método aritmético

Neste método parte-se do pressuposto que uma taxa possui crescimento constante para os anos seguintes a partir e dados conhecidos. Deve-se admitir que a população varie linearmente com o tempo (TSUTIYA, 2006).

Segundo TSUTIYA (2006), inicialmente deve-se apropriar a taxa de crescimento aritmética, dada por:

$$K_a = \left[\frac{(P_2 - P_1)}{(t_2 - t_1)} \right] \quad (\text{Equação 02})$$

Onde:

K_a : Taxa de crescimento aritmética;

P_1 : População do penúltimo censo;

P_2 : População do último censo;

t_1 : Ano do penúltimo censo;

t_2 : Ano do último censo.

Com o valor de K_a , podemos aplica-lo, ainda segundo TSUTIYA (2006), na expressão geral do método aritmético.

$$P = P_2 + K_a(t - t_2) \quad (\text{Equação 03})$$

Onde:

P : População de projeto;

P_2 : População do último censo;

K_a : Taxa de crescimento aritmética;

t : Ano da projeção;

t_2 : Ano do último censo.

5.2.3.2. Método geométrico

Considera-se, neste método, a mesma porcentagem de aumento populacional em períodos iguais de tempo. Para isso, utiliza-se as Equações 04 e 05 para encontrar o incremento populacional (TSUTIYA, 2006).

$$K_g = \left[\frac{(\ln P_2 - \ln P_0)}{(t_2 - t_0)} \right] \quad (\text{Equação 04})$$

Onde:

K_g : Taxa de crescimento geométrico;

P_0 : População do antepenúltimo censo;

P_2 : População do último censo;

t_0 : Ano do antepenúltimo censo;

t_2 : Ano do último censo.

Desse modo, obtém-se o incremento populacional para o método geométrico.

$$P = P_2 [e^{K_g(t - t_2)}] \quad (\text{Equação 05})$$

Onde:

P : População de projeto;

P_2 : População do último censo;

K_g : Taxa de crescimento geométrico;

t : Ano da projeção;

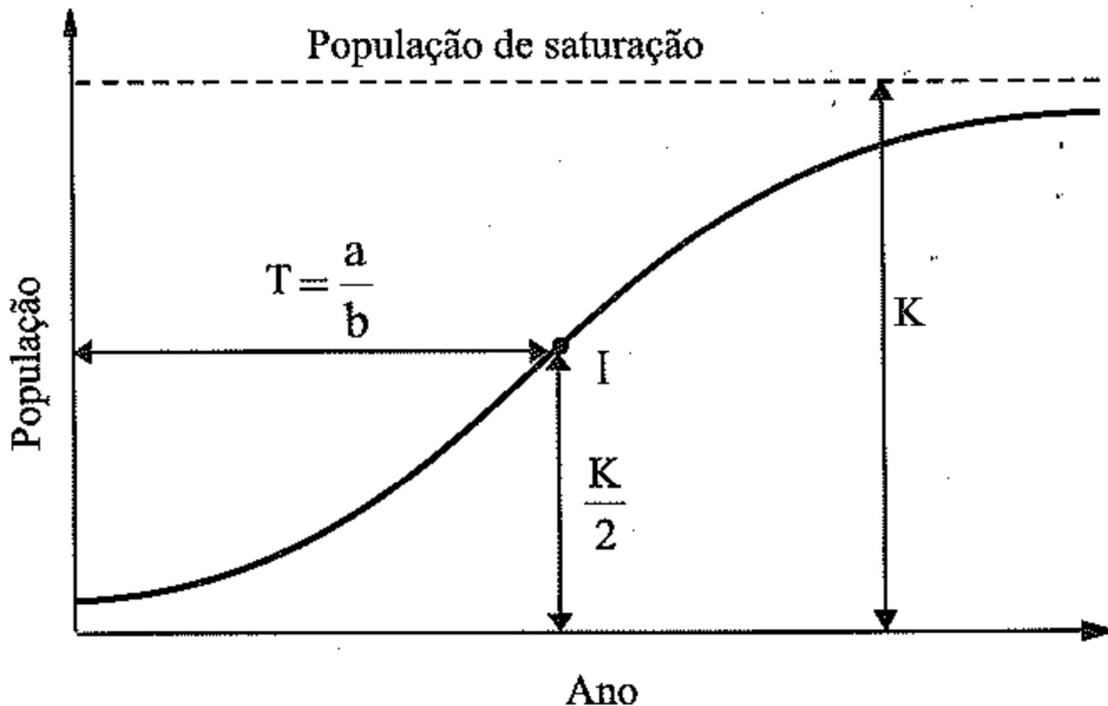
t_2 : Ano do último censo.

5.2.3.3. Método da curva logística

Para a aplicação deste método, deve-se admitir que o crescimento populacional obedece a uma relação matemática do tipo curva logística, onde a população cresce

assintoticamente em função do tempo para um valor limite de saturação (TSUTIYA, 2006). Podemos observar graficamente este conceito na Figura 21.

Figura 21: Curva logística.



Fonte: TSUTIYA (2006).

Para realização desse método, devemos atender aos critérios propostos, sendo eles: $t_1 - t_0 = t_2 - t_1$; $P_0 < P_1 < P_2$; e $P_0 \cdot P_2 < P_1^2$. A partir disso, obtemos o incremento populacional pelas Equações 06, 07, 08 e 09 (TSUTIYA, 2006).

Primeiramente, encontra-se o limite de saturação, dado por:

$$K = \frac{(2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2) - [P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)]}{(P_0 \cdot P_2) - P_1^2} \quad \text{(Equação 06)}$$

Onde:

- K : Valor limite de saturação;
- P_0 : População do antepenúltimo censo;
- P_1 : População do penúltimo censo;
- P_2 : População do último censo;

Há dois parâmetros base dos logarítmicos neperianos chamados de a e b . Para obter o valor de a , deve-se utilizar a Equação 07:

$$a = \frac{1}{0,4343} \cdot \log \frac{K - P_0}{P_0} \quad (\text{Equação 07})$$

Onde:

a : Valor tal que, para $T = a/b$, haja uma inflexão (mudança no sentido da curvatura) na curva;

K : Valor limite de saturação;

P_0 : População do antepenúltimo censo.

Já para o valor de b , vale-se de:

$$b = -\frac{1}{0,4343 \cdot d} \cdot \log \frac{P_0 \cdot (K - P_1)}{P_1 \cdot (K - P_0)} \quad (\text{Equação 08})$$

Onde:

b : Razão de crescimento da população;

d : Intervalo constante entre os anos t_0 , t_1 e t_2 ;

K : Valor limite de saturação;

P_0 : População do antepenúltimo censo;

P_1 : População do penúltimo censo.

Por fim, com os valores obtidos anteriormente, encontra-se o incremento populacional para o método da curva logística.

$$P = \frac{K}{1 + e^{a-b \cdot T}} \quad (\text{Equação 09})$$

Onde:

P : População de projeto;

K : Valor limite de saturação;

a : Valor tal que, para $T = a/b$, haja uma inflexão (mudança no sentido da curvatura) na curva;

b : Razão de crescimento da população;

T : Intervalo de tempo entre o ano de projeção e t_0 .

5.2.3.4. Escolha do método a ser utilizado

Muitos fatores podem influenciar na escolha do método a ser utilizado, visto que, durante o crescimento populacional da região, áreas de ocupações são formalizadas em função do preço do terreno, condições topográficas, galerias de águas pluviais, existência ou facilidade na instalação dos serviços de água e esgoto e hábitos da população (BOTEGA *et al.*, 2020).

5.2.3.5. Extrapolação do incremento populacional

Tendo em vista que obter-se-á o incremento populacional para o município de São Mateus como um todo, deve-se extrapolar esta projeção apenas para o balneário de Guriri. Dessa forma, será utilizado os dados reais obtidos para a localidade e obter-se-á a proporção de tamanho populacional em comparação com o restante do município. Com esta proporção, pode-se aplicá-la a todos os anos projetados.

5.2.3.6. População flutuante

A população flutuante é a população que se estabelece em um núcleo urbano por períodos curtos de tempo, como é o caso dos municípios de veraneio. Esta avaliação pode ser realizada por informações de ocupação dos domicílios, aumento do consumo de energia elétrica, entre outros (TSUTIYA, 2006).

5.3. ESTUDO DAS VAZÕES

5.3.1. Definição dos parâmetros

5.3.1.1. K_1 e K_2

Estes parâmetros correspondem ao coeficiente do dia de maior consumo (K_1) e ao coeficiente da hora de maior consumo (K_2). O coeficiente K_1 é utilizado no cálculo de todas as unidades do sistema, enquanto K_2 é usado apenas no cálculo da rede de distribuição (GUIMARÃES *et al.*, 2007).

Desse modo, buscar-se-á os valores de K_1 e K_2 em fontes bibliográficas.

5.3.1.2. Perdas no sistema e na rede

Nos sistemas de abastecimento sempre ocorrem perdas. Desde a captação até a distribuição na rede para o consumidor final, perdas podem ocorrer por vários fatores, sendo ocasionadas, em grande parte, por operação e manutenção deficientes das tubulações e inadequada gestão comercial das companhias de saneamento (TSUTIYA, 2006).

Desse modo, as perdas que serão utilizadas no presente trabalho serão consultadas em fontes bibliográficas.

5.3.1.3. Per capita

O consumo *per capita* em uma comunidade pode ser obtido ao dividir-se o total de água consumida por um dia pelo total da população abastecida, podendo variar em função da existência, ou não, de abastecimento público, clima, proximidade de água do domicílio e hábitos da população (GUIMARÃES *et al.*, 2007).

No presente trabalho, o consumo *per capita* será obtido em consulta ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de São Mateus/ES. Neste, será corrigida a porcentagem de perdas no sistema e na rede, para efeitos de cálculos de projeto, através da Equação 10.

$$q_c = \left[\frac{q}{(1 - IPD)} \right] \quad \text{(Equação 10)}$$

Onde:

q_c : Vazão *per capita* corrigida, acrescida das perdas do sistema;

q : Vazão *per capita* obtida na bibliografia;

IPD : Perdas do sistema.

5.3.1.4. Vazões pontuais

Para análise de possíveis lançamentos de vazões pontuais, buscar-se-á na bibliografia possíveis vazões a ser lançadas no período de projeto.

5.3.1.5. Vazão de incêndio

Conforme afirma GUIMARÃES. *et al* (2007), a vazão de incêndio corresponde a uma das parcelas componentes dos diferentes usos da água, sendo uma demanda de água para fins de segurança.

5.3.1.6. Tempo de operação do sistema

O tempo de operação do sistema é o tempo que o sistema funciona a fim de abastecer a população da rede de distribuição.

5.3.1.7. Perdas no tratamento

A Estação de Tratamento de Água (ETA) possui um percentual de consumo para manutenção do sistema, como lavagem dos filtros. Além disso, O sistema de osmose reversa sempre produzirá água de alta qualidade e água residuária, a qual pode ser concentrado, salmoura ou rejeito (SOARES *et al.*, 2006).

5.3.1.8. Análise da água de alimentação

Os dados físico-química da água de alimentação, bem como as vazões disponíveis da mesma serão fornecidos pela SAAE de São Mateus/ES.

5.3.2. Dimensionamento do sistema

5.3.2.1. Cálculo das vazões

De acordo com TSUTIYA (2006), um sistema de abastecimento de água é geralmente constituído pela captação, estação elevatória, adutora, estação de tratamento de água, reservatório e rede, conforme é apresentado na Figura 22.

