

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (UTFPR)

EMERSON DAVID NEVES DOS SANTOS

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NO PROCESSO DE
DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA**

PONTA GROSSA

2024

EMERSON DAVID NEVES DOS SANTOS

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NO PROCESSO DE
DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA**

Utilization of Renewable Energy Systems in Water Desalination

Dissertação apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica no Programa do Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Angelo Marcelo Tusset

PONTA GROSSA

2024



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



EMERSON DAVID NEVES DOS SANTOS

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NO PROCESSO DE
DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Controle E Processamento De Energia.

Data de aprovação: 25 de Outubro de 2024

Dr. Angelo Marcelo Tusset, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Clivaldo De Oliveira, Doutorado - Universidade Federal da Grande Dourados (Ufgd)

Dra. Giane Goncalves Lenzi, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 30/10/2024.

Dedico este trabalho ao meu filho, pelos
momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Primeiramente gostaria de agradecer a minha família, meu filho Mikhael dos Santos, meu pai Sabino dos Santos e minha mãe Joana Neves, e claro a toda família "Lomd D'Venene", pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento ao meu orientador Prof. Dr. Angelo Marcelo Tusset, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus colegas do programa, pelos momentos e pela ajuda na adaptação.

Gostaria de agradecer a Secretaria do Curso, e a todos os professores que de alguma forma contribuíram para a construção de conhecimento, não apenas para realização deste trabalho, mas em minha formação como um todo até o presente momento.

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus de Ponta Grossa pela estrutura fornecida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - código de Financiamento 001, processo CAPES PDPG-CONSOLIDAÇÃO-3-4 88881.709929/2022-01.

“Engenharia: onde os nobres semi-hábeis
trabalhadores executam a visão daqueles que
imaginam e sonham. Olá, Oompa-Loompas
da ciência”
(Sheldon Cooper)

RESUMO

Neste trabalho é apresentado os resultados do potencial da integração de energias renováveis em um sistema de dessalinização na região do Planalto Norte, Santo Antão, Cabo Verde, onde a seca é um problema crítico, que vem afetando o bem-estar da população, a pecuária, e forçando a migração dos jovens. A pesquisa contribui para abordar a escassez de água potável na localidade, causada pelo clima semiárido e pela escassez de recursos hídricos naturais devido aos longos períodos de seca. Além disso, alinha-se com as energias renováveis, não apenas devido à falta de uma estrutura de eletricidade convencional, mas também para reduzir a dependência de combustíveis fósseis nesse processo, em conformidade com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas. A metodologia adotada inclui uma análise das condições climáticas, geográficas e socioeconômicas desse território insular, além de uma pesquisa exploratória das tecnologias existentes de modo a dimensionar uma dessalinizadora alimentada por energia renovável, como a energia solar. A análise documental indica que a utilização de energia solar para alimentar sistemas de tratamento de água salgada é viável e pode ser implementada eficazmente em Santo Antão. Ainda da análise se conclui que a Osmose Reversa (RO) alimentada por energia solar fotovoltaica (RO-PV) é a opção mais promissora, devido ao seu baixo custo operacional em comparação com alternativas tradicionais (ainda inexistentes na região) e também pelo favorecimento das condições climáticas da região, com praticamente sol durante todo o ano. Com os resultados obtidos pode se constatar que a adoção de sistemas de dessalinização baseados em energias limpas pode não apenas resolver a escassez de água do Planalto Norte, mas também servir como um catalisador para a transição energética da ilha, impulsionando a sustentabilidade e a resiliência da infraestrutura hídrica da localidade e servindo de exemplo para outras regiões insulares que enfrentam desafios semelhantes.

Palavras-chave: energias renováveis; osmose reversa; energia solar; Planalto Norte.

ABSTRACT

This study presents the results of integrating renewable energy into a desalination system in the Planalto Norte region of Santo Antão, Cape Verde, where drought poses a critical problem affecting the well-being of the population, livestock, and forcing youth migration. The research addresses the shortage of drinking water in the area, caused by the semi-arid climate and the scarcity of natural water resources due to prolonged drought periods. Additionally, it aligns with renewable energies not only due to the lack of conventional electricity infrastructure but also to reduce dependence on fossil fuels, in accordance with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs). The methodology includes an analysis of the climatic, geographic, and socioeconomic conditions of this island territory and an exploratory survey of existing technologies to design a renewable energy-powered desalination plant, such as solar energy. Document analysis indicates that using solar energy to power saline water treatment systems is viable and can be effectively implemented in Santo Antão. The analysis also concludes that solar photovoltaic (PV) powered reverse osmosis (RO) is the most promising option due to its low operational cost compared to traditional alternatives (still nonexistent in the region) and the favorable climatic conditions, with almost year-round sunshine. The results show that adopting desalination systems based on clean energy can not only resolve the water scarcity in Planalto Norte but also serve as a catalyst for the island's energy transition, promoting sustainability and resilience of the region's water infrastructure and serving as an example for other island regions facing similar challenges.

Keywords: renewable energy; reverse osmosis; solar energy; Planalto Norte.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura de um Sistema de Dessalinização	27
Figura 2 – Tecnologias de dessalinização usadas em fábricas em todo o mundo em 2019	33
Figura 3 – Citação do Secretário-Geral das Nações Unidas	36
Figura 4 – Unidade de Tratamento de Água por Osmose Reversa	37
Figura 5 – Mapa de Localização da Área de Estudo	46
Figura 6 – Esquema de um Sistema RO-PV	51
Figura 7 – Monthly Solar Irradiation Estimates - Grafico	59
Figura 8 – Monthly Solar Irradiation Estimates - Tabela de valores	59
Figura 9 – Monthly Average Temperature	60
Figura 10 – Área disponível para o parque fotovoltaico	64
Figura 11 – Photovoltaic Electricity Potential	86
Figura 12 – Direct Normal Irradiation	87
Figura 13 – Global Horizontal Irradiation	88

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Animais se alimentando e bebendo	19
Fotografia 2 – Cisterna de uma residência em Planalto Norte	26
Fotografia 3 – Carro transportando água para uma família	47
Fotografia 4 – Ordenha de cabras: Vida e Trabalho no Planalto Norte	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros da água do mar	55
Tabela 2 – Parâmetros da SW20K-LX	56
Tabela 3 – Resumo dos cálculos	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Análise Comparativa dos Principais Sistemas de Dessalinização . . .	49
Quadro 2 – Análise Comparativa das Fontes de Energia Renováveis	50
Quadro 3 – Análise Comparativa dos tipos de módulos fotovoltaicos	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abreviaturas

km^2	Quilómetros quadrados
m^3	Metros cúbicos
m^3/dia	Metros cúbicos por dia
m^3/h	Metros cúbicos por hora
Amps	Amperes
Gal/dia	Galão por dia
h	Hora
h/dia	Horas por dia
km	Quilómetros
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-hora
kWh/m^2	Kilowatt-hora por metro quadrado
$KWh/m^2/ano$	Kilowatt-hora por metro quadrado por ano
$KWh/m^2/dia$	Kilowatt-hora por metro quadrado por dia
kWh/m^3	Kilowatt-hora por metro cubico
kWh/dia	Kilowatt-hora por dia
L	Litros
L/m^2	Litros por metro quadrado
L/dia	Litros por dia
L/H	Litros por Hora
l/min	Litro por minuto
m	Metros

mg/L	Miligramas por Litros
PH	Potencial hidrogeniônico
V	Volts
W	Watt
Wh	Watt-hora
Wh/m ²	Watt-hora por metro quadrado
Wh/m ² /dia	Watt-hora por metro quadrado por dia

Siglas

DCV	Destilação por Compressão de Vapor
ED	Eletrodíálise
ERPCV	Plano de Energias Renováveis para Cabo Verde
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, do inglês <i>Food and Agriculture Organization</i>
FER	Fontes de Energia Renovável
GCV	Governo de Cabo Verde
GEE	Gases de Efeito Estufa
HP	Horse Power
HSP	Horas de Sol Pleno
MED	Destilação Multiefeitos
MSF	Destilação Multiestágios
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PVGIS	Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica, do inglês <i>Photovoltaic Geographical Information System</i>

RO	Osmose Reversa
RO-PV	Osmose Reversa - Fotovoltaico
SD	Destilação Solar
UN	Nações Unidas, do inglês <i>United Nations</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Considerações Iniciais	17
1.2	Objetivos	18
1.2.1	Objetivo geral	18
1.2.2	Objetivos específicos	18
1.3	Justificativa	18
1.4	Contribuições da Dissertação	20
1.5	Estrutura do trabalho	20
1.6	Metodologia	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1	Contextualização	23
2.2	Dessalinização de Água do Mar: Uma Abordagem Sustentável	24
2.3	Demanda Global por Água e Dessalinização	25
2.4	Métodos de Dessalinização	26
2.4.1	Processos Térmicos - Destilação	27
2.4.1.1	<u>Destilação Multiestágios (MSF)</u>	28
2.4.1.2	<u>Destilação Multiefeitos (MED)</u>	28
2.4.1.3	<u>Destilação por Compressão de Vapor (DCV)</u>	28
2.4.1.4	<u>Destilação Solar (SD)</u>	29
2.4.2	Processos de Separação por Membranas	29
2.4.2.1	<u>Eletrodialise</u>	29
2.4.2.2	<u>Osmose Reversa</u>	29
2.5	Custo-Benefício da Dessalinização em Comparação com Outras Fontes	30
2.6	Estratégias para Minimizar Impactos Ambientais	30
2.7	Estratégias Globais para o Aumento do Acesso à Água Potável	31
2.8	Dessalinização (Síntese)	32
2.9	Energias Renováveis	33
2.9.1	Tipos de Energias Renováveis	34
2.9.1.1	<u>Energia Solar</u>	34
2.9.1.2	<u>Energia Eólica</u>	34