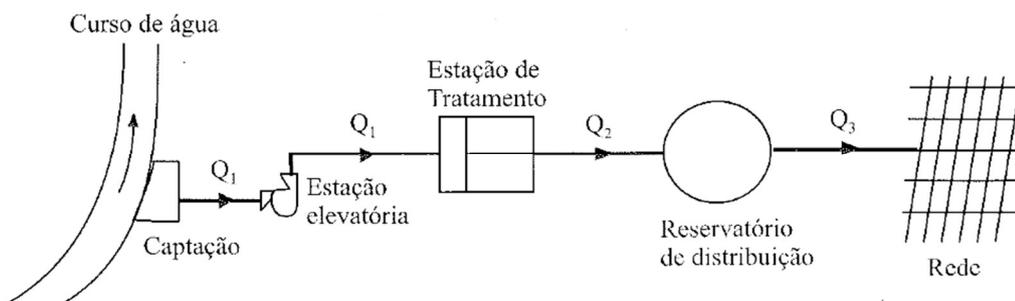
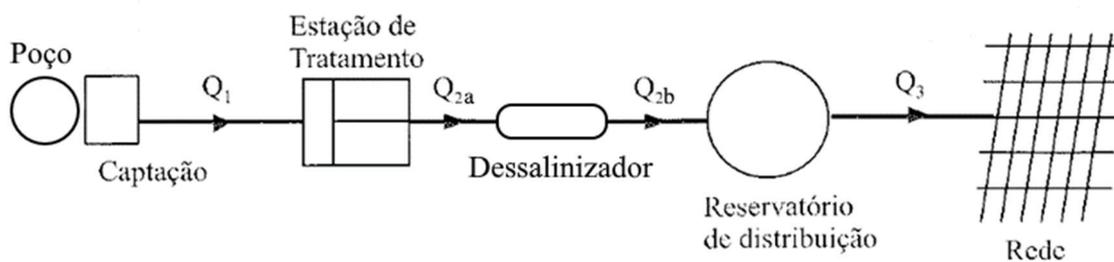


Figura 22: Partes constituintes de um sistema de abastecimento de água.

Fonte: TSUTIYA (2006).

Considerando-se a análise físico-química fornecida pela SAAE é após a ETA, o dessalinizador se encontrará entre esta e o reservatório. A ETA, neste projeto, será equivalente à etapa de pré-tratamento, onde serão removidos os sólidos suspensos e haverá o controle do crescimento biológico. Para efeito de cálculo, chamar-se-á a vazão entre a ETA e o dessalinizador de Q_{2a} e entre o dessalinizador e o reservatório de Q_{2b} . O pós-tratamento será considerado incluso dentro do processo do dessalinizador. Desse modo, o processo seguiria o modelo apresentado na Figura 23.

Figura 23: Partes constituintes do sistema de abastecimento com dessalinizador e captação em poço de água subterrânea. de água.



Fonte: O Autor, adaptado de TSUTIYA (2006).

TSUTIYA (2006) diz que para obter-se a vazão que chega ao reservatório deve-se aplicar a Equação 11. Essa vazão, portanto, equivalerá à vazão Q_{2b} . Porém, considerando um sistema funcionando por 14 horas, alterar-se-á o valor de 86.400, da equação original de Tsutiya, para 50.400.

$$Q_{2b} = \left(\frac{K_1 \cdot P \cdot q}{50.400} + Q_{esp} \right) \quad \text{(Equação 11)}$$

Onde:

Q_2 : Vazão da ETA até o dessalinizador;

K_1 : Coeficiente do dia de maior consumo;

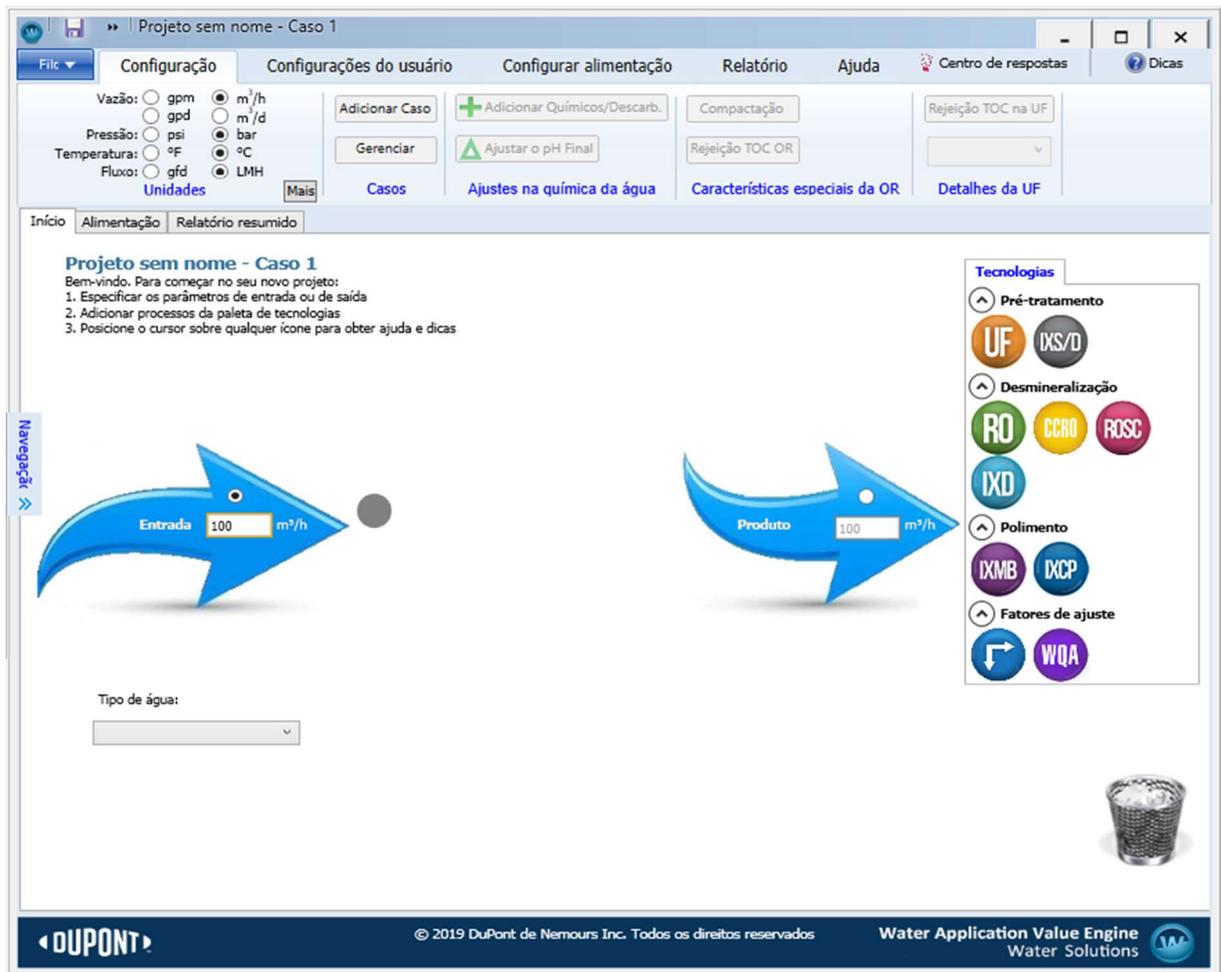
P : População da área abastecida;

q : Consumo *per capita* de água;

Q_{esp} : Vazão específica, por exemplo, grandes consumidores (indústrias, comércios, etc);

Valendo-se do software DUPONT® WAVE 1.82, é possível obter a vazão de alimentação (a qual é a vazão entre a ETA e o dessalinizador, ou Q_{2a}) e de vazão de rejeito produzido, utilizando como dados de entrada a vazão de água potável produzida (a qual é a vazão entre o dessalinizador e o reservatório, ou Q_{2b}), e com dados de análise da água, como o pH, Sólidos Sedimentáveis (SSD), temperatura e concentrações de sais.

Figura 24: Interface do software DUPONT® WAVE 1.82.



Fonte: O Autor.

Em um sistema funcionando por 14 horas, vazão Q_1 pode ser obtida pela Equação 12, de acordo com TSUTIYA (2006).

$$Q_1 = \left(\frac{K_1 \cdot P \cdot q}{50.400} + Q_{esp} \right) \cdot C_{ETA} \quad (\text{Equação 12})$$

Onde:

Q_1 : Vazão de captação, estação elevatória e adutora até a ETA;

K_1 : Coeficiente do dia de maior consumo;

P : População da área abastecida;

q : Consumo *per capita* de água;

Q_{esp} : Vazão específica, por exemplo, grandes consumidores (indústrias, comércios, etc);

C_{ETA} : Consumo na ETA e dessalinizador.

Por fim, a vazão do reservatório para a rede é dada por:

$$Q_3 = \left(\frac{K_1 K_2 P q}{86.400} + Q_{esp} \right) \quad (\text{Equação 13})$$

Onde:

Q_3 : Vazão do reservatório até a rede;

K_1 : Coeficiente do dia de maior consumo;

K_2 : Coeficiente da hora de maior consumo;

P : População da área abastecida;

q : Consumo *per capita* de água;

Q_{esp} : Vazão específica, por exemplo, grandes consumidores (indústrias, comércios, etc);

5.3.2.2. Cálculo da concentração de sal no rejeito

Para obter-se a concentração de sal no rejeito, obter-se-á, a partir da vazão de alimentação e da concentração de sal da água de alimentação, a massa de sal por hora que entra no sistema. Na sequência, pode-se obter o volume de rejeito gerado em 1 hora através da vazão do mesmo e, com este valor e a massa de sal, obtém-se a concentração de sal no rejeito.

5.3.2.3. Escolha da membrana osmótica

De acordo com FILHO (2022), podemos obter o número de membranas necessárias para o sistema de dessalinização por osmose reversa através da Equação 14:

$$N = \frac{Q}{F \cdot A}$$

(Equação 14)

Onde:

N : Número de membranas a ser utilizadas no sistema;

Q : Vazão de alimentação;

F : Fluxo de permeado;

A : Área da membrana.

5.4. PROPOSTA DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL DA USINA DE DESSALINIZAÇÃO

A partir de pesquisas bibliográficas e análises dos resultados obtidos, serão analisados os possíveis impactos ocasionados por este projeto, juntamente com propostas de mitigação dos mesmos, quando necessário.

5.5. LICENCIAMENTO AMBIENTAL DA USINA DE DESSALINIZAÇÃO

Através de consulta à legislação que rege o Licenciamento Ambiental local, definir-se-á o tipo de licença a ser obtido e suas etapas.