2.9.1.3	Energia Hidrelétrica	34
2.9.1.4	Energia Geotérmica	35
2.9.1.5	Energia Marinha	35
2.9.2	Importância das Energias Renováveis	35
2.10	Energias Renováveis na Dessalinização	36
2.11	Sistemas de Osmose Reversa Alimentados por Energia Solar	37
2.12	Plantas de Dessalinização Movidas por Turbinas Eólicas	38
2.13	Dessalinização e Energias Renováveis: Impactos Sociais e Econômicos	38
2.13.1	Considerações sobre Custos	38
2.13.2	Acessibilidade	39
2.13.3	Benefícios para as Comunidades Locais	39
2.14	CONSERVAÇÃO DA ÁGUA	40
2.14.1	Importância da Gestão Eficiente dos Recursos Hídricos	40
2.14.2	Estratégias para a conservação da água	41
2.14.3	Estratégias em Diferentes Contextos	42
2.14.4	Desigualdade na Distribuição da Água no Mundo	43
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
3.1	Localização e Contextualização	44
3.1.1	Cabo verde	44
3.1.2	Planalto Norte	45
3.2	Seleção do Processo Tecnológico	48
3.2.1	Osmose Reversa - Fotovoltaico (RO-PV)	50
3.3	Dimensionamento Da Unidade De Dessalinização	52
3.3.1	Capacidade de Produção	53
3.3.1.1	<u>Demanda de Água da População</u>	53
3.3.1.2	<u>Consumo para Animais</u>	53
3.3.1.3	<u>Demanda Total</u>	55
3.3.2	Parâmetros da água do mar	55
3.3.3	Apresentação do Sistema de Osmose Reversa SW20K-LX	55
3.4	Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico	56
3.4.1	Caracterização da Demanda Energética	57
3.4.2	Caracterização do Local e Condições Climáticas	58

3.4.2.1	Irradiação Solar e Potencial Energético	58
3.4.3	Cálculo do Número de Módulos fotovoltaicos ou Painéis solares (N_p)	61
3.4.4	Cálculo da Capacidade das Baterias (C_b)	64
3.4.5	Cálculo da Corrente dos Controladores de Carga (I_c)	65
3.4.6	Dimensionamento do Inversor	65
3.4.7	Parâmetros de Consumo com Base na Capacidade Máxima	66
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
4.1	Limitações do Trabalho	69
4.2	Trabalhos Futuros	70
	REFERÊNCIAS	71
	ANEXO A MAPAS DE RECURSOS SOLARES DE CABO VERDE	86
	ANEXO B PROPOSAL - AMPAC SEA WATER DESALINATION: MODEL SW20K-LX	90
	ANEXO C PVGIS-5 GEO-TEMPORAL IRRADIATION DATABASE	104
	ANEXO D DAILY IRRADIANCE DATA	107

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

A água potável é um dos bens essenciais para a vida humana e também para a existência de toda a fauna e flora (Panagopoulos; Haralambous, 2020). Atualmente, a disponibilidade de água para ingestão em volume e padrão suficientes representa um direito primário de cada indivíduo, tal é sua importância para o bem-estar social e avanço econômico das sociedades (Ahmadi *et al.*, 2020; Mushtaq; Bandh; Shafi, 2020; Pinho; Galdino, 2014; Vilas-Boas *et al.*, 2008). Porém, a quantidade de água doce no mundo é surpreendentemente pequena em comparação com o volume total de água no planeta, sendo que, dos recursos hídricos disponíveis, apenas menos de 3% representam a água doce, e a maioria dessa água está em geleiras ou águas subterrâneas (Ahmed; Khalil; Hilal, 2021; Cruz, 2012; Lawal; Qasem, 2020; Lisboa *et al.*, 2023; Tamasco *et al.*, 2022), e 0,4% está disponível nas superfícies ou na atmosfera (GOVBR, ; Ahmed; Khalil; Hilal, 2021). Cabo Verde, um país insular, com a área terrestre de 4.033 km² e área marítima de 734.265 km², ou seja, uma área marítima que representa cerca de 99,84% do total da área de Cabo Verde (Machado, 2010; INE, 2019a; INE, 2024a), o acesso à água doce é mais escasso ainda.

A salvaguarda da água potável e o seu uso sustentável formam a base para o desenvolvimento social e econômico das nações e são componentes fundamentais para garantir a qualidade de vida no planeta.

A escassez de recursos hídricos tem se tornado cada vez mais problemática, especialmente em áreas isoladas como o Planalto Norte do Porto Novo, em Santo Antão, Cabo Verde. Esta região remota vem enfrentado longos períodos de seca, pelo que é essencial explorar tecnologias sustentáveis, como a dessalinização, para ser uma alternativa às fontes existentes de água. Esta tecnologia pode ser uma solução viável para o problema do abastecimento de água potável na região, tanto para consumo humano quanto para a agropecuária.

O Planalto Norte é uma região com uma rede elétrica ainda precária, portanto, pensar na Dessalinização da Água mediante Energias Renováveis, recursos abundantes na região (ondas do mar, sol durante todo o ano, vento no topo das montanhas), é pensar na sustentabilidade do projeto, projeto que se encontrar alinhado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), do Governo de Cabo Verde (GCV) e das Nações Unidas, do inglês *United Nations* (UN), abrangendo quase todos os 17 objetivos (ONU, 2024), principalmente a:

- 3. Saúde e Bem-Estar: O acesso à água potável melhora expressivamente a saúde das pessoas, reduzindo doenças transmitidas pela água e proporcionando condições de higiene apropriadas.

- 6. Água Potável e Saneamento: Esse projeto diretamente aborda o objetivo de fornecer água potável e saneamento básico a todos, garantindo que a água seja segura para o consumo humano.

- 7. Energia Limpa e Acessível: Ao usar energia renovável acoplada ao sistema de dessalinizar, está promovendo o acesso à energia limpa e acessível, contribuindo para a redução da pobreza energética e para a mitigação das mudanças climáticas.

- 13. Ação Contra a Mudança Global do Clima: O uso de energia renovável para dessalinizar a água contribui diretamente para a redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), ajudando a combater a mudança climática.

Em resumo, abastecer a região do Planalto Norte com água dessalinizada usando energia renovável não só satisfaz diretamente vários ODS, mas também contribui para um desenvolvimento mais equitativo, saudável e sustentável a longo prazo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é avaliar o potencial da dessalinização utilizando energias renováveis. O intuito é desenvolver um trabalho que valide esta tecnologia, fazendo o dimensionamento da dessalinizadora para alimentar o bairro do Planalto Norte, levando em conta a sua autonomia energética.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho incluem:

- Analisar a problemática da escassez de água e as consequências da seca no Planalto Norte;
- Explorar a tecnologia de dessalinização utilizando energia solar e/ou outras Fontes de Energia Renovável (FER);
- Estudar a aplicabilidade e a viabilidade da dessalinização descentralizada para o caso;
- Pré-dimensionar o sistema considerando as características do local de aplicação;
- Definir uma central de dessalinização;
- Pré-dimensionar o sistema de fornecimento de energia elétrica;

1.3 Justificativa

A população de Santo Antão, conhecida como “Ilha das Montanhas”, depende principalmente da agricultura e da pecuária para sobreviver, e os habitantes do Planalto Norte não são exceções.

Com a falta de chuvas, a população tem sofrido, sem soluções para alimentar seus animais, os quais são mantidos principalmente através do ração (milho), do pasto recolhido dos vales ou do ato de pasturar os mesmos.

Fotografia 1 – Animais se alimentando e bebendo



Fonte: Autoria própria (2024).

A falta de água não só contribui para a morte dos animais por fome e sede, mas também força a camada jovem dos seus habitantes a migrar, deixando os mais velhos para trás, mas com a intenção de proporcionar-lhes uma vida melhor no futuro. Portanto, é necessário encontrar uma solução para que os jovens não abandonem sua terra natal, os mais velhos tenham uma vida mais fácil e que todos tenham água potável suficiente para suprir suas necessidades e as de seus animais.

Planalto Norte é uma região com sol praticamente o ano todo, ventos fortes que sopram entre seus vales e montanhas, e está próxima do mar (uma fonte inesgotável de água). Portanto, faz sentido combinar todos esses recursos naturais e criar as condições propícias para a implementação de uma central de dessalinização.

Assim, a tecnologia de dessalinização através do uso de energias renováveis é uma solução viável para resolver o problema do abastecimento de água potável na região em específica e em muitas outras de igual nomenclatura existentes no país.

1.4 Contribuições da Dissertação

Esta dissertação visa oferecer contribuições importantes para a compreensão e resolução da problemática da escassez de água no Planalto Norte, em Santo Antão, Cabo Verde, e em outras regiões de igual nomenclatura. Destacando assim as principais contribuições:

- **Análise Profunda da Situação Atual:** fornece uma análise da atual escassez de água na região, destacando os problemas resultantes das secas prolongadas e demonstra a urgência da procura de soluções sustentáveis.

- **Exploração da Tecnologia de Dessalinização:** faz uma abordagem sobre as tecnologias de dessalinização e como são uma solução em potencial para o problema, com foco especial na utilização de energias renováveis para a dessalinização da água do mar.

- **Projeto para Implementação:** propõe um projeto para a implementação de uma central de dessalinização na região. Considera as características locais e os recursos disponíveis, garantindo uma solução adaptada ao contexto específico.

- **Contribuição para a Literatura Existente:** contribui, portanto, para a literatura existente sobre dessalinização utilizando energias renováveis, fornecendo um estudo de suma importância que pode ser referência para pesquisas futuras.

- **Abordagem Sustentável e Alinhada com Objetivos de Desenvolvimento:** apresenta uma abordagem sustentável e ecologicamente correta para a gestão de recursos hídricos, alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Governo de Cabo Verde e das Nações Unidas.

Em análise, esta dissertação visa não apenas enriquecer o corpo acadêmico, mas também impactar positivamente a vida das pessoas no Planalto Norte, melhorando significativamente o acesso à água potável e, por conseguinte, a qualidade de vida dos moradores dessa região.

1.5 Estrutura do trabalho

Este documento está estruturado em quatro capítulos principais, cada um subdividido em várias seções. O quinto capítulo apresenta a bibliografia consultada, enquanto o sexto capítulo contém os anexos que serviram de base para a realização do trabalho.

Capítulo 1 - oferece uma visão geral do contexto em que a pesquisa está inserida, destacando a importância da dessalinização e das energias renováveis para o desenvolvimento sustentável em Cabo Verde. São apresentados os objetivos gerais e específicos do estudo, a justificativa da escolha do tema, as contribuições esperadas para o campo de estudo, a estrutura do trabalho e a metodologia.

Capítulo 2 - são explorados os conceitos fundamentais que sustentam a pesquisa. São discutidos temas como a dessalinização de água do mar, incluindo os métodos mais comuns, como osmose reversa e destilação. Além disso, são analisados os custos e benefícios associa-

dos à dessalinização e as estratégias para minimizar os impactos ambientais decorrentes desse processo. Também são abordadas as energias renováveis, onde se vê a sua importância e seu uso na dessalinização.

Capítulo 3 - apresenta os achados principais da pesquisa, fornecendo uma descrição geral do país insular, com foco na disponibilidade de recursos hídricos e energéticos. Ela ainda faz a contextualização do Planalto Norte, abordando as características geográficas e socioeconômicas. Ainda, é feita a seleção do processo tecnológico, destacando a osmose reversa como a tecnologia mais eficiente e sustentável para a região, fazendo assim o dimensionamento dessa tecnologia tanto para a dessalinização como para o fornecimento de energia.

Capítulo 4 - resume o trabalho realizado, revisitando os objetivos, o referencial teórico e a tecnologia utilizada. Apresenta ainda as limitações do projeto e propostas para trabalhos futuros.

1.6 Metodologia

A crescente escassez de água potável e energia aponta positivamente para soluções que utilizem o potencial energético local, contudo sem degradar o meio ambiente. A associação de duas tecnologias modulares, a dessalinização e energia renovável, possibilita a obtenção de água potável em locais remotos onde a energia solar é abundante.

Esse projeto tem como base uma pesquisa exploratória, porque para atingir o objetivo principal, que é o dimensionamento de uma dessalinizadora alimentado por energia renovável, é necessário primeiro entender o funcionamento dessa tecnologia, para depois conseguir abordar a melhor perspectiva para a realidade do trabalho.

Todos os dados utilizados nesse trabalho foram obtidos através de pesquisas bibliográficas, foram usados artigos científicos, teses de doutoramento, dissertações de mestrado, documentos oficiais entre outros.

Para chegar ao objetivo principal, que consiste no dimensionamento da dessalinizadora, foi necessário realizar os seguintes passos:

- Escolher o local onde será construído e instalado a dessalinizadora.
- Depois de fazer a escolha do local é necessário saber que tecnologia irá ser dimensionada nesse local, será apresentada algumas vantagens associadas a esse tipo de tecnologias, e assim será fácil perceber o porquê dessa escolha.
- Para obter melhores resultados nesse dimensionamento será necessário fazer uma pesquisa de mercado, levantamento de informações sobre os principais fabricantes e fornecedores dos sistemas de dessalinização. Sendo que há várias possibilidades no mercado, serão analisadas as características técnicas e operacionais de cada sistema, tendo em conta a produção de água potável, eficiência energética, compatibilidade com energia solar, e custo.

- Depois de feita a escolha do sistema da dessalinizadora de acordo com o caudal de água a ser fornecido, será feita o dimensionamento do gasto energético, tendo sempre em vista o rendimento pretendido, a viabilidade do projeto e a eficiência dessa tecnologia.

Importante destacar que o objetivo principal desse trabalho é apenas fazer o dimensionamento dos sistemas, sem qualquer intenção de fazer uma avaliação pós dimensionamento e otimização.

Os resultados que serão obtidos referem-se a: dimensão dessa tecnologia, possível quantidade de água dessalinizada que será colocada à disposição da população, bem como o tipo de dessalinizadora e energia a utilizar.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Contextualização

Em meio às áridas paisagens de Cabo Verde, onde os habitantes dependem da criação de gado para sua subsistência, a escassez de água doce é uma realidade constante. A falta de chuvas regulares e as secas recorrentes impõem desafios significativos à vida cotidiana dessas comunidades insulares, em particular à comunidade do Planalto Norte, Santo Antão. A região com origem vulcânica, relevo acidentado, igual à maioria das ilhas de Cabo Verde limita a retenção e infiltração da água das chuvas e a recarga das suas fontes naturais (Shahidian *et al.*, 2014).

A busca por soluções sustentáveis que possam suprir essa necessidade é urgente e crucial, nos direcionando para três soluções principais: tratamento e reciclagem; armazenamento em reservatórios; e tecnologias de dessalinização (Gude, 2016).

A crescente demanda global por água potável, especialmente em áreas propensas à seca, exige a exploração de métodos eficientes para garantir o abastecimento hídrico, e nesse contexto a dessalinização emerge como uma promissora alternativa para enfrentar esse cenário desafiador (Ihsanullah *et al.*, 2021; Moreira *et al.*, 2021). Dessalinização consiste em transformar água salgada em água doce, tornando-a potável e acessível para consumo humano, abastecimento de animais e uso agrícola (Abdelkareem *et al.*, 2018; Cruz, 2012; Curto; Franzitta; Guercio, 2021; Elsaid *et al.*, 2020; Panagopoulos; Haralambous, 2020).

A dessalinização não apenas atende à demanda crescente, mas também desempenha um papel crucial na sobrevivência e no desenvolvimento socioeconômico das comunidades (Ahmadi *et al.*, 2020). No entanto, o processo tradicional de dessalinização consome uma quantidade de energia significativa, muitas vezes proveniente de combustíveis fósseis, o que pode ser insustentável a longo prazo. Sendo assim, de acordo com Anand *et al.* (2021) e Okampo e Nwulu (2021), a integração de energias renováveis na dessalinização é fundamental para tornar esse processo mais sustentável e economicamente viável, ao oferecer uma abordagem inovadora para mitigar a escassez de água.

Além disso, fontes de energias renováveis como o solar, a eólica e a hidrelétrica podem alimentar sistemas de dessalinização, reduzindo o impacto ambiental associado ao processo, conforme mencionado por Abdelkareem *et al.* (2018), Bundschuh *et al.* (2021), Nassrullah *et al.* (2020) e Singh *et al.* (2020) nas suas pesquisas. Imagine sistemas de osmose reversa (RO) movidos por painéis solares ou plantas de dessalinização impulsionadas por turbinas eólicas. Essa abordagem não apenas fornece água potável de forma mais eficiente, mas também contribui para a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento socioeconômico dessas comunidades menos privilegiadas.

Diante do exposto, a combinação de dessalinização e energias renováveis representa uma esperança real para enfrentar os desafios hídricos em Cabo Verde. Essa abordagem não

apenas sacia a sede das pessoas e dos animais, mas também abre caminho para um futuro mais sustentável e resiliente.

2.2 Dessalinização de Água do Mar: Uma Abordagem Sustentável

Ao analisar estudos anteriores, é evidentemente demonstrado que a dessalinização é uma solução potencial para enfrentar a escassez de água no mundo (Ahmadi *et al.*, 2020; Curto; Franzitta; Guercio, 2021; Eke *et al.*, 2020; Gomes, 2011; Ihsanullah *et al.*, 2021). A dessalinização é um processo que envolve a remoção dos sais e impurezas da água do mar, tornando-a adequada para consumo humano e uso industrial (Alawad *et al.*, 2023; Al-Karaghoul; Renne; Kazmerski, 2009; Araújo, 2018; Cruz, 2012; Elsaid *et al.*, 2020; Panagopoulos; Haralambous, 2020), e pode ser adquirida por meio de diversas técnicas que podem ser agrupadas segundo os princípios em que estes processos se norteiam: dessalinização térmica (destilação solar, destilação multiestágio, destilação multiefeito, etc.) e dessalinização por membranas (electrodialise e osmose reversa) (Abdelkareem *et al.*, 2018; Ahmadi *et al.*, 2020; Alawad *et al.*, 2023; Al-Karaghoul; Kazmerski, 2013; Cruz, 2012; Gude; Fthenakis, 2020).

A dessalinização é uma tecnologia que vem se evoluindo, com diferentes métodos e tecnologias sendo desenvolvidos para tornar o processo mais eficiente e sustentável.

Uma abordagem sustentável para a dessalinização inclui a implementação de tecnologias de energia renovável, como a energia solar e eólica, para reduzir a pegada de carbono associada à produção de água doce a partir da água do mar (Anand *et al.*, 2021; Okampo; Nwulu, 2021). Adicionalmente, a pesquisa e o desenvolvimento de membranas de dessalinização mais eficientes e duráveis também demonstraram ser primordiais para reduzir o consumo de energia e os custos operacionais (Gude; Fthenakis, 2020; Mathioulakis; Belessiotis; Delyannis, 2007).