5.6. PROJETO DA USINA DE DESSALINIZAÇÃO

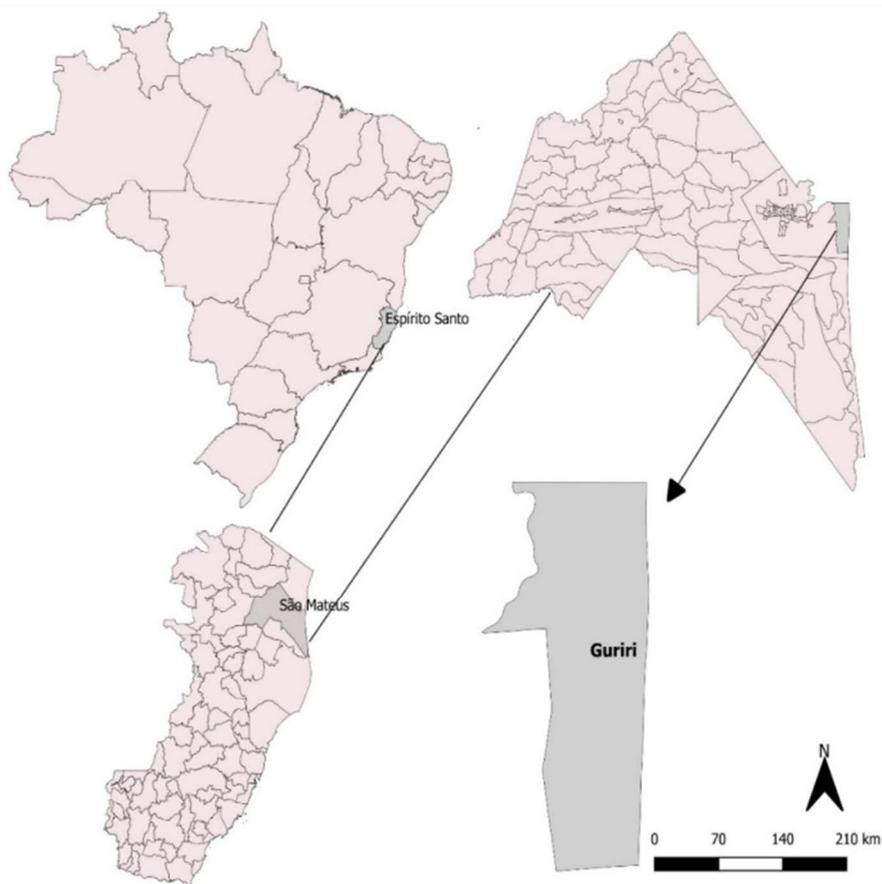
Serão organizadas todas as etapas da usina de dessalinização em estudo para a localidade levando em consideração as vazões obtidas e a revisão bibliográfica, e será esquematizado este processo.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. DEFINIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

A partir dos dados apresentados na Revisão Bibliográfica, escolheu-se a localidade de Guriri, no distrito de Barra Nova, para ser objeto de estudo do presente trabalho. A Figura 25 apresenta a localização de Guriri em relação ao município, estado e país.

Figura 25: Localização de Guriri.



Fonte: PLETSH *et al.*, 2021.

6.2. ESTUDO DA POPULAÇÃO

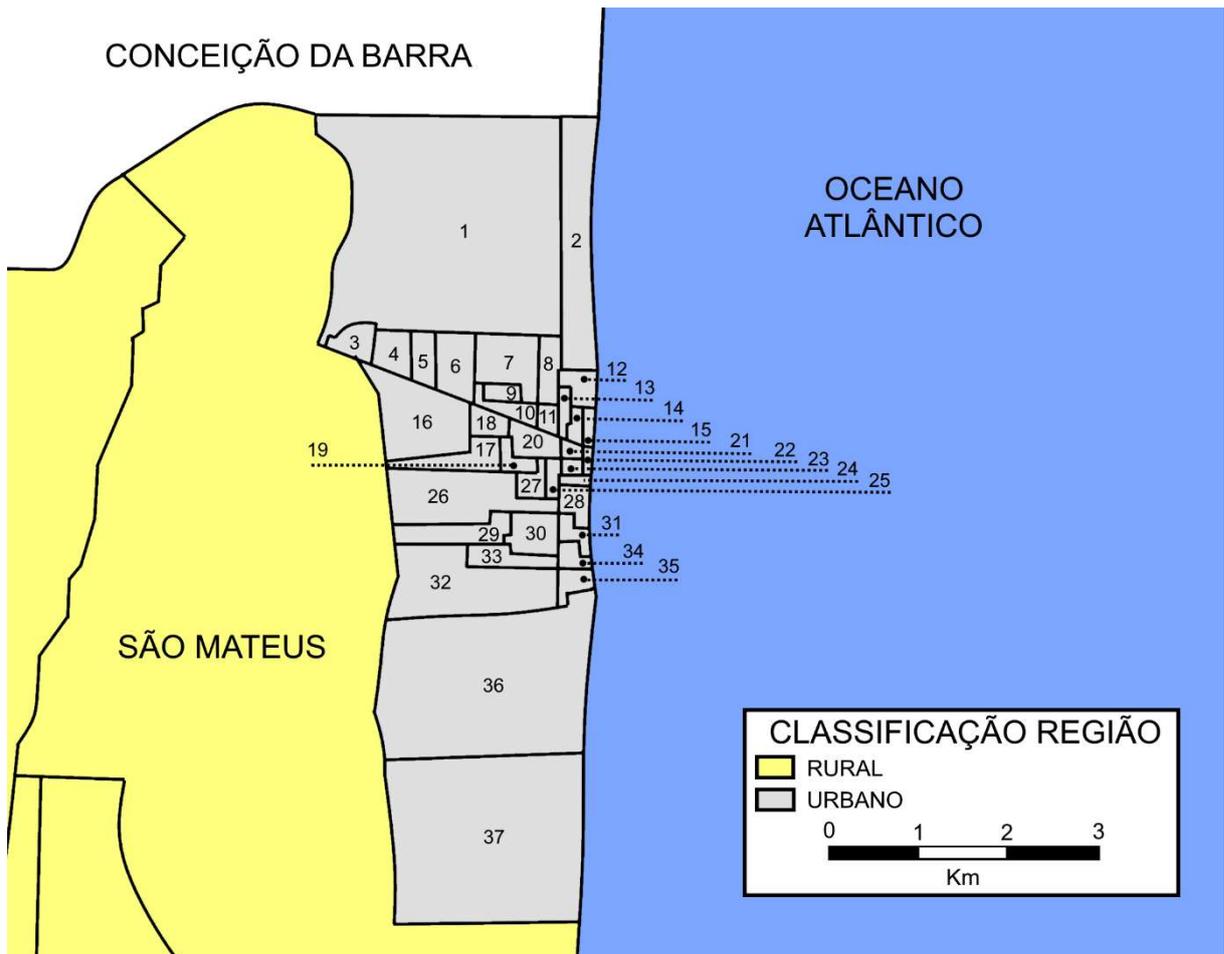
6.2.1. Período do projeto

Levando-se em consideração os parâmetros apresentados no item 5.2.1 da Metodologia, definiu-se o alcance do projeto, ou seja, tempo útil máximo do projeto, como sendo de 20 anos, sendo a data de início o ano de 2024 e a data final a do ano de 2044.

6.2.2. Definição da população a ser atendida

A Figura 26 representa os setores censitários do município de São Mateus, com destaque para o distrito de Barra Nova, onde localiza-se o balneário de Guriri.

Figura 26: Setores censitários do distrito de Barra Nova, São Mateus/ES.



Fonte: O Autor, adaptado de SÃO MATEUS, 2016.

A partir dos dados obtidos da ferramenta Sinopse por Setores, disponível no site do IBGE, confeccionou-se o Quadro 08, a qual contém os setores censitários, suas populações, densidade demográfica e número de domicílios.

Quadro 08: Dados do Censo 2010 para Guriri.

Número	Código do setor	População (hab)	Densidade demográfica (hab/km ²)	Número de domicílios
--------	-----------------	--------------------	----------------------------------------------------	-------------------------

1	320490610000013	692	130,05	319
2	320490610000035	236	244,93	209
3	320490610000004	450	2.901,78	193
4	320490610000043	281	1.676,46	131
5	320490610000044	331	2.410,69	138
6	320490610000045	330	1.146,33	156
7	320490610000027	500	1.301,54	257
8	320490610000029	286	1.741,77	203
9	320490610000012	370	4.409,22	190
10	320490610000028	306	2.893,37	164
11	320490610000030	247	3.445,39	182
12	320490610000006	244	2.085,26	204
13	320490610000034	107	1.919,90	179
14	320490610000002	228	3.992,23	229
15	320490610000033	170	3.532,32	164
16	320490610000018	902	1.213,58	405
17	320490610000032	497	2.125,45	254
18	320490610000024	438	3.812,21	213
19	320490610000016	407	4.924,62	247
20	320490610000017	654	4.236,41	452
21	320490610000011	166	4.360,05	197
22	320490610000026	144	4.870,13	170
23	320490610000025	167	4.855,78	167
24	320490610000010	191	5.360,35	171
25	320490610000039	409	5.772,11	194
26	320490610000040	390	497,87	211
27	320490610000015	346	4.272,34	203
28	320490610000009	367	2.707,91	338
29	320490610000014	220	805,80	105
30	320490610000031	653	2.876,61	387
31	320490610000008	342	3.706,07	283
32	320490610000036	310	294,14	232
33	320490610000005	411	2.326,79	198

34	320490610000007	260	3.220,49	264
35	320490610000003	253	2.600,69	249
36	320490610000038	28	8,51	25
37	320490610000037	137	39,44	151

Fonte: O Autor, adaptado de IBGE, 2021.

Com esses valores, e auxílio da ferramenta Microsoft Office Excel, calculou-se a população total de Guriri, no ano de 2010, bem como a sua densidade demográfica e a quantidade total de domicílios. Os resultados estão apresentados no Quadro 09.

Quadro 09: Dados populacionais de Guriri para o ano de 2010.

População (hab)	Densidade demográfica (hab/km²)	Número de domicílios
12.470	2.668,07	8.034

Fonte: O Autor.

Já por meio do site do IBGE, obteve-se os dados censitários de São Mateus/ES para os anos de 1991, 2000 e 2010. Estes podem ser consultados no Quadro 10.

Quadro 10: Dados censitários do município de São Mateus/ES para os anos de 1991, 2000 e 2010.

Ano	População (hab)
1991	73.902
2000	90.460
2010	109.028

Fonte: O Autor, adaptado de IBGE, 2021.

Além disso, como pode-se observar na Figura 26, a área objeto de estudo deste trabalho pode ser caracterizada, em sua totalidade, como zona urbana. Desse modo, nortear-se-á este trabalho considerando que a população atendida será em sua totalidade urbana. Ademais, considerando os critérios de utilização do método da curva logística, abordado no item 5.2.3.3, em que os intervalos anuais devem apresentar valores equivalentes, ou seja, $t_1 - t_0 = t_2 - t_1$, arredondar-se-á, para efeito de cálculo, o ano de 1991 para 1990.

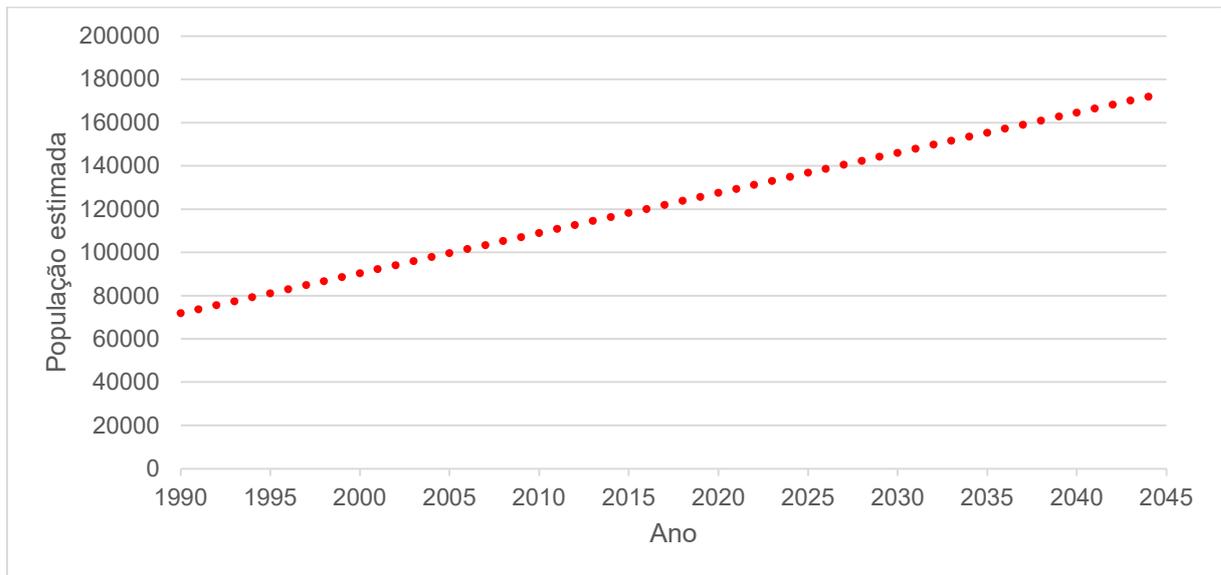
6.2.3. Métodos de crescimento populacional

6.2.3.1. Método aritmético

Inicialmente, partindo da Equação 02 e utilizando os dados apresentados no Quadro 10, onde $P_1=90.460$ habitantes, $P_2=109.028$ habitantes, $t_1=2000$ e $t_2=2010$, obtém-se o valor de $K_a=1.856,8$. Após isso, utilizando a Equação 03, calculou-se o incremento populacional para os anos entre 1990 e 2044.

Valendo-se do software Microsoft Office Excel, plotou-se o gráfico de incremento populacional para o método aritmético, apresentado no Gráfico 01.

Gráfico 01: Incremento populacional para o município de São Mateus/ES obtido através do método aritmético.



Fonte: O Autor.

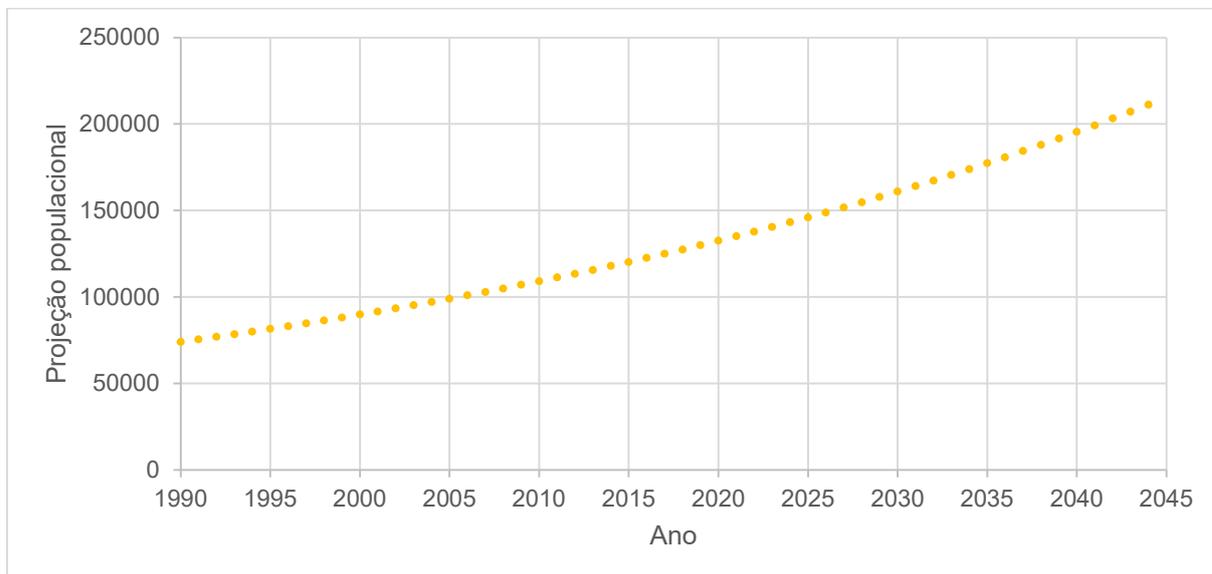
Dessa forma, o valor da população de final obtida para o município de São Mateus/ES pelo método aritmético é 172.159 habitantes.

6.2.3.2. Método geométrico

Inicialmente, partindo da Equação 04 e utilizando os dados apresentados no Quadro 10, onde $P_0=73.902$ habitantes, $P_2=109.028$ habitantes, $t_0=1990$ e $t_2=2010$, obtém-se o valor de $K_g=0,019443242$. Após isso, utilizando a Equação 05, calculou-se o incremento populacional para os anos entre 1990 e 2044.

Valendo-se do software Microsoft Office Excel, plotou-se o gráfico de incremento populacional para o método geométrico, apresentado no Gráfico 02.

Gráfico 02: Incremento populacional para o município de São Mateus/ES obtido através do método geométrico.



Fonte: O Autor.

Dessa forma, o valor da população de final obtida pelo método geométrico para o município de São Mateus/ES é 211.172 habitantes.

6.2.3.3. Método da curva logística

Primeiramente, partindo da Equação 06 e das populações $P_0=73.902$ habitantes, $P_1=90.460$ habitantes $P_2=109.028$ habitantes, obtém-se o valor limite de saturação $K=311.849$ habitantes.

Para realização desse método, devemos atender aos critérios propostos. De acordo com os valores referentes às variáveis estabelecidas, podemos observar que elas atendem aos critérios:

$$\begin{aligned}2000-1990 &= 2010-2000 \\73.902 &< 90.460 < 109.028 \\73.902 \cdot 109.028 &< (90.460)^2\end{aligned}$$

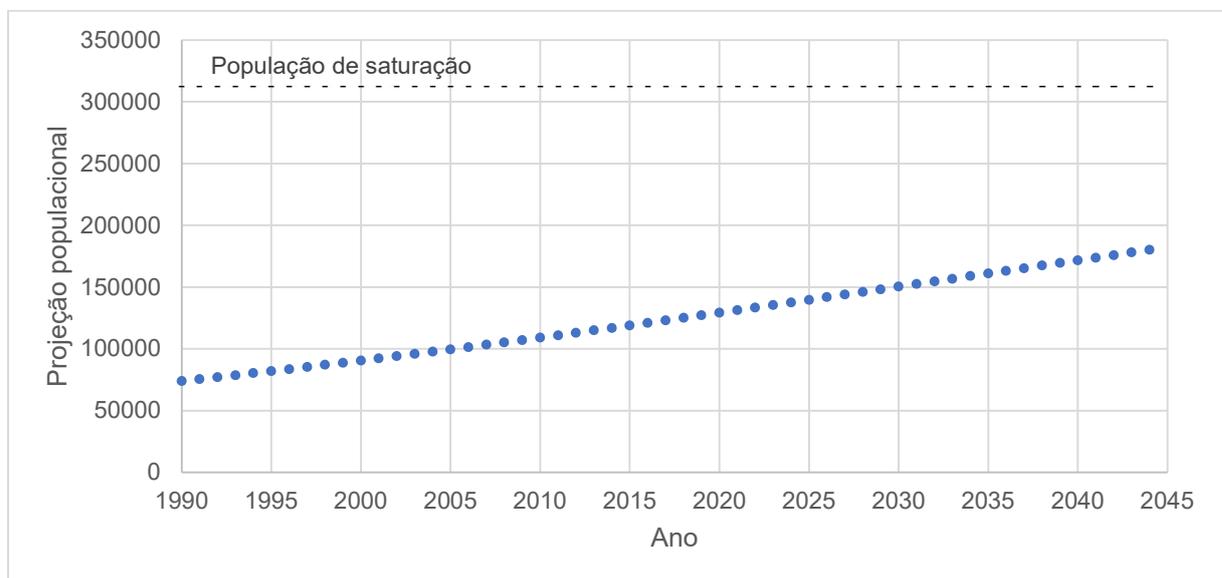
Com os critérios atendidos e com o valor de K , e sabendo que o intervalo constante entre os anos t_0 , t_1 e t_2 é $d=10$ anos, pode-se aplicá-los nas Equações 07 e 08 para

calcular os parâmetros base dos logaritmos neperianos, os quais resultam em $a=1,169$ e $b=0,027$.

Por fim, com estes parâmetros em mãos e utilizando os dados apresentados no Quadro 10, aplica-se estes na Equação 09 de modo a encontrar o incremento populacional para os anos entre 1990 e 2044.

Valendo-se do software Microsoft Office Excel, plotou-se o gráfico de incremento populacional para o método geométrico, apresentado no Gráfico 03.

Gráfico 03: Incremento populacional para o município de São Mateus/ES obtido através do método da curva logística.



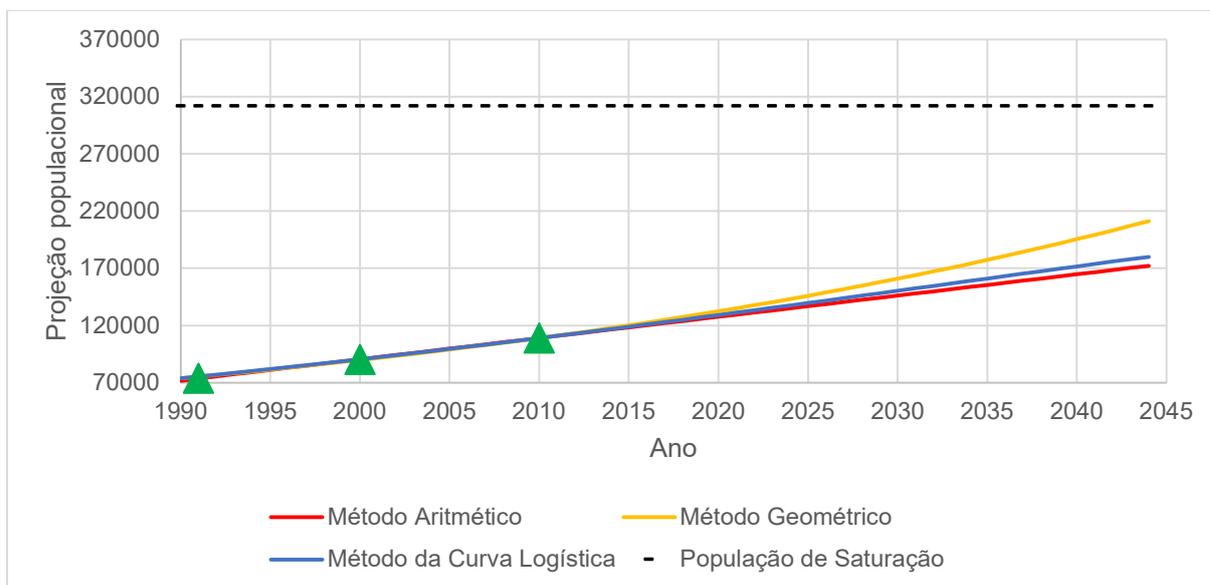
Fonte: O Autor.

Dessa forma, o valor da população de final obtida pelo método da curva logística é 180.044 habitantes.

6.2.3.4. Escolha do método a ser utilizado

Considerando os valores para população de projeto e os Gráficos 01, 02 e 03, pode-se gerar o Gráfico abaixo, formado a partir da sobreposição destes gráficos. Dessa forma, podemos realizar uma melhor análise das alternativas propostas.

Gráfico 04: Comparação entre os dados do IBGE, os incrementos populacionais obtidos pelos métodos aritmético, geométrico e da curva logística para o município de São Mateus/ES.



Fonte: O Autor.

À primeira vista, podemos ser levados a concluir que o cenário do método da curva logística se mostrou o mais realista, quando se é levado em conta que São Mateus é uma cidade do interior capixaba de porte médio e, logo, as perspectivas de crescimento populacional devem ser mantidas medianas.

Visto que, segundo TIBULO et. al. (2012), a taxa de crescimento populacional no Brasil está desacelerando, sendo de 1,93 no período entre 1980 e 1991 e caindo para 1,17 no período entre 2000 e 2010, a possibilidade para o cenário alterar-se seria no caso de algum fator externo que influencie nesse crescimento, como abertura de polos industriais ou de um porto, por exemplo. Em relação a este último, há uma previsão de abertura no norte capixaba, como relata BOZZATO (2020), porém é na localidade de Urussuquara, na divisa entre os municípios de São Mateus e Linhares, a qual possui proximidade com Guriri e, portanto, poderia influenciar diretamente em seu crescimento populacional. Nota-se ainda que o próprio balneário de Guriri tem recebido, nos últimos anos um número crescente de pessoas visando fixar residência na localidade (BONOMO, 2010).