Em locais onde os recursos hídricos são limitados a água dessalinizada demonstra ser de vital importância para saciar as necessidades do dia a dia, pois proporciona uma fonte segura de água potável para essas comunidades (Curto; Franzitta; Guercio, 2021; Shalaby, 2017). Contudo, é essencial avaliar os impactos ambientais, como o descarte adequado dos resíduos salinos e seu impacto na vida marinha, e o uso de combustíveis fósseis nesse processo, pois esse está associado às emissões de GEE, e se empenhar em práticas sustentáveis ao se avançar com iniciativas de dessalinização, garantindo assim que as necessidades atuais sejam atendidas sem colocar em risco os recursos para as gerações futuras (Panagopoulos; Haralambous, 2020; Singh *et al.*, 2020).

Por conseguinte, a implementação de programas de educação e conscientização sobre o uso responsável da água dessalinizada é essencial. Isso pode incluir a promoção de práticas de conservação da água e o incentivo ao uso eficiente da água tratada, garantindo que a água dessalinizada seja usada de forma sustentável para atender às necessidades crescentes da população (Singh *et al.*, 2020).

Em suma, a dessalinização realizada de forma responsável e sustentável, é uma solução viável para a escassez de água, sendo um exemplo de como a inovação tecnológica pode desempenhar um papel decisivo na abordagem de desafios globais, desde que acompanhada por práticas ambientalmente conscientes e socialmente responsáveis.

2.3 Demanda Global por Água e Dessalinização

Como apontado pelas Nações Unidas (UN), o uso global de água tem aumentado cerca de 1% ao ano desde os anos 80, impulsionado pelo crescimento populacional, desenvolvimento socioeconômico e mudanças nos padrões de consumo. Estipula-se que a demanda por água aumente 20 a 30% até 2050, nomeadamente devido ao aumento da demanda nos setores industrial e doméstico (UNESCO, 2019).

Nas palavras de Okampo e Nwulu (2021), a dessalinização surgiu como uma solução possível para atender a essa procura, principalmente nos locais onde a escassez de água doce é um problema significativo.

É de suma importância analisar não só os aspectos técnicos e econômicos desta tecnologia, mas também ter em conta seus impactos ambientais e sociais, para que se possa ter um melhor entendimento do papel da dessalinização. Além do mencionado, a análise da demanda global por água potável deve levar em conta as projeções futuras, as mudanças climáticas e as políticas de gestão da água em diferentes países e regiões (Elsaid *et al.*, 2020).

A dessalinização de água, por processos como a osmose reversa e a destilação, tem se mostrado uma alternativa viável para suprir a crescente demanda por água potável em diversas regiões ao redor do mundo, como referido por Ahmadi *et al.* (2020). No entanto, Elsaid *et al.* (2020) ressalva a importância de considerar os custos energéticos associados a esses processos e os potenciais impactos ambientais, como a disposição dos resíduos salinos resultantes da dessalinização.

Além da dessalinização, existem outras tecnologias de fornecimento de água potável, como o tratamento de águas residuais ou a captação de água da chuva, sendo que cada uma tem suas próprias vantagens e desvantagens.

Por exemplo, enquanto a dessalinização pode fornecer uma fonte constante de água potável, ela também pode ter custos energéticos mais altos e pode estar sujeita a impactos ambientais negativos. Por outro lado, o tratamento de águas residuais, também conhecido por água cinza, pode ser mais econômico e ter um impacto ambiental menor, mas pode não ser adequado em áreas onde a qualidade da água é baixa ou ainda não existe uma rede de captação de águas residuais (rede de esgoto). E a captação de água da chuva permite poupar água potável, reduzindo custos e impacto ambiental, ao utilizar a água da chuva para atividades cotidianas, como no exemplo da Fotografia 2, ou seja, recorrendo a uma cisterna. Por outro lado, essa prática tem a desvantagem de depender das condições climáticas, podendo haver escassez em épocas de pouca chuva ou de secas (Bundschuh *et al.*, 2021; Zabidi *et al.*, 2020).

Fotografia 2 – Cisterna de uma residência em Planalto Norte



Fonte: A autoria própria (2024).

Enquanto dirigimos para um futuro onde a escassez de água se torna uma realidade cada vez mais urgente, a avaliação consciente das opções de dessalinização e essas outras estratégias de fornecimento de água potável serão essenciais para garantir um equilíbrio entre as necessidades humanas, a conservação dos ecossistemas aquáticos e a sustentabilidade ambiental.

Diante do exposto, a dessalinização desempenha um papel importante na satisfação da demanda global por água potável. No entanto, é crucial que consideremos todos os aspectos desta tecnologia, desde os custos energéticos até os impactos ambientais, ao avaliar sua viabilidade a longo prazo. Além disso, devemos continuar a explorar e implementar outras estratégias de fornecimento de água potável para garantir a segurança hídrica para todos.

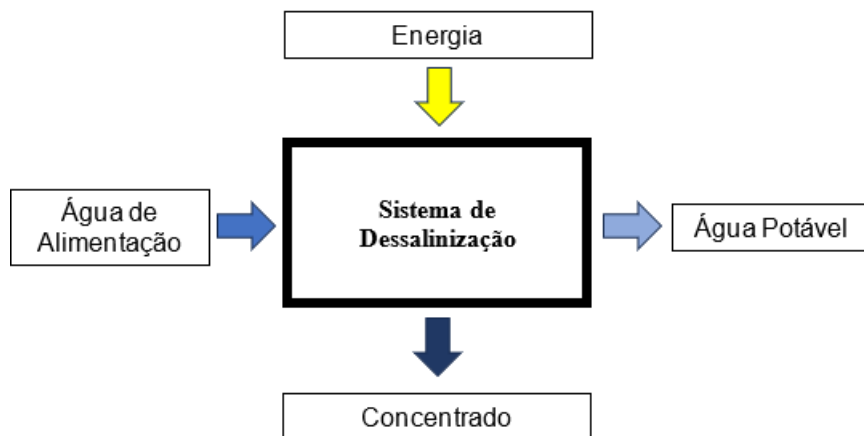
2.4 Métodos de Dessalinização

A dessalinização foi iniciada para aumentar a autossuficiência dos navios no século XVIII, produzindo água durante suas viagens, em vez de transportar grandes quantidades a

bordo (Curto; Franzitta; Guercio, 2021), e conforme a definição no artigo de Moreira *et al.* (2021), nas palavras de Bueros (2000):

A dessalinização é um método que utiliza energia para separar a água em duas partes: uma com baixa concentração de sais dissolvidos (água doce) e outra com concentração de sais dissolvidos muito maior do que a água de alimentação original (Bueros (2000) apud Moreira *et al.*, (2021)).

Figura 1 – Estrutura de um Sistema de Dessalinização



Fonte: Autoria própria (2024).

Ainda, corroborando a perspectiva de Moreira *et al.* (2021) junto de Jones *et al.* (2019) e de acordo também com Cruz (2012), essas tecnologias podem ser organizadas em duas categorias principais: térmicas e de membrana.

Existem diversos métodos de dessalinização a serem utilizados na sociedade atual, sendo os principais os processos térmicos, como a Destilação ou Evaporação, os processos de separação por membranas, como a Eletrodiálise (ED) e a Osmose Reversa (RO) (Abdelkareem *et al.*, 2018; Conde; Ferreira, 2022; Cruz, 2012) e além desses, algumas outras tecnologias estão em uso, como o congelamento (Bovaroti *et al.*, 2018; Ihsanullah *et al.*, 2021). Nesta seção, vamos analisar alguns dos métodos mais comuns e discutir suas características.

2.4.1 Processos Térmicos - Destilação

A destilação é um dos métodos mais antigos de dessalinização, foi usada para fornecer água potável aos navios oceânicos (Seigal e Zelonis, (1995) apud Greenlee *et al.* (2009)). A destilação, por sua vez, envolve uma variedade de tecnologias de dessalinização, nomeadamente: a Destilação Multiestágios (MSF), a Destilação Multiefeitos (MED), a Destilação por Compressão de Vapor (DCV) e a Destilação Solar (SD). Esses métodos permitem a obtenção de água doce, derivado da evaporação e condensação do vapor de água gerado pelo aquecimento da água salgada, o vapor produzido é transformado em água potável ao ser condensado

nos tubos do trocador de calor que atravessa cada estágio (Cruz, 2012; Gude; Fthenakis, 2020). Normalmente, apenas uma pequena fração da água de alimentação, ou seja, água salgada, é vaporizada e futuramente condensada (Bovaroti *et al.*, 2018).

Como mencionado por Cruz (2012), as principais vantagens desse processo são a produção de água de alta pureza, em contrapartida, é um processo intensivo em energia e pode ser dispendioso de operar e manter. Acrescentando a isso, a destilação requer uma fonte de calor para vaporização da água, o que muitas vezes é obtido por meio de fontes de energia convencionais, emitindo gases de efeito estufa e contribuindo para o aquecimento global e as mudanças climáticas.

2.4.1.1 Destilação Multiestágios (MSF)

A MSF é um processo que envolve a evaporação e a condensação da água em múltiplos estágios para remover os sais. O processo inicia-se com a introdução de água salgada em um primeiro estágio de evaporação, onde é aquecida e o vapor de água é enviado para um condensador, no condensador esse vapor de água é esfriado, convertendo-o novamente em água líquida, em seguida passa para o próximo estágio de evaporação, onde novamente é aquecida e o vapor de água é enviado para outro condensador. O processo de destilação multiestágios continua até que a água esteja suficientemente dessalinizada (Al-Karaghoulí; Kazmerski, 2013; Curto; Franzitta; Guercio, 2021; Lanna, 2020; Mezher *et al.*, 2011; Torri, 2015).

2.4.1.2 Destilação Multiefeitos (MED)

Semelhante à MSF, porém a MED utiliza o calor do vapor produzido em um estágio para evaporar a água no próximo. Esse é um processo mais eficiente termodinamicamente, pois utiliza o vapor de água doce formado em um estágio para evaporar a água no estágio seguinte (Al-Karaghoulí; Kazmerski, 2013; Curto; Franzitta; Guercio, 2021; Nassrullah *et al.*, 2020; Torri, 2015).

2.4.1.3 Destilação por Compressão de Vapor (DCV)

Neste processo, o vapor é comprimido para aumentar sua temperatura antes de ser usado para evaporar a água salgada, sendo que o calor utilizado nesse processo não vem da troca direta de calor do vapor produzido em uma caldeira e sim da compressão do vapor. Este processo é normalmente utilizado para sistemas de dessalinização de pequena e média escala, e durante esse processo, a pressão do vapor também pode ser ajustada conforme necessário (Al-Karaghoulí; Renne; Kazmerski, 2009; Bundschuh *et al.*, 2021; Lima, 2023).

2.4.1.4 Destilação Solar (SD)

A Destilação Solar (SD) utiliza a energia solar para evaporar a água e, em seguida, condensa o vapor para obter água doce. A destilação solar, embora utilize calor fornecido gratuitamente pela natureza, requer grandes áreas de terra para a exposição da água ao sol, limitando a produção de volumes de água doce, ou seja, a tecnologia é simples, o custo de capital é baixo, no entanto, o custo de produção de água é muito alto devido à baixa produtividade do destilador, sendo a taxa média de produção diária relatada do destilador varia de 4 a 6 l/m² (Araújo, 2018; Cruz, 2012; García-Rodríguez, 2002; Soliman *et al.*, 2021; Torri, 2015).

2.4.2 Processos de Separação por Membranas

O conceito de dessalinização da água por meio do uso de membranas surgiu na década de 1950, com os cientistas Reid e Breton e na década seguinte, os pesquisadores Sidney Loeb e Srinivasa Sourirajan desenvolveram a partir de acetato de celulose assimétrica, a primeira membrana utilizada no processo de osmose reversa (Curto; Franzitta; Guercio, 2021). Desde então, com o desenvolvimento de membranas cada vez mais eficientes e resistentes, a dessalinização se tornou uma prática global (Costa, 2017; Greenlee *et al.*, 2009; Munieweg; Santos; Segundo, 2018). Processos de separação por membranas são bastante utilizados na dessalinização de água salgada. Esses processos têm a capacidade de “filtrar” os sais dissolvidos quando se aplica um gradiente de pressão ou uma diferença de potencial elétrico entre as superfícies das membranas, possibilitando tratar a água sem recorrer a produtos químicos (Araújo, 2018; Cruz, 2012).

2.4.2.1 Eletrodíálise

Vários artigos/estudos definem a eletrodíálise como um método de dessalinização que utiliza membranas acionadas por energia elétrica para separar os íons positivos e negativos da água salobra (Conde; Ferreira, 2022; Lima, 2023; Soliman *et al.*, 2021). Embora seja menos comum do que a destilação e osmose reversa, a eletrodíálise é mais eficiente em termos de energia, tem menor sensibilidade ao cloro, alta taxa de recuperação e menor custo de capital (Wright *et al.*, apud Abdelkareem *et al.* (2018)), no entanto é um processo mais adequado para águas com teor de sal moderado (Al-Karaghoul; Renne; Kazmerski, 2010; Torri, 2015).

2.4.2.2 Osmose Reversa

A osmose reversa ou osmose inversa, como também é conhecida, é o processo de dessalinização mais utilizado atualmente, e se baseia na aplicação de pressão de modo a forçar a água com sal a atravessar por uma membrana semipermeável, deixando para trás o sal e

outras impurezas (Conde; Ferreira, 2022; Curto; Franzitta; Guercio, 2021; Munieweg; Santos; Segundo, 2018; Panagopoulos; Haralambous; Loizidou, 2019; Torri, 2015). Este método é mais eficiente em termos de energia do que a destilação, no entanto, a membrana pode ser suscetível a entupimento e degradação ao longo do tempo. Além do mencionado, a osmose reversa requer um pré-tratamento da água do mar para evitar danos à membrana e, desse modo, produzir água doce de alta qualidade (Bovaroti *et al.*, 2018; Cruz, 2012).

2.5 Custo-Benefício da Dessalinização em Comparação com Outras Fontes

As fontes de água doce tradicionais, como rios, lagos e aquíferos subterrâneos, estão se tornando cada vez mais escassos devido a fatores como mudanças climáticas, superpopulação e poluição. Em contraste, a dessalinização oferece uma fonte confiável e consistente de água doce, independente das fontes naturais de água (Gude e Fthenakis (2020), Schiffier, 2004 apud Ihsanullah *et al.* (2021)).

Quando se trata de uma comparação entre a dessalinização com outras fontes de água, é de suma importância olhar não só os custos iniciais, mas também a sustentabilidade a longo prazo e o impacto ambiental, bem como a disponibilidade de água doce na região. Embora a dessalinização necessite de investimentos que ao princípio possa ser cara para sua implementação, os avanços na tecnologia e a integração de energia renovável estão tornando-a mais economicamente viável e ecologicamente correta (Elsaid *et al.*, 2020; Haguenauer, 2021; Lattemann; Höpner, 2008; Panagopoulos; Haralambous; Loizidou, 2019).

Nesse contexto, a análise do custo-benefício da dessalinização em comparação com outras fontes de água doce evidencia não apenas a sua confiabilidade e independência das fontes naturais, mas também sua capacidade de superar desafios específicos, como a escassez de água potável. No entanto, para uma gestão eficaz dos recursos hídricos, é muito importante avaliar não apenas a viabilidade ecológica, mas também a sustentabilidade a longo prazo da dessalinização.

2.6 Estratégias para Minimizar Impactos Ambientais

A gestão da água salobra resultante da dessalinização é alvo de pesquisas intensivas para encontrar soluções sustentáveis e minimizar os impactos ambientais. Diversas abordagens têm sido propostas para a disposição do rejeito e o aproveitamento de recursos, com destaque para a implementação de sistemas de piscicultura e de forragicultura adaptadas às condições salinas, conforme defende Gurgel (2006) na sua monografia “Projeto de Gestão do Rejeito do Dessalinizador para o Consórcio Piscicultura/Forragicultura no Distrito de Juá, Ceará”.

Ainda colaborando com essa ideia Bezerra, Montero e Medeiros (2021) destaca a alternativa como viável, destacando que as tilápias são peixes que suportam altas concentrações

de sal na água e possuem características nutricionais valiosas, sendo uma opção interessante para aproveitar o rejeito e gerar produtos de valor.

Outra abordagem mencionada por Bezerra, Montero e Medeiros (2021), é o cultivo da mamona (*Ricinus communis*), uma planta resistente à seca que produz uma quantidade significativa de biomassa. Embora não seja recomendada para ração animal devido a seus princípios ativos tóxicos e alergênicos, a mamona pode ser uma opção para utilizar água salobra em cultivos agrícolas.

Além disso, Bezerra, Montero e Medeiros (2021), apontam estudos que mostram que o cultivo de forrageiras arbóreas ou arbustivas adaptadas às condições climáticas da região semiárida pode ser uma solução para amenizar a estacionalidade de alimentos. Espécies como a gliricídia, a leucina e a maniçoba apresentaram boas produtividades irrigadas com água salobra, especialmente após o período inicial de estabelecimento das culturas. Outras soluções para o rejeito da dessalinização são referidas por Soares *et al.* (2006) as ideias de Porto *et al.*, (2001) e por Panagopoulos, Haralambous e Loizidou (2019), incluindo o uso de bacias de evaporação, redução de volume de rejeito por plantas aquáticas, bacias de percolação e irrigação de plantas halófitas.

O cultivo de plantas halófitas, como a halófita *Atriplex nummularia*, também é destacado por Glenn *et al.*, 1998b citado por Soares *et al.* (2006), devido aos seus atributos favoráveis como cultura cicladora de rejeito, contribuindo para a redução do acúmulo de sais no ambiente.

Porem a escolha do método de eliminação de salmoura mais adequado, de acordo com Panagopoulos, Haralambous e Loizidou (2019), citando ideias de National Research Council, (2008) e Mickley, (2018), depende de vários fatores, tais como: quantidade, qualidade e composição da salmoura; a localização geográfica do local de eliminação; disponibilidade do local de recebimento; a permissibilidade da opção; aceitação pública; custos de capital e operacionais e a capacidade da instalação para expansão futura (Cruz, 2012; Torri, 2015).

Portanto, a combinação de diferentes abordagens, como o aproveitamento para criação de animais, cultivo de plantas adaptadas e técnicas de disposição do rejeito, pode ser uma estratégia eficaz para lidar com a água salobra gerada pelo processo de dessalinização de forma sustentável e ambientalmente responsável.

2.7 Estratégias Globais para o Aumento do Acesso à Água Potável

O aumento do acesso à água potável é uma preocupação a nível mundial, que exige estratégias abrangentes e coordenadas. De acordo com Ahmadi *et al.* (2020), diversas iniciativas e estratégias têm sido propostas para enfrentar a escassez de água em escala global, destacando entre eles a dessalinização como sendo uma das soluções viáveis.

Uma abordagem fundamental para aumentar o acesso à água potável é a implementação de práticas de conservação e uso eficiente da água, o que envolve a educação da popu-

lação sobre o uso responsável da água, bem como a adoção de tecnologias que minimizem o desperdício e otimizem o uso dos recursos hídricos.

Além disso, programas de reciclagem de água e captura de águas pluviais podem complementar as fontes tradicionais de água doce, contribuindo para a sustentabilidade hídrica em áreas urbanas e rurais. A gestão integrada de recursos hídricos, que envolvendo a coordenação entre diferentes setores e partes interessadas, também é essencial para garantir a disponibilidade de água potável (Mahon, 2022).