Portanto, levando-se em consideração os resultados obtidos para o incremento populacional e os fatores e cenários discutidos, conclui-se que Guriri poderá apresentar um crescimento populacional acelerado nos próximos anos, tornando

assim o método geométrico o mais robusto e, conseqüentemente, o escolhido para as próximas etapas do presente trabalho.

6.2.3.5. Extrapolação do incremento populacional

Observando-se que, conforme apresentado no Quadro 09, a população de Guriri no ano de 2010 era de 12.470 habitantes e ainda, de acordo com o Quadro 10, a população de São Mateus era de 109.028 para este mesmo ano, infere-se que a população de Guriri corresponde a, aproximadamente, 11,44% da população de São Mateus.

Dessa forma, aplicando esta proporção encontrada, obtemos a projeção da população de Guriri apresentada no Quadro 11.

Quadro 11: Projeção ano a ano da população de Guriri, sem levar em consideração a população flutuante.

Ano	População estimada
2024	16375
2025	16696
2026	17024
2027	17359
2028	17699
2029	18047
2030	18401
2031	18763
2032	19131
2033	19506
2034	19889
2035	20280
2036	20678
2037	21084
2038	21498
2039	21920
2040	22350
2041	22789
2042	23237

2043	23693
2044	24158

Fonte: O Autor.

6.2.3.6. População flutuante

Por ser um balneário, Guriri recebe muitos turistas em temporadas, como no verão, onde a busca por suas praias é grande, principalmente por turistas provenientes de Minas Gerais, cuja uma considerável parcela possui residências secundárias na localidade (BONOMO, 2010).

A partir de Dados Técnicos e Estatísticos fornecidos pela SAAE de São Mateus/ES, referentes ao mês de outubro de 2021, existiam em Guriri 9.188 ligações de água, porém neste mês, que não é considerado alta temporada, apenas 5.829 ligações encontravam-se em funcionamento. Dessa forma, considerando que as ligações que não se encontram em funcionamento sejam residências de veraneio e considerando também que estas estejam todas ocupadas em período de temporada, há um crescimento da população flutuante de aproximadamente 157,62%.

Levando-se em consideração estes dados apresentados, utilizou-se o fator de multiplicação igual a 1,5762 neste trabalho. Dessa forma, o Quadro 12 apresenta a projeção ano a ano da população, considerando a população flutuante.

Quadro 12: Projeção ano a ano da população, levando em consideração a população flutuante.

Ano	População estimada
2024	25.810
2025	26.316
2026	26.833
2027	27.361
2028	27.897
2029	28.446
2030	29.004
2031	29.574
2032	30.154
2033	30.745
2034	31.349

2035	31.965
2036	32.593
2037	33.233
2038	33.885
2039	34.550
2040	35.228
2041	35.920
2042	36.626
2043	37.345
2044	38.078

Fonte: O Autor.

6.3. ESTUDO DAS VAZÕES

6.3.1. Definição dos parâmetros

6.3.1.1. K_1 e K_2

Para K_1 , o seu valor pode variar entre 1,2 e 2,0, a depender das condições locais. Entretanto, o valor mais comumente utilizado no Brasil é 1,2. Já para o K_2 , seu valor varia entre 1,5 e 3,20, sendo usual adotar o valor de 1,5 (GUIMARÃES *et al.*, 2007). Tendo essas informações em vista, adotou-se, para fins de projeto, os valores de K_1 e K_2 como sendo 1,2 e 1,5, respectivamente.

6.3.1.2. Perdas no sistema e na rede

Em consulta realizada à SAAE no dia 10 de dezembro de 2021, foi relatado que a perda gira em torno de 35%. Desse modo, adotar-se-á este valor para os cálculos do presente trabalho.

6.3.1.3. Per capita

De acordo com a consulta realizada à SAAE no dia 10 de dezembro de 2021, o consumo *per capita* de água em Guriri/ES é de 150 L/hab. Sabendo que o percentual de perdas é de 35% e aplicando estes valores à Equação 10, concluímos que a perda *per capita* corrigida é de, aproximadamente, 230,8 L/hab.

6.3.1.4. Vazões pontuais

Apesar da expectativa de crescimento populacional devido à implementação do Porto de Urussuquara, como citado no item 6.2.3.4, Guriri não tem nenhuma perspectiva para implementação de indústria nova e, até a data de elaboração do presente trabalho, o site da prefeitura municipal não indicava essa possibilidade, portanto não se considerou a vazão pontual para indústria. A vazão pontual para comércio foi considerada insignificante, não justificando a adoção desta variável nos cálculos.

6.3.1.5. Vazão de incêndio

Para o presente trabalho, considerou-se que, em caso de ocorrência de incêndios, será utilizada água captada *in natura* no manancial mais próximo. Dessa forma, a vazão de incêndio não será considerada nos cálculos.

6.3.1.6. Tempo de operação do sistema

Para este item, arbitrou-se o tempo de 14 horas de funcionamento do sistema para o abastecimento da população.

6.3.1.7. Perdas no tratamento

A estação de tratamento de água comumente consome cerca de 1% a 5% do volume tratado para a lavagem dos filtros e decantadores (TSUTIYA, 2006). Considerou-se um consumo de 5% para manutenção do sistema da ETA. Além disso, será utilizado o percentual de perda (rejeito salino) considerado no software DUPONT® WAVE 1.82.

6.3.1.8. Análise da água de alimentação

A partir de Dados Técnicos e Estatísticos fornecidos pela SAAE de São Mateus/ES, as características da água de alimentação dos poços de abastecimento de Guriri/ES são os dispostos no Quadro 13.

Quadro 13: Dados da água proveniente dos poços de Guriri/ES.

Descrição	Valor
Vazão total dos poços de abastecimento no momento da perfuração	273 m ³ /h
Vazão total dos poços de abastecimento em dezembro de 2021	178 m ³ /h
Cor	6,0

pH	6,90
Turbidez	1,42
Cloreto	74,5

Fonte: SAAE (2021).

O abastecimento de água pública em Guriri/ES é realizado por 6 poços, sendo estes: Poço Meleira, Poço ETA, Poço D'Martins, Poço Brás, Poço Petrobrás e Poço EEAB. Os quatro últimos situam-se na localidade do Rio Preto, distrito de Barra Nova. Os dados da análise físico-química foram obtidos no dia 13 de dezembro de 2021 e, na ocasião, não houve ocorrência de chuvas no dia anterior e no dia da coleta. A diminuição da vazão dos poços, de acordo com a própria SAAE, ocorre por conta do uso contínuo dos poços.

6.3.2. Dimensionamento do sistema

6.3.2.1. Cálculo das vazões

Inicialmente, utilizando os valores apresentados nos itens anteriores e aplicando-os à Equação 11 através do software Microsoft Excel, obtemos a vazão de água potável produzida pelo dessalinizador de $Q_{2b} = 209,22 \text{ m}^3/\text{h}$. Aplicando-se este valor ao software DUPONT® WAVE 1.82, juntamente com os dados de análise físico-química fornecidos pela SAAE, obtemos que a vazão de alimentação do sistema de dessalinização será de $Q_{2a} = 278,96 \text{ m}^3/\text{h}$, enquanto a vazão de rejeito será de $69,74 \text{ m}^3/\text{h}$.

Ao aplicarmos a Equação 12 de modo a obtermos o valor da vazão de captação, podemos variar a variável do consumo da ETA e do dessalinizador utilizando o suplemento Solver do Microsoft Excel para obter o consumo do dessalinizador, o qual é de 25%. Levando-se em consideração o consumo da ETA, descrito por TSUTIYA (2006) e apresentado no item 6.3.1.7, de 5%, obtemos um consumo conjunto entre ETA e dessalinizador de 30%. Dessa forma, aplicando essa variável à Equação 12, obtém-se $Q_1 = 298,89 \text{ m}^3/\text{h}$.

Por fim, a vazão entre o reservatório e a rede obtidos através da Equação 13 é de $Q_3 = 183,07 \text{ m}^3/\text{h}$.

6.3.2.2. Cálculo da concentração de sal no rejeito

A vazão de alimentação do sistema é de 278,96 m³/h, ou seja, em 1 hora o volume total será de 278.960 litros. Já a concentração do sal nesta etapa é de 74,5 mg/L. Logo, a quantidade total de sal que entra no sistema é igual a 20.782.520 mg.

Temos que a vazão de rejeito é de 69,74 m³/h, ou seja, em 1 hora o volume total será de 69.740 litros. Levando em consideração a massa total de sal no sistema obtida anteriormente, a concentração do rejeito é de 298 mg/L.

6.3.2.3. Escolha da membrana osmótica

De acordo com FILHO (2022), em vazões acima de 2.300 L/h, devemos utilizar membranas de diâmetro de 8". Tendo isso em vista, e que a água a ser tratada é salobra, escolheu-se, para efeitos de dimensionamento, a membrana DUPONT FILMTEC™ BW30HR-440 Element, uma vez que esta é a que comporta a maior vazão de alimentação desta fabricante para água salobra (BW refere-se ao termo *Brackish Water*, ou água salobra em inglês) e suporta pressões maiores que o modelo próximo BW30HRLE-440.

Temos que, conforme é obtido anteriormente, a vazão de alimentação do sistema de dessalinização é 278,96 m³/h, ou 278.960 L/h. O valor do fluxo foi obtido pelo software DUPONT® WAVE 1.82, sendo este no valor de 853 L/m²·h. Já a área nominal da membrana é 41 m² (DUPONT, 2022).

Aplicando-se estes dados à Equação 14, obtemos que o número de membranas necessário para este sistema é de, aproximadamente, 8 módulos de membranas.

6.3.3. Perspectiva de um cenário com maior salinidade

Percebe-se que o nível de salinidade da água de poço do abastecimento de Guriri/ES apresentado pela SAAE e disposto Quadro 13 está dentro dos padrões aceitáveis.

Deve-se levar em conta que, conforme a Figura 02 do item 4.1.1, a pluviosidade em São Mateus/ES encontra-se acima da média histórica da região nas medições mais recentes disponíveis, diferentemente do período de secas entre 2012 e 2017. Ou seja, por consequência da pluviosidade, os reservatórios subterrâneos encontram-se mais abastecidos.

Desse modo, devemos considerar um cenário hipotético cuja salinidade esteja acima dos padrões estabelecidos, ou seja, acima de 250 ppm. Tal cenário hipotético é factível uma vez que, de acordo com SÃO MATEUS (2015) e SÃO MATEUS (2018),

problemas com alta salinidade no abastecimento público decorrente de secas na região já ocorreram em períodos anteriores levando à administração pública decretar situação de emergência. A Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus encontra-se em Área de Entorno Susceptível à Desertificação e, por conta disso, pode sofrer com secas mais severas em futuros próximos. Além disso, conforme o Quadro 13, houve redução da vazão dos poços do momento de sua perfuração para dezembro de 2021 e, segundo SAAE (2021), isso ocorreu devido ao uso contínuo dos poços. Deve-se lembrar que ao realizar-se uma intensa exploração da água subterrânea resulta-se na intrusão salina no aquífero e, conseqüentemente, no comprometimento da reserva deste recurso hídrico subterrâneo (DAAE, 2008).

Sendo assim, para o cenário hipotético proposto, utilizar-se-á a salinidade acima do limite máximo permitido, sendo arbitrado o valor de 300 mg/L, e os demais valores continuarão similares ao caso anterior. Nesse cenário, a concentração do permeado passaria a ser de 1.200 mg/L.

6.4. PROPOSTA DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL DA USINA DE DESSALINIZAÇÃO

Os impactos ambientais gerados por empreendimentos geralmente são identificados de acordo com as fases de sua vida: instalação e operação.

6.4.1. Impactos socioambientais gerados e medidas mitigadoras sugeridas na fase de instalação

Nesta fase do empreendimento, geralmente as fontes potenciais de impactos ambientais estão associadas à implantação da infraestrutura e das tubulações, bem como do maquinário utilizado para instalação (NASCIMENTO e SILVA, 2020).