Quando se refere à dessalinização, a colaboração internacional e a partilha de conhecimentos são fundamentais para impulsionar o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e econômicas. Iniciativas para transferência de tecnologia e capacitação em países em desenvolvimento podem ajudar a expandir o uso da dessalinização como uma solução viável para a escassez hídrica (He *et al.*, 2021).

Além disso, novas abordagens, como a implementação de infraestrutura descentralizada de dessalinização em comunidades geograficamente isoladas ou afastadas dos centros urbanos, podem oferecer acesso confiável à água potável nessas áreas onde as fontes tradicionais são limitadas (Mbarga *et al.*, 2014; Shalaby, 2017).

Em resumo, estratégias globais para o aumento do acesso à água potável devem ser holísticas e adaptáveis às condições específicas de cada região. A combinação de conservação de água, gestão integrada de recursos hídricos e o desenvolvimento sustentável da dessalinização pode desempenhar um papel fundamental na promoção da segurança hídrica em escala global.

2.8 Dessalinização (Síntese)

Com a evolução das tecnologias de dessalinização, é possível perceber uma diversidade de métodos disponíveis atualmente. Cada um desses métodos possui vantagens e desvantagens diferentes, o que permite uma escolha mais adequada para cada aplicação específica, sendo que cada método de dessalinização tem seus próprios pontos fortes e fracos, e a escolha do melhor método dependerá das condições locais, custos operacionais e considerações ambientais, e é importante levar em conta as necessidades específicas de cada região (Cruz (2012), Torri (2015), Panagopoulos, Haralambous e Loizidou (2019), citando ideias de National Research Council, (2008) e Mickley, (2018)).

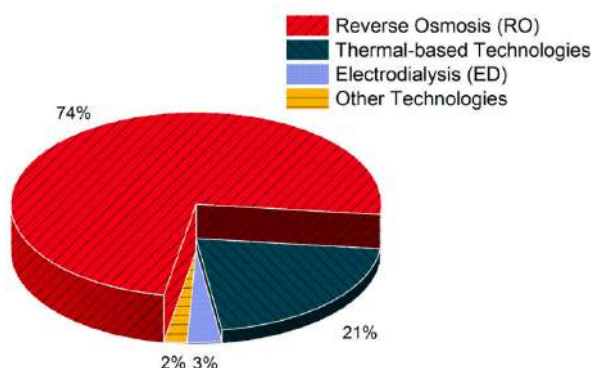
A destilação, apesar de apresentar um elevado consumo energético e exigir um investimento inicial considerável, destaca-se por produzir água de qualidade quase pura. Sua capacidade de acoplar-se a uma central elétrica produtora de energia também é uma vantagem significativa, tornando-a uma opção atraente em determinados contextos. No entanto, os altos custos operacionais e a necessidade de uma grande extensão de terreno podem ser considerados desvantagens importantes.

Quanto à eletrodialise, destaca-se por ter um consumo energético intermediário e exigir menores tratamentos químicos em comparação com outros sistemas. Seu custo de manutenção também é considerado baixo. No entanto, a produção de água de menor qualidade em relação a outras tecnologias pode ser uma desvantagem significativa, especialmente em cenários onde a qualidade da água é uma prioridade (Cruz, 2012).

A osmose reversa, por sua vez, é um método mais recente e amplamente utilizado devido à sua eficiência energética em comparação com outros métodos de dessalinização, mas requer um cuidadoso pré-tratamento da água do mar e investimentos constantes em manutenção das membranas (Cruz, 2012; Nassrullah *et al.*, 2020).

Sua versatilidade em lidar tanto com água salobra quanto com água do mar a torna uma opção amplamente aplicável, apresentando uma eficiência de remoção de sais superior, sendo responsável por cerca de 74% das plantas de dessalinização utilizadas em fábricas em todo o mundo (Panagopoulos; Haralambous, 2020), de acordo com a Figura 2.

Figura 2 – Tecnologias de dessalinização usadas em fábricas em todo o mundo em 2019



Fonte: Panagopoulos e Haralambous (2020).

Portanto, a escolha entre os métodos de dessalinização deve considerar cuidadosamente as vantagens e desvantagens de cada um, levando em conta fatores como consumo energético, custos operacionais e de manutenção, qualidade da água produzida e disponibilidade de recursos.

É importante ressaltar que não existe um método de dessalinização perfeito ou universalmente aplicável, sendo necessário considerar cuidadosamente a viabilidade econômica, a disponibilidade de recursos e as preocupações ambientais para determinar a melhor opção.

2.9 Energias Renováveis

As energias renováveis são aquelas obtidas a partir de fontes naturais e inesgotáveis, como o sol, o vento e a água. Elas desempenham um papel fundamental na redução da dependência de combustíveis fósseis e na mitigação das mudanças climáticas. Além disso, as energias renováveis são uma solução sustentável para atender às crescentes demandas energéticas globais (Ellabban; Abu-Rub; Blaabjerg, 2014; Hussain; Arif; Aslam, 2017; J; Majid, 2020).

2.9.1 Tipos de Energias Renováveis

Existem diversos tipos de energias renováveis, cada uma com suas características e formas de aproveitamento. Algumas das principais formas de energias renováveis são a energia solar, a energia eólica, a energia hidrelétrica, a energia geotérmica e a energia das mares (Deshmukh *et al.*, 2023; Moura, 2022).

2.9.1.1 Energia Solar

A energia solar é uma fonte de energia limpa e inesgotável, disponível em abundância em diversas regiões do mundo, que vem sendo usada desde os tempos pré-históricos, conforme apontado por Kalogirou (2004) no artigo “Solar thermal collectors and applications” onde ele faz um contexto histórico da energia solar.

Essa forma de energia renovável tem ganhado destaque devido à sua ampla aplicação em residências, indústrias e até mesmo em espaços urbanos, sendo que a captura da energia solar pode ser feita por meio de painéis fotovoltaicos, que convertem a luz do sol em eletricidade, ou por meio de sistemas de aquecimento solar (Bundschuh *et al.*, 2021; Ellabban; Abu-Rub; Blaabjerg, 2014; Esteban *et al.*, 2019).

2.9.1.2 Energia Eólica

A energia eólica é gerada a partir da força dos ventos, sendo uma das primeiras fontes naturais de energia utilizadas. Os aerogeradores transformam a energia cinética do vento em energia mecânica e, posteriormente, se necessário, em energia elétrica, conforme explicado por Pinto (2009) e Rahman, Farrok e Haque (2022).

A energia eólica é amplamente empregada como fonte de energia renovável, desempenhando um papel significativo no alcance das metas do acordo sobre mudanças climáticas. Ela contribui para a melhoria da segurança energética, o acesso à eletricidade e a redução dos impactos do consumo de combustíveis fósseis (Stern (2009) e UNFCCC, 2015 apud Sadorsky (2021)).

A contribuição da energia eólica para a geração de energia tem crescido rapidamente devido aos avanços tecnológicos dessa área. Tornou-se uma fonte mais barata e confiável, acessível em quase todos os países e com baixo impacto ambiental (Nourifard, 2021; Pinto, 2009).

2.9.1.3 Energia Hidrelétrica

A energia hidrelétrica é obtida a partir da força da água em movimento, geralmente por meio de barragens ou outros tipos de estruturas que controlam o fluxo e a queda da água. É

uma das formas mais antigas de geração de energia renovável (Rahman; Farrok; Haque, 2022) e, ainda hoje, desempenha um papel crucial na produção de eletricidade em muitos países, em destaque o Brasil. A energia hidrelétrica é considerada uma fonte de energia limpa, pois não emite poluentes durante a geração de eletricidade, tem um impacto relativamente baixo nas emissões de gases de efeito estufa e tem uma eficiência energética muito alta (Amaral *et al.*, 2021; Pinto, 2009; Tessarolo *et al.*, 2014).

2.9.1.4 Energia Geotérmica

A energia geotérmica é gerada a partir do calor proveniente do interior da Terra. Sistemas de aproveitamento geotérmico utilizam o calor natural do subsolo para a produção de eletricidade e aquecimento (Barbier, 2002; Ellabban; Abu-Rub; Blaabjerg, 2014; Rahman; Farrok; Haque, 2022; Rybach, 2003). Essa forma de energia renovável é altamente confiável e sustentável, uma vez que as fontes geotérmicas são constantes e previsíveis. Além disso, a energia geotérmica é uma alternativa importante para reduzir a dependência de combustíveis fósseis em regiões geotérmicas e gera uma emissão muito menor de gases de efeito estufa do que a maioria das outras tecnologias (Barbier, 2002; Rybach, 2003). Porém, de acordo com Rahman, Farrok e Haque (2022), ela só pode ser extraída de alguns lugares da terra.

2.9.1.5 Energia Marinha

A energia marinha renovável (oceânica) provém de seis fontes distintas: ondas, alcance das marés, correntes de maré, correntes oceânicas, conversão de energia térmica oceânica e gradientes de salinidade, cada uma com origens diferentes e exigindo diferentes tecnologias para conversão (Ellabban; Abu-Rub; Blaabjerg, 2014).

A Energia das Marés utiliza o fluxo e refluxo das marés para girar turbinas e gerar eletricidade de forma sustentável, semelhante às turbinas eólicas que usam a energia cinética do vento (Rahman; Farrok; Haque, 2022). A energia das marés é considerada uma forma de energia limpa e renovável, pois não emite poluentes e utiliza um recurso natural disponível de forma consistente. No entanto, o aproveitamento da energia das marés continua em estágios iniciais de desenvolvimento e a viabilidade econômica de projetos de energia das marés ainda é um desafio (Hussain; Arif; Aslam, 2017; Khare; Bhuiyan, 2022; Ricketts; Dimri; Maheri, 2022).

2.9.2 Importância das Energias Renováveis

As energias renováveis desempenham um papel crucial na transição para um futuro energético mais sustentável e limpo. Além de reduzirem a emissão de gases de efeito estufa e minimizarem o impacto ambiental, essas fontes de energia contribuem para a segurança ener-

gética, a criação de empregos e o desenvolvimento econômico (Ellabban; Abu-Rub; Blaabjerg, 2014; Hussain; Arif; Aslam, 2017).

Investir em energias renováveis é fundamental para garantir um suprimento de energia seguro e confiável, ao mesmo tempo, em que protege o meio ambiente e promove o bem-estar da sociedade (Martins *et al.*, 2019). Ademais, as energias renováveis ajudam na democratização da energia, permitindo que a população possa assumir um papel ativo na geração e consumo de energia. Isso é especialmente importante em áreas rurais ou remotas, onde a conexão com a rede elétrica tradicional pode ser limitada (Abdelkareem *et al.*, 2018; Alawad *et al.*, 2023). Ao adotar e expandir o uso de energias renováveis, as comunidades podem se tornar mais autossuficientes e reduzir a dependência de fontes de energia não renováveis e poluentes (Bundschuh *et al.*, 2021; Hussain; Arif; Aslam, 2017; ONU, 2022).

De modo geral, e atendendo ao apelo do Secretário-Geral das Nações Unidas, conforme Figura 3, o investimento contínuo em tecnologias de energias renováveis é fundamental para encarar os desafios globais relacionados à energia, à sustentabilidade ambiental e às mudanças climáticas. A diversificação da matriz energética com ênfase em fontes renováveis não apenas reduzirá a pegada de carbono, mas também promoverá um futuro energético mais seguro, resiliente e equitativo para as gerações atuais e futuras.

Figura 3 – Citação do Secretário-Geral das Nações Unidas



Fonte: ONU (2022).

2.10 Energias Renováveis na Dessalinização

Referente as aplicações de energias renováveis na dessalinização, existem diversas opções que podem ser exploradas e o uso da energia solar fotovoltaica é uma das escolhas que vem sendo frequentemente adotada, pois ela transforma a luz solar em eletricidade diretamente por meio de painéis solares que depois é aproveitado nesses processos (Al-Karaghoul; Renne; Kazmerski, 2010; García-Rodríguez, 2002). Outra opção é a energia eólica, que utiliza a força do vento para gerar eletricidade por meio de turbinas eólicas. Além disso, a energia hidrelétrica pode ser aproveitada em regiões próximas a rios ou reservatórios, utilizando a força da água para gerar energia elétrica. A energia das ondas e a energia das marés também podem

ser exploradas em áreas costeiras, convertendo o movimento das ondas em energia elétrica (García-Rodríguez, 2002; Srivastava *et al.*, 2019).

A dessalinização é um processo vital para fornecer água potável em regiões áridas ou semiáridas, sobretudo em regiões remotas. A utilização de energias renováveis, como a energia solar e eólica, para impulsionar os sistemas de dessalinização, pode tornar esse processo mais sustentável e economicamente viável (Abdelkareem *et al.*, 2018; Ahmadi *et al.*, 2020; Cruz, 2012; Lepadatescu; Dumitrascu, 2018; Srivastava *et al.*, 2019).

A energia solar, de entre as energias renováveis, é reconhecida por sua utilização na alimentação de processos de dessalinização por osmose reversa e eletrodiálise, ambas consideradas opções para acoplar com painéis solares (Al-Karaghoul; Renne; Kazmerski, 2010; Pistocchi *et al.*, 2020; Shalaby, 2017).

Além disso, de acordo com Ahmadi *et al.* (2020), entre as várias fontes de energia renováveis, os recursos hidrelétricos e de biomassa são inadequados para integração com tecnologias de dessalinização devido à sua dependência dos recursos hídricos, escassos em regiões que enfrentam escassez de água.

2.11 Sistemas de Osmose Reversa Alimentados por Energia Solar

A osmose reversa, também conhecida como osmose inversa, representa a técnica de dessalinização predominante no Brasil e no mundo, caracterizada pelo consumo substancial de energia atribuído à pressão aplicada. Esse nível de pressão depende dos níveis de salinidade da água não tratada, conforme descrito por Bovaroti *et al.* (2018) citando Charcosset (2009).

Figura 4 – Unidade de Tratamento de Água por Osmose Reversa



Fonte: AMPAC (2024).

De acordo com Singh *et al.* (2020), a osmose reversa abrange vários estágios, como pré-tratamento, bomba de alta pressão, membrana e pós-tratamento. Singh *et al.* (2020) e Shouman, Sorour e Abulnour (2015) sugerem ainda que as configurações de dessalinização por osmose

reversa, integrados a energias sustentáveis, oferecem um caminho promissor para a geração de água potável, principalmente em regiões com acesso limitado à rede elétrica principal ou que enfrentam desafios agudos de escassez de água.

A integração da osmose reversa com a geração de energia fotovoltaica não apenas aumenta a eficácia das metodologias de tratamento de água, mas também desempenha um papel fundamental na promoção de abordagens sustentáveis e ecológicas no campo da purificação da água, e são adequadas para áreas remotas e rurais (Alawad *et al.*, 2023; Bundschuh *et al.*, 2021; Ellabban; Abu-Rub; Blaabjerg, 2014; Singh *et al.*, 2020).

2.12 Plantas de Dessalinização Movidas por Turbinas Eólicas

Para além da energia solar, a energia eólica é a fonte de energia renovável mais popular utilizada e analisada no contexto da sua conjugação com instalações de dessalinização de água, de modo a produzir eletricidade para o funcionamento de uma unidade de dessalinização independente (Bundschuh *et al.*, 2021).

As plantas de dessalinização movidas por turbinas eólicas são uma solução viável para abordar a escassez de água. As turbinas eólicas aproveitam a energia do vento, uma fonte de energia renovável, eliminando a necessidade de combustíveis fósseis nos processos de dessalinização.

A energia eólica, além de sua eficácia como fonte de energia, pode ser utilizada para auxiliar no transporte de água de um reservatório até a planta de dessalinização, ou até o destinatário final na mesma localidade. Este recurso é especialmente útil em áreas costeiras onde os ventos são consistentes (Nassrullah *et al.*, 2020).

Porem, de acordo com Bundschuh *et al.* (2021) a grande maioria dos estudos e publicações não diz respeito a instalações de dessalinização alimentadas exclusivamente por energia eólica, mas sim à energia eólica utilizada em combinação com outras FER, e acrescenta que vem sendo feito vários estudos para mudar esse paradigma.

2.13 Dessalinização e Energias Renováveis: Impactos Sociais e Econômicos

Conforme visto nos capítulos acima, a utilização de processos de dessalinização acoplados a sistemas de energias renováveis pode trazer benefícios econômicos e sociais significativos para a sociedade.

2.13.1 Considerações sobre Custos

A energia utilizada no processo de dessalinização é praticamente o que define os custos da água gerada por esses métodos. Nesse sentido, a viabilidade econômica desses processos

depende fortemente da disponibilidade local e do custo da energia utilizada (Nassrullah *et al.*, 2020; Shouman; Sorour; Abulnour, 2015).

Segundo Henthorne (2009) citado por Torri (2015), a implementação de sistemas de dessalinização requer um investimento inicial considerável, que advém de dois elementos: o custo capital associado à construção e os custos de operação e manutenção.

O uso de energias renováveis, como a solar e a eólica, pode reduzir significativamente os custos operacionais. Além disso, a longo prazo, a economia gerada pela produção de água potável localmente pode compensar o investimento inicial (Gude; Fthenakis, 2020; Srivastava *et al.*, 2019).

Conforme concluído não só por Shouman, Sorour e Abulnour (2015), continuar com o desenvolvimento de tecnologia que tendem a redução do consumo de energia e a melhoria da eficiência e do custo do sistema de energia fotovoltaica levarão a uma maior utilização do sistema combinado Osmose Reversa - Fotovoltaico (RO-PV) como uma fonte confiável e sustentável de abastecimento de água doce em áreas remotas, privadas de água potável e eletricidade (Abdelkareem *et al.*, 2018).

2.13.2 Acessibilidade

A implementação de sistemas de dessalinização alimentados por energias renováveis pode melhorar a acessibilidade à água potável, especialmente em regiões áridas e semiáridas, como exemplo do Israel. Esses sistemas podem ser instalados de forma descentralizadas em comunidades remotas, proporcionando uma fonte confiável de água potável sem recorrer à energia convencional, que muitas vezes é inexistente (Abdelkareem *et al.*, 2018; Bundschuh *et al.*, 2021; Ellabban; Abu-Rub; Blaabjerg, 2014; Mbarga *et al.*, 2014; Singh *et al.*, 2020).

2.13.3 Benefícios para as Comunidades Locais

Além de melhorar o acesso à água potável, a implementação de sistemas de dessalinização pode trazer outros benefícios para as comunidades locais. Pode promover o desenvolvimento local, criando empregos na instalação e manutenção desses sistemas, na agricultura e na pecuária. Ainda pode contribuir para a educação ambiental, destacando a importância das energias renováveis e da gestão sustentável dos recursos hídricos.

Em suma, a implementação de sistemas de dessalinização alimentados por energias renováveis apresenta uma solução viável e sustentável para melhorar o acesso à água potável. No entanto, é essencial considerar os aspectos econômicos e sociais para garantir que esses sistemas sejam implementados de maneira eficaz e beneficiem as comunidades locais (Ahmadi *et al.*, 2020; Elsaid *et al.*, 2020; Nassrullah *et al.*, 2020; Srivastava *et al.*, 2019).