6.4.1.1. Supressão de vegetação

A depender do local a ser instalado a usina, deve-se considerar a existências de espécies nativas na área de execução da atividade.

De modo a minimizar impactos como diminuição de habitats, o ideal é realizar a escolha do local de instalação da usina como o ponto em que ocorra a menor supressão vegetal possível (NASCIMENTO e SILVA, 2020). Em caso de existência de flora nativa, o Código Florestal Brasileiro (Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012), nos casos permitidos por lei, determina que a supressão vegetal depende da

autorização prévia do órgão ambiental. No Espírito Santo, o órgão responsável é o Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (IDAF), onde há a possibilidade da exigência de compensação ambiental quando o corte da vegetação é autorizado, através de critérios a serem adotados a fim de que ocorra o mínimo impacto possível no meio ambiente (IDAF, 2022). Esta compensação ambiental pode ser o replantio de espécies nativas em unidades de conservação, por exemplo (NASCIMENTO e SILVA, 2020).

6.4.1.2. Impactos na fauna

No caso da identificação de fauna silvestre nas localidades impactadas pelo empreendimento, será necessário a realização do manejo de fauna.

Nesta situação, o manejo de fauna, que engloba a captura, coleta, transporte e destinação dos indivíduos resgatados para refúgios naturais, deve ser feito com base nas regulamentações do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA), através da Instrução Normativa 146/2007.

6.4.1.3. Movimentação de terra

A depender da topografia do terreno escolhido como local de realização das atividades, pode ser necessário serviços de terraplanagem para acomodação do empreendimento. Tais impactos, segundo FONSECA, ASSUNÇÃO e SILVA (2020), podem ser a aceleração de processos erosivos e assoreamento, contaminação das águas, poluição sonora e atmosférica, entre outros.

Levar em consideração alguns aspectos ambientais pode contribuir para a minimização dos impactos ambientais da terraplanagem, como a especificação da origem, destino e quantidade dos materiais que serão utilizados nas obras, concepção e implantação de projeto de drenagem, realização de rotinas de manutenção para conservação dos equipamentos a fim de evitar geração de ruídos, umectação do solo para diminuir a suspensão de material partícula, bem como evitar a realização das obras em períodos chuvosos, a fim de evitar erosões. (FONSECA, ASSUNÇÃO e SILVA, 2020).

6.4.1.4. Tráfego de maquinários

Inerente ao processo de instalação de uma obra está o traslado dos maquinários a serem utilizados nesta etapa, bem como sua movimentação dentro da área da obra.

Desse modo, o aumento do tráfego desses maquinários pode ocasionar incômodos à população decorrente do aumento do ruído, da poluição atmosférica e do trânsito, bem como pode causar atropelamentos e afugentamento da fauna local.

A depender do estado das vias, a umidificação dessas evita a dispersão de poeiras, bem como a correta manutenção dos maquinários reduz a poluição atmosférica e sonora. Sinalização e iluminação das vias e do canteiro de obras pode evitar o atropelamento da fauna.

6.4.1.5. Poluição atmosférica

Podem-se ocorrer poluições atmosféricas advindas tanto da emissão de poeiras, a qual ocorre principalmente nos serviços de terraplanagem, quanto dos gases provenientes da queima de combustíveis dos maquinários.

Medidas de conservação e manutenção dos equipamentos irá controlar a emissão excessivas de gases, bem como a irrigação do solo sem calçamento irá evitar a dispersão de material particulado na atmosfera.

6.4.1.6. Poluição sonora

Obras de instalação geram ruídos, os quais podem incomodar a circunvizinhança da área das atividades. Medidas mitigadoras podem ser tomadas, como a implementação de planos de manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos e a otimização dos usos destes, definição de turnos de trabalho que priorize atividades diurnas e adoção de meios de comunicação com a comunidade ao redor, de modo que possam ser registradas queixas acerca de ruídos.

6.4.1.7. Poluição do solo e das águas

O maquinário utilizado na fase de instalação pode ocasionar a poluição do solo e das águas, incluindo até as subterrâneas, por conta de vazamentos ou derramamentos por acidente de substâncias perigosas, a exemplo de combustíveis e óleos. Além disso, as poeiras que são emitidas podem ocasionar o aumento da turbidez das águas, o que impacta em sua qualidade (NASCIMENTO e SILVA, 2020). Não obstante, o serviço de terraplanagem expõe o solo, o qual pode sofrer carreamento por ação pluvial e ser depositado em cursos d'água, causando o seu assoreamento (FONSECA, ASSUNÇÃO e SILVA, 2020).

A correta manutenção dos maquinários reduz o risco de vazamentos de combustíveis destes. Deve-se manter locais de armazenamentos de materiais de construção, óleos e combustíveis que sejam impermeabilizados e protegidos de intempéries, com presença de barreira física. Irrigação do terreno reduz a suspensão de poeiras e a realização das obras de corte e aterro em períodos não chuvosos irá evitar o assoreamento de cursos d'água.

6.4.1.8. Alteração da estética da paisagem local

As instalações construídas alteram a estética da paisagem local, tanto sendo um local já urbanizado quanto em regiões mais afastadas de centros urbanos.

Barreiras físicas e mudanças da estética da paisagem local impostas por conta das infraestruturas construídas para a planta de dessalinização podem ser mitigadas através de um projeto arquitetônico integrado, o qual desenvolva a integração da usina com a paisagem, através da limitação da altura das edificações, harmonização das cores e texturas com o espaço ao redor do empreendimento e arborização com espécies nativas no intuito de conter o impacto visual dos edifícios e demais elementos da planta de dessalinização (FUENTES-BARGUES, 2014).

6.4.1.9. Desapropriação

A escolha da área que será exercida a atividade deve levar em conta os aspectos técnicos e ambientais, porém não deve ser desprezado o aspecto social. No cenário ideal, o terreno que receberá a usina de dessalinização deve estar desocupado, porém há casos de obras públicas que precisam ser locadas em áreas privadas.

Nesse caso, há a necessidade de compensação para o proprietário do terreno, oferecendo compensação financeira justa.

6.4.1.10. Aumento da oferta de vagas de emprego

Um impacto positivo da fase de instalação é o aumento da oferta de vagas de emprego, em todos os níveis de especialização, uma vez que o projeto necessita de engenheiros, arquitetos, técnicos, mecânicos, pedreiros, operadores de maquinários, entre outros profissionais. Como consequência, há uma injeção e circulação de dinheiro na economia, levando ao crescimento e desenvolvimento da comunidade local.

É recomendável a priorização por mão de obra local, podendo essas vagas serem divulgadas no SINE do município.

6.4.2. Impactos socioambientais gerados e medidas mitigadoras sugeridas na fase de operação

6.4.2.1. Avanço da cunha salina

A exploração intensiva de águas subterrâneas reduz o nível dos lençóis freáticos e, em regiões litorâneas, ocasiona o avanço da cunha salina, aumentando consequentemente a salinidade.

De modo a contornar este fator, propõe-se que a usina de dessalinização não funcione 24h por dia. Deve-se ter reservatórios para regularizar a vazão de distribuição de modo que seja possível o aumento da produção em períodos chuvosos e redução da produção em períodos de escassez hídrica sem que o abastecimento público seja interrompido e possibilite que os aquíferos sejam recarregados. Por fim, sugere-se que os poços de captação estejam espaçados entre si, de modo a não sobrecarregar a reserva subterrânea em um único ponto.

6.4.2.2. Aumento da demanda energética

Para que a osmose reversa ocorra, faz-se necessária a aplicação de uma pressão que empurre a água de alimentação contra as membranas osmóticas, e essa pressão aplicada é por meio de um conjunto motor-bomba. Nesta etapa, é consumida de 66% a 70% de toda energia da planta de dessalinização (BURN *et al.*, 2015). Além da poluição inerente à produção de energia por meios não renováveis, o aumento da demanda energética na rede de distribuição de eletricidade da localidade pode sobrecarregar o sistema causando interrupções no sistema para os moradores de comunidades da circunvizinhança.

Um dimensionamento bem feito do sistema, bem como escolha correta do conjunto motor-bomba e rotinas de manutenção do sistema são capazes de reduzir o consumo desnecessário de energia elétrica. Deve-se levar em conta no projeto a realidade da rede de distribuição local, optando por realizar as operações fora dos horários de pico, e, se possível, optar por fontes alternativas de energia. As fontes de energia renováveis mais utilizadas em usinas de dessalinização são a solar (fotovoltaica e térmica), a eólica e a geotérmica, sendo a solar fotovoltaica e a eólica as mais utilizadas, independentemente da salinidade da água de alimentação (COELHO, 2017). Além

disso, a energia cinética da água após transpassar as membranas osmóticas pode ser recuperada para produção de energia elétrica.

6.4.2.3. Geração de rejeito salino

O principal problema com usinas de dessalinização por osmose reversa é a água residuária altamente salina, a qual possui grande poder poluente, devendo ser adotada medidas ambientalmente corretas e economicamente viáveis para o seu reaproveitamento ou descarte.

Uma possível solução que possui custos relativamente baixos é o retorno ao oceano, onde esse processo deve ser feito por tubulações para o mar. Apesar dos oceanos terem alto poder de diluição, medidas mitigadoras de impactos são necessárias, como a utilização de difusores nos emissários, permitindo a melhor distribuição e diluição do rejeito em alto mar. Outra medida é a instalação de bombas extras para captar água do mar para diluir o rejeito. Entretanto, essa medida, adotada pelas grandes plantas de dessalinização no mundo, poderá ocasionar prejuízos nos ecossistemas marinhos, devendo-se levar em conta a fragilidade em cada sistema.

Outra solução é a utilização de lagos de evaporação em salinas, entretanto, para a localidade de Guriri/ES, a melhor solução poderia ser a mesma utilizada no nordeste do Brasil: a piscicultura e o cultivo de plantas halófitas. No caso da piscicultura, as espécies criadas podem ser camarão e tilápia e, no caso do cultivo de plantas halófitas, o caso de sucesso da *Atriplex nummularia* pode ser replicado na região, sendo essa planta utilizada para alimentação de gado, uma vez que são fontes ricas em caroteno e proteínas. A solução do cultivo de plantas halófitas se faz a mais interessante para o projeto, uma vez que as regiões norte e noroeste do Espírito Santo possuem a atividade pecuarista bastante presente.

6.4.2.4. Poluição sonora

Nas plantas de dessalinização, o ruído gerado será proveniente do funcionamento das bombas do processo de osmose reversa.

O correto enclausuramento dessas, juntamente com projeto arquitetônico/paisagístico que reduza a dispersão do som, como a localização da bomba e utilização de barreiras naturais, como árvores, podem reduzir os impactos na fauna e nas comunidades adjacentes. Também deve-se levar em consideração os horários de funcionamento do sistema, evitando períodos noturnos. De modo a saber a resposta das pessoas

que podem ser afetadas pela usina, deve-se adotar canais de comunicação com a comunidade ao redor, a fim de que possam ser registradas queixas acerca de ruídos.

6.4.2.5. Fotopoluição

Caso a usina seja instalada próxima a praia, deve-se tomar cuidado com a questão da iluminação, uma vez que a localidade é área de desova de tartarugas marinhas. Nesse cenário, a iluminação excessiva no período noturno pode atrapalhar o ciclo de vida dessas espécies, devendo, dessa forma, priorizar o funcionamento diurno da usina de dessalinização.

6.4.2.6. Aumento da oferta de vagas de emprego

A planta de dessalinização necessitará de empregados de todas as escolaridades, como engenheiros, administradores, funcionários para limpeza, manutenção e operação das áreas da atividade e dos equipamentos.

A contratação de mão de obra local permitirá o crescimento da economia da localidade e do município, trazendo benefícios para a sociedade. Dessa forma, recomenda-se a contratação da mão de obra através do SINE do município.

6.4.2.7. Segurança hídrica

Levando em consideração que a Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus está em uma Área de Entorno Susceptível a Desertificação e, conseqüentemente, propenso a grandes períodos de estiagem futuras, a garantia do fornecimento de água potável para a população de Guriri/ES torna-se o principal impacto positivo da implementação de uma usina de dessalinização de água subterrânea na localidade, cumprindo-se o Objetivo 6 dos ODS, que discorre sobre a Água Potável e Saneamento, dentro do qual visa-se garantir a disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos.

6.5. LICENCIAMENTO AMBIENTAL DA USINA DE DESSALINIZAÇÃO

De acordo com a 1.638/2017 de São Mateus/ES, um empreendimento de dessalinização deverá ser obter Licença Prévia, Licença de Instalação e Licença de Operação junto à Secretaria Municipal de Meio Ambiente de São Mateus.

De acordo com o ANEXO I da referida lei, enquadramento do mesmo será do tipo "1.04 Captação de água mineral/potável de mesa (fonte/surgência) para

comercialização, associado ou não ao envase”. Já segundo o item 7 do ANEXO II, o empreendimento necessitará de elaboração de Estudo de Impacto Ambiental / Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA.

Caso haja supressão de vegetação, será necessário o requerimento de Anuência do Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal (IDAF). Não obstante, por se tratar de captação de águas subterrâneas, deverá ser solicitado junto à Agência Estadual de Recursos Hídricos – Agerh, a outorga de captação de recursos hídricos. Além disso, será necessário documento de manifestação favorável a implantação do empreendimento emitido pelo IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional) e, em caso de instalação em zona rural, Cadastro Ambiental Rural (CAR) emitido pelo IDAF.

6.6. PROJETO DA USINA DE DESSALINIZAÇÃO

6.6.1. Etapas da usina de dessalinização

As etapas desde a captação até o abastecimento urbano com a dessalinização foram a captação, o pré-tratamento, a dessalinização, o pós-tratamento, o reservatório e distribuição e o gerenciamento do rejeito.

6.6.1.1. Captação

Nesta etapa são utilizadas estruturas para extração da água da fonte e transmiti-la ao sistema. Serão utilizados poços de água subterrânea na região de Guriri/ES já empregados para abastecimento urbano pela SAAE, sendo necessária uma vazão de 298,89 m³/h. Levando em consideração que, em dezembro de 2021, a vazão desses poços existentes era de 178 m³/h, serão necessários a abertura de novos poços. A captação será feita por conjuntos motor-bomba e encaminhadas para o pré-tratamento na planta de dessalinização através de tubulações.

6.6.1.2. Pré-tratamento

Nessa etapa serão removidos os sólidos suspensos e haverá o controle do crescimento biológico. A vazão que chegará nessa etapa será de 298,89 m³/h e dela sairá uma vazão de 278,96 m³/h.

6.6.1.3. Dessalinização

Nesta etapa ocorre o processo de dessalinização em si. Será utilizado motor-bomba para realizar a contrapressão nas membranas osmóticas, as quais serão 8 módulos do modelo DUPONT FILMTEC™ BW30HR-440 Element. A vazão de alimentação será de 278,96 m³/h, sendo produzidos duas correntes resultantes: uma de água doce, numa vazão de 209,22 m³/h e outra de rejeito salino, numa vazão de 69,74 m³/h. Esse rejeito salino, no cenário atual, possui concentração de sal de 298 mg/L e, num cenário hipotético cujo a água de alimentação possua maior salinidade, possuirá concentração de sal de 1.200 mg/L.

6.6.1.4. Pós- tratamento

A depender das exigências, no produto final do processo de dessalinização, no caso da água doce, será necessário um simples ajuste de pH (FERRARO, 2008), desinfecção usando hipoclorito de cálcio ou gás cloro e a remoção de gases dissolvidos que podem ter ultrapassado a membrana, como o ácido sulfídrico (H₂S) e o dióxido de carbono (CO₂) (GUERREIRO, 2009) e outros produtos químicos à água produzida para evitar a corrosão das tubulações a jusante (CANTÍDIO, 2018). Nesta etapa, a vazão de entrada e saída serão virtualmente iguais, ou seja, no valor de 209,22 m³/h.

6.6.1.5. Reservatório

Como o sistema não funcionará 24h por dia, haverá um reservatório para regularizar a distribuição. Nele, a vazão de entrada será de 209,74 m³/h, enquanto a vazão de saída será igual a 183,07 m³/h.

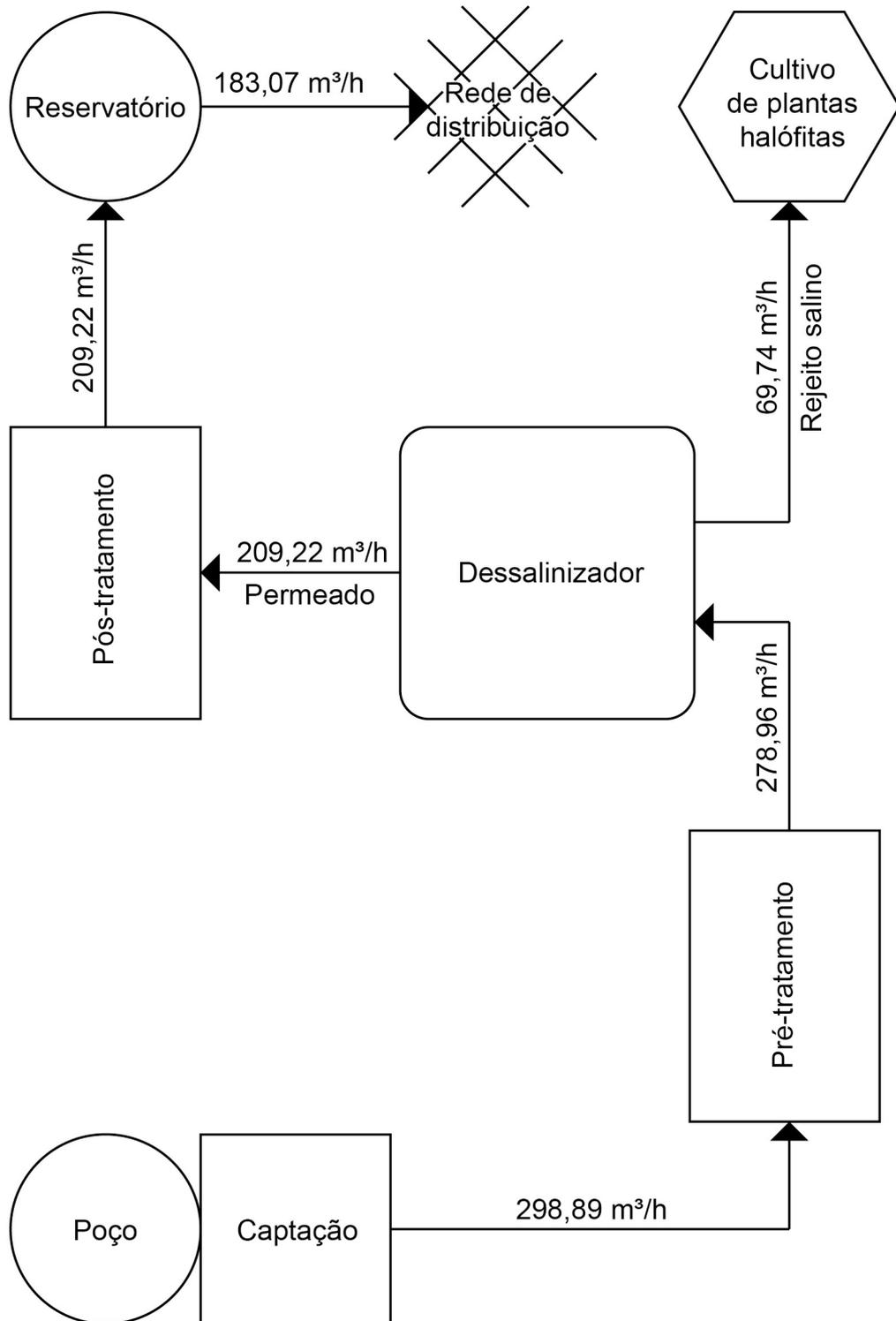
6.6.1.6. Gerenciamento do rejeito

De modo a dar a melhor destinação socioambiental e econômica para o rejeito, este será utilizado para o cultivo de plantas halófitas para produção de material forraginoso, o qual poderá ser utilizado na pecuária no norte e noroeste do Espírito Santo.

6.6.2. Esquematização

Valendo-se dos dados obtidos anteriormente, esquematizou-se o processo da dessalinização de forma simplificada e gráfica para melhor visualização dos resultados obtidos no presente trabalho, apresentado na Figura 27.

Figura 27: Esquematização simplificada do sistema de dessalinização para Guriri, São Mateus/ES.



Fonte: O Autor.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos anos, houve um déficit hídrico em Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus, a qual possui características similares ao semiárido nordestino, sendo classificada como uma Área de Entorno Susceptível à Desertificação. Assim, diante do cenário de escassez hídrica superficial no norte capixaba, tem-se que a exploração das águas subterrâneas de forma planejada poderá aumentar a segurança hídrica na região.

Devido ao fenômeno da exploração intensiva, ocorre o rebaixamento do nível de água do manancial subterrâneo. Em aquíferos litorâneos, esse fenômeno altera o equilíbrio da cunha salina, resultando na intrusão salina no aquífero e no comprometimento da reserva deste recurso subterrâneo. O processo de salinização das águas subterrâneas e superficiais já tem assolado a região costeira do norte capixaba.

Como resposta em cenários de escassez de água, países ao redor do mundo, tem utilizado a dessalinização, a qual trata-se de um processo de remoção dos sais dissolvidos na água de forma a produzir água doce. No Brasil, temos exemplos de uso da tecnologia no sertão nordestino e no arquipélago de Fernando de Noronha.

Pelo dimensionamento da usina de dessalinização de água salobra em Guriri, foi possível notar que seria necessário a abertura de novos poços, pois os existentes e operados pela concessionária local não supririam a demanda.

Pode-se concluir que o sistema de dessalinização de águas subterrâneas na localidade de Guriri, São Mateus/ES pode ser viável, principalmente se for levado em consideração um cenário de crise hídrica onde a dessalinização seja necessária para garantir a segurança hídrica da população. Se ter em vista a salinidade da água do mar e dos mananciais subterrâneos, a segunda opção torna-se mais vantajosa.

Apesar de gerar impactos ambientais, principalmente por conta do rejeito altamente salino e do consumo de energia, medidas mitigadoras podem ser tomadas, como o reaproveitamento da pressão para produção de energia elétrica, utilização de placas solares e destinação do rejeito para o cultivo de plantas halófitas a fim de produzir material forrageiro para consumo na pecuária.

Por fim, indico a trabalhos futuros: o dimensionamento e projeto dos demais elementos de uma planta dessalinizadora, com foco mais específico nas áreas civil, mecânica e química; a realização de uma análise de viabilidade econômica da implementação de uma planta de dessalinização; o estudo aprofundado de meios para a realização do aproveitamento energético da pressão; e o dimensionamento da atividade de produção de plantas halófitas com o rejeito salino gerado.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS – AGERH. **Diagnóstico e Prognóstico das Condições de Uso da Água na Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus**. Espírito Santo, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2007.

BARRETO-NETO, A. A.; MARCHESI, A. F. **Avaliação da vulnerabilidade socioambiental à desertificação no Estado do Espírito Santo, Brasil**. RBCIAMB, Vitória, n. 51, p. 28-40, mar. 2019.

BEZERRA, A. G. **Estudo da tecnologia de filtração por osmose reversa na purificação da água**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciência e Tecnologia). Universidade Federal Rural do Semiárido. Caraúbas, 2018.

BONOMO, S. **Trajetórias e tendências da centralidade de São Mateus (ES): a importância de uma cidade (sub) regional na rede urbana capixaba**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2010.

BOTEGA, L. A. M. *et al.* **Sistema de rede de abastecimento de água: Estudo de concepção na comunidade do Igarau – São Luís**. Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão. Paranaguá, PR, v.5, n.8, p. 300-01, 300-27, 2020.

BOZZATO, Giordany. **Ministério da Infraestrutura autoriza porto em São Mateus**. Disponível em: <<https://www.agazeta.com.br/es/economia/ministerio-da-infraestrutura-autoriza-porto-em-sao-mateus-0520>>. Acesso em: 26 de setembro de 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Atlas das áreas susceptíveis a desertificação do Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 134 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Documento Base do Programa Água Doce**. Brasília, 2012.

BRASIL. **Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/>>. Acesso em: 16 de fevereiro de 2022.

BURN, S. et al. **Desalination techniques – A review of the opportunities for desalination in agriculture**. Desalination, 2015.

CALA, A. **Spain's Desalination Ambitions Unravel**. Disponível em: < <https://www.nytimes.com/2013/10/10/business/energy-environment/spains-desalination-ambitions-unravel.html>>. Acesso em: 29 de agosto de 2021.

CANTÍDIO, M. C. M. **Estudo da viabilidade de implantação de um sistema de dessalinização de água em município do estado do Rio Grande Do Norte**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DO AGRONEGÓCIO – CEDAGRO. **Levantamento das áreas agrícolas degradadas no estado do Espírito Santo**. Documento Completo. Vitória, 2012.

COELHO, C. M. N. **Dessalinização Via Osmose Inversa Utilizando a Energia Solar Fotovoltaica**. Dissertação (Licenciatura em Engenharia em Energias Renováveis). Universidade do Mindelo, Mindelo, Cabo Verde, 2017.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO – COMPESA. **Modernização dos dessalinizadores vai ampliar abastecimento de água em Fernando de Noronha**. Disponível em: < <https://servicos.compesa.com.br/modernizacao-dos-dessalinizadores-vai-ampliar-abastecimento-de-agua-em-fernando-de-noronha/>>. Acesso em: 29 de agosto de 2021.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre o licenciamento ambiental**. Ministério do Meio Ambiente, 1997.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **CONAMA nº 357, de 15 de junho de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Ministério do Meio Ambiente, 2005.

CONTI, J. B. **O conceito de desertificação**. Climatologia e Estudos da Paisagem, Rio Claro, v. 3, n. 2, p. 39-52 jul/dez. 2008.

COSTA, T. R. **Estudos de biofilmes microbianos em membranas de osmose reversa**. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente - SMA, 2008.

DUPONT. **Product Data Sheet FilmTec™ BW30HR-440 Element**. Disponível em: <<https://www.dupont.com/content/dam/dupont/amer/us/en/water-solutions/public/documents/en/45-D01692-en.pdf>>. Acesso em: 08 de janeiro de 2022.

FALCÃO, L. **Governo do Ceará autoriza construção da maior usina de dessalinização de água do mar do País**. Disponível em: <<https://www.ceara.gov.br/2021/07/20/governo-do-ceara-autoriza-construcao-da-maior-usina-de-dessalinizacao-de-agua-do-mar-do-pais/>>. Acesso em: 29 de agosto de 2021.

FILHO, J. M. **Como dimensionar uma osmose reversa com o programa WAVE (ROSA)**. Água Engenharia: 02 de abril de 2021. 1 vídeo (55min:38seg). [Webinar]. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=cxdgq9nHSBM&ab_channel=%C3%81guaEngenharia>. Acesso em: 08 de janeiro de 2022.

FONSECA, A. W.; ASSUNÇÃO, M. K. M.; SILVA, W. C. T. **Ponderação de impactos ambientais de obras de terraplenagem**. Revista Científica Semana Acadêmica, Fortaleza, v. 1, n. 195, 2020.

FOUNDATION FOR WATER RESEARCH. **Desalination for Water Supply**. Bucks, UK, 2011. 35 p.

FEARNSIDE, P. M. **O processo de desertificação e os riscos de sua ocorrência no Brasil**. Acta Amazônica, v. 9, n. 2, p. 393-400, jun. 1979.

FUENTES-BARGUES, J. L. **Analysis of the process of environmental impact assessment for seawater desalination plants in Spain**. *Desalination*, v. 347, p. 166–174, 2014.

GLENN, E. P. *et al.* **Halophyte crops and a sand-bed solar concentrator to reduce and recycle industrial, desalination and agricultural brines**. Tucson: United States Department of the Interior. 78p. 1998.

GUERREIRO, M. L. F. B. **Dessalinização para produção de água potável: perspectivas para Portugal**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, 2009.

GUIMARÃES, A. J. A. *et al.* **Saneamento básico**. Apostila do Instituto de Tecnologia/Departamento de Engenharia – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2007.

HENTHORNE, L. **Desalination – a critical element of water solutions for the 21st century**. *Drinking Water – Sources, Sanitation and Safeguarding*, p. 47- 57, 2009.

HOEPNER, T.; LATTEMANN, S. **Chemical impacts from seawater desalination plants: a case study of the northern Red Sea**. *Desalination*, Amsterdam, v.152, n.1-3, p.133-140. 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Sinopses por Setores**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/censo2010/apps/sinopseporsetores/?nivel=st>>. Acesso em: 22 de setembro de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil>>. Acesso em: 24 de novembro de 2021.

INSTITUTO DE DEFESA AGROPECUÁRIA E FLORESTAL DO ESPÍRITO SANTO – IDAF. **Supressão de vegetação**. Disponível em: < <https://idaf.es.gov.br/supressao-de-vegetacao>>. Acesso em: 30 de janeiro de 2022.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER. **Gráficos da Série Histórica - São Mateus/ES**. Disponível em:

<https://meteorologia.incaper.es.gov.br/graficos-da-serie-historica-sao_mateus>.

Acesso em: 05 de fevereiro de 2022.

JUAN, J. A. M. S. **Desalación de aguas salobres y de mar**. Osmose inversa. Madrid: Mundi-Prensa. 395p. 2000.

LIMA, J. E. F. W. **Recursos hídricos no Brasil e no mundo**. Documentos / Embrapa Cerrados, Planaltina, v. 1, n. 33, 2001.

MAÑUECO, G. **The role of Sea Water Desalination in Spain**. In: WATER REUSE AND DESALINATION FOR LATIN AMERICA DEVELOPMENT. Rio de Janeiro, 2015.

MATALLO JUNIOR, H. **Glossário de Termos e Conceitos usados no Contexto da UNCCD**. Brasília: MMA, 2009.

MORAES, C.D; D´AQUINO, C. A. **Avaliação de impacto ambiental: uma revisão da literatura sobre as principais metodologias**. 5º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense – SICT-Sul. Disponível em: <<https://labhidrogeo.paginas.ufsc.br/files/2016/08/AIA-UMA-REVIS%C3%83O-DA-LITERATURA-SOBRE-AS-PRINCIPAIS-METODOLOGIAS.pdf>>. Acesso em: 30 de janeiro de 2022.

MOURÃO, M. A. *et al.* **Os sistemas aquíferos do norte do estado do Espírito Santo: potencial de exploração e diagnóstico atual de aproveitamento**. Anais. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Florianópolis - SC. 2002.

MULDER, M.H.V. **Basic Principles of Membrane Technology**. Holanda: Kluwer Acad Pub., 1991.

NUNES, R. **Maior usina de dessalinização do Brasil será construída no Ceará**. Disponível em: <<https://www.ceara.gov.br/2020/01/13/maior-usina-de-dessalinizacao-do-brasil-sera-construida-no-ceara/>>. Acesso em 29 de agosto de 2021.

OLIVEIRA, C. M. F. V. **Licenciamento Ambiental**. Monografia (Pós-Graduação em Direito). Faculdade de Direito da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

OLIVEIRA, J. I. R. **Estudos da Contribuição Potencial do Solo no Processo de Salinização de águas superficiais em uma pequena bacia hidrográfica do semiárido baiano.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.

PEREZ-MARIN *et al.* **Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica?** *Parc. Estrat*, Brasília, v. 17, n. 34, p. 87-106, • jan/jun 2012.

PLETSH, T. A. *et al.* **Avaliação de risco relativo de doenças de veiculação hídrica de fontes de abastecimento individual de água subterrânea localizadas no Bairro Guriri, São Mateus-ES.** In: Base de conhecimentos gerados na engenharia ambiental e sanitária. Ponta Grossa - PR: Atena, cap. 17,p. 204-356, 2021.

PORTO, E. R. *et al.* **Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*).** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.5, n.1, p.111-114, 2001

PUPPIN, L. G. *et al.* **Cenário tendencial de comprometimento hídrico na Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus - ES.** *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 8, n. 3, p. 172-192, out. 2019.

Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Mateus/ES – SAAE. **Resposta à carta consulta requerendo informações sobre abastecimento de água em Guriri/ES.** São Mateus, 2021.

SÁNCHEZ, L. H. Conceitos e Definições. **Avaliação de impactos ambiental: conceitos e métodos.** 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 18-43.

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. **Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil.** *Revista de Geografia*, Recife, v. 22, n. 1, p. 90-112, 2005.

SÃO MATEUS. **Decreto nº 7.929, de 30 de setembro de 2015.** Dispõe sobre declaração situação anormal provocada por desastre e caracterizada como Situação de Emergência, no Município de São Mateus. São Mateus, 2015.

SÃO MATEUS. **Termo de Referência: Concessão de Serviços Públicos de Transporte Coletivo de Passageiros do Município.** São Mateus, 2016.

SÃO MATEUS. **Decreto nº 9.686, de 23 de março de 2018.** Dispõe sobre declaração situação anormal caracterizada como Situação de Emergência, em toda extensão do Município de São Mateus/ES, afetada por estiagem. São Mateus, 2018.

NASCIMENTO, A. R. V. J.; SILVA, L. D. A. **Possíveis impactos ambientais gerados pela implantação de usina de dessalinização de água do mar no Rio Grande Do Norte.** In: SILVA, H. C. Engenharia Sanitária e Ambiental: Tecnologias para a Sustentabilidade 5. Atena Editora, Belo Horizonte, p. 201-210, 2020.

SCHNEIDER, R. P.; TSUTIYA, M. T., **Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reuso.** ABES, 1a ed., São Paulo, 2001.

SOARES, D. S.; FILHO, F. O. M.; NÓBREGA, R. S. **Sobre o processo de desertificação.** Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v. 1, p. 174-188, 2011.

SOARES, T. M. *et al.* **Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, n. 3, p. 730-737, 2006.

TAVARES, R. **Desalination Experience in Fernando de Noronha Archipelago,** In: WATER REUSE AND DESALINATION FOR LATIN AMERICA DEVELOPMENT. Rio de Janeiro, 2015.

TAYLOR, J. S.; JACOBS, E.P., **Reverse osmosis and nanofiltration.** In: Joel Mallevalle et al (eds), Water Treatment Membrane Processes, pp. 9.1-9.70. McGraw Hill, New York, 1996.

TORRI, J. B. **Dessalinização de água salobra e/ou salgada: métodos, custos e aplicações.** Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2015.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água.** 3ª Ed. São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

VILLES, V. S. *et al.* **Água como bem econômico: dessalinização para o combate da escassez hídrica no agronegócio.** Multitemas, Campo Grande, MS, v. 24, n. 57, p. 217-231, maio/ago. 2019.

YOUNOS T.; TULOU K.E. **Overview of Desalination Techniques.** *Journal of Contemporary Water Research & Education Issue.* Universities Council on Water Resources, 3-10, 2005.