2.14 CONSERVAÇÃO DA ÁGUA

Vários pesquisadores, incluindo Abdelkareem *et al.* (2018), Beal e Ferreira (2013), Figueiredo, Esteves e Cabrita (2021), Tabassum *et al.* (2020), se unem no conceito de que a administração e preservação eficazes das reservas de água é uma questão global premente e fundamental para a viabilidade de longo prazo do nosso planeta.

A escassez de água, agravada pelo aumento da densidade populacional e pela expansão da urbanização, é uma preocupação a nível mundial (Ding; Ghosh, 2017; Figueiredo; Esteves; Cabrita, 2021). A Organização das Nações Unidas (ONU) prevê uma redução de 10% na acessibilidade à água urbana até 2050 devido às mudanças climáticas (UNESCO, 2020, apud Figueiredo, Esteves e Cabrita (2021)). Abdelkareem *et al.* (2018) e Okampo e Nwulu (2021) enfatizam que a rápida expansão populacional e o progresso industrial posicionam as reservas de água como um obstáculo significativo, e essa insuficiência de água potável deve impactar até 40% dos habitantes do mundo até 2030 (UNESCO, Paris 2015, apud Abdelkareem *et al.* (2018)). E Tabassum *et al.* (2020) afirmam que, juntamente com o crescimento populacional, a necessidade municipal de água, que aumenta consideravelmente, prioriza a administração eficaz das reservas de água.

Beal e Ferreira (2013) fortalecem, afirmando que a água é indispensável para a existência na Terra, exige cautela com a quantidade de uso, qualidade e distribuição, e Figueiredo, Esteves e Cabrita (2021) afirmam que é crucial implementar novas estratégias e tecnologias para enfrentar esses obstáculos. A aplicação da preservação e eficiência da água é fundamental para a sustentabilidade da água, pois diminui a demanda, conserva a água, diminui a influência ambiental e mantém a qualidade da água (Tabassum *et al.*, 2020).

Em essência, a administração eficaz das reservas de água é crucial para garantir a entrada sustentável de água potável para as próximas gerações e para enfrentar os crescentes desafios relacionados à escassez de água e às mudanças climáticas.

2.14.1 Importância da Gestão Eficiente dos Recursos Hídricos

A água é um recurso natural indispensável para a vida e essencial para diversos setores, como agricultura, indústria e abastecimento público (Dhakal, Nirmala *et al.*, 2023; Mushtaq; Bandh; Shafi, 2020; Navarro-Ramírez *et al.*, 2020). A sua escassez e má gestão podem levar a graves consequências, como falta de água potável, prejuízos econômicos e impactos negativos no meio ambiente, pelo que Erfani, Pachos e Harou (2018) aconselham a se buscar um plano que demonstre que o equilíbrio entre a oferta e a procura é satisfeito em toda a sua área de operação durante um período de planejamento a longo prazo, de modo a ultrapassar os desafios que persistem no campo da gestão de recursos hídricos, tais como escassez de água, poluição e ineficácia dos sistemas atuais.

Segundo Beal e Ferreira (2013) em sua citação, referem-se a Tucci (2004), que oferece uma definição de gestão de recursos hídricos como abrangendo uma série de intervenções governamentais voltadas à regulação e supervisão dos recursos hídricos, ao mesmo tempo em que avalia o grau de alinhamento com os princípios descritos na política de Recursos Hídricos.

Nesse contexto, a utilização da tecnologia e a integração de sistemas automatizados e inteligentes, bem como os métodos de conservação da água, servem como aliados valiosos na busca pelo desenvolvimento de soluções que possam resolver com eficácia os problemas predominantes (Zhu *et al.*, 2018), nomeadamente: - Sistema de monitorização em tempo real, de apoio à decisão, para gerir a rede de abastecimento de água de forma eficiente e otimizar o nexo água-energia (Figueiredo; Esteves; Cabrita, 2021); Detecção de vazamentos auxiliando assim na mitigação das perdas de água; Utilização ideal da água; Previsão de inundações e secas; bem como, Metodologias de tratamento aprimoradas e sustentáveis.

O aprimoramento das tecnologias existentes de tratamento de água, juntamente com a inovação de novas tecnologias, são elementos indispensáveis para garantir um futuro caracterizado pela sustentabilidade e pelos recursos hídricos. No entanto, é imperativo considerar a incorporação da educação ambiental a essa estrutura, pois ela tem importância significativa e serve como um fator fundamental ao lado da utilização de ferramentas de gestão (Mourão, 2021).

A gestão eficiente da água é vital para áreas remotas ou rurais com fontes de água limitadas. Essas regiões dependem muito das fontes de água disponíveis, e geralmente carecem de instalações de purificação adequadas (Xiao-jun *et al.*, 2012, apud Okampo e Nwulu (2021). Portanto, é fundamental implementar práticas e políticas de conservação da água, visando a utilização racional e sustentável dos recursos hídricos disponíveis.

2.14.2 Estratégias para a conservação da água

Estratégias eficientes para a conservação da água incluem a adoção de práticas de uso responsável desse recurso natural. Isso pode envolver medidas como a captação da água da chuva, o uso de equipamentos e sistemas de irrigação eficientes e a implementação de políticas de reuso da água. Essas estratégias podem contribuir significativamente para a conservação da água, reduzindo o consumo excessivo e promovendo uma maior sustentabilidade dos recursos hídricos (Ribeiro *et al.*, 2019; Tabassum *et al.*, 2020).

Outra estratégia comum é a promoção da conscientização da população sobre a importância de economizar água (Mourão, 2021), incentivando a redução do consumo em atividades diárias, como banho, escovação dos dentes e lavagem de roupas. O uso de tecnologias de baixo consumo de água, como torneiras com sensor de presença e descargas com duplo acionamento, a implementação de sistemas de monitoramento e controle do uso da água (sistemas que permitem acompanhar e analisar os padrões de consumo, identificar desperdícios e tomar medidas corretivas para promover) também fazem parte das estratégias para conservação da

água e enquadra no chamado “Smart Water” (Muthukumar *et al.*, 2023; Zhu *et al.*, 2018). Essas estratégias podem ser implementadas tanto em âmbito residencial quanto em setores industriais e agrícolas.

Além disso, é importante promover a conservação dos ecossistemas aquáticos, por meio da proteção de áreas de mananciais e de rios, contribuindo para a conservação da água em seu estado natural.

As abordagens para a gestão eficiente dos recursos hídricos variam de acordo com a necessidade e o contexto local. Algumas abordagens incluem a implementação de políticas de gestão integrada dos recursos hídricos, que envolvem a participação de diferentes atores, como governos, comunidades locais e empresas privadas. Essas políticas visam garantir o uso sustentável e equitativo da água, considerando as necessidades presentes e futuras das populações e a preservação dos ecossistemas aquáticos.

2.14.3 Estratégias em Diferentes Contextos

Diferentes contextos requerem diferentes estratégias para a conservação da água, incluindo ambientes residenciais, industriais e agrícolas.

Em ambientes residenciais, as estratégias para a conservação da água podem incluir a captação de água da chuva em telhados e tanques de armazenamento, o uso de sistemas de irrigação por gotejamento de alta eficiência para minimizar o desperdício de água em jardins e gramados, ou como explica Tabassum *et al.* (2020), ainda pode ser feita o reuso das água cinza.

Em ambientes industriais, as estratégias de conservação de água geralmente envolvem a implementação de sistemas de reciclagem e reutilização para reduzir o uso de água, bem como a adoção de tecnologias avançadas de tratamento para garantir que a água descarregada dos processos industriais atenda aos padrões de qualidade ambiental. Além disso, as instalações industriais podem investir em equipamentos e processos que otimizem o uso de água e minimizem a produção de resíduos (Ribeiro *et al.*, 2019).

Em ambientes agrícolas, as estratégias de conservação podem se concentrar na melhoria das práticas de irrigação para reduzir o consumo de água (Kavand; Ziaee; Najafabadi, 2023), como o uso de sistemas de irrigação de precisão e tecnologias de monitoramento da umidade do solo. Além disso, a defesa de estratégias agroecológicas que destacam o manejo sustentável da água e a preservação do solo pode melhorar a utilização efetiva dos recursos hídricos na agricultura (Diop *et al.*, 2022; PANDIYARAJU *et al.*, 2022). Ainda, a gestão da água na agricultura tem se concentrado na implementação da Eficiência do Uso da Água (WUE - Water Use Efficiency) por meio do desenvolvimento de variedades de baixo custo tecnológico e adaptação genética a estresses ambientais (Pimentel, 2022).

Métodos baseados em nanotecnologia, como nanomembranas, nanofotocatalisadores e materiais nanocompósitos, têm sido usados para tratamento de águas residuais (Awasthi *et al.*, 2021), além disso a integração dos sistemas de água e energia, juntamente com o uso de

práticas de recuperação de calor residual e recuperação de água, tem se mostrado promissora na melhoria da eficiência hídrica e energética em plantas industriais (Oliveira; Iten; Matos, 2022).

É importante adaptar as estratégias de conservação de água às demandas e desafios específicos de cada contexto, considerando os recursos disponíveis, a infraestrutura e as condições ambientais. Ao implementar medidas de conservação adaptadas em ambientes residenciais, industriais e agrícolas, pode-se fazer progressos significativos na mitigação do impacto da escassez de água e na promoção de práticas de manejo sustentável da água.

2.14.4 Desigualdade na Distribuição da Água no Mundo

Os padrões espaciais de disponibilidade de água e densidade populacional exibem disparidades significativas em escala mundial, levando a desigualdades pronunciadas na acessibilidade dos recursos de água doce às populações humanas. Essa disparidade nas distribuições globais destaca a distribuição desigual dos recursos hídricos entre as diferentes regiões, contribuindo assim para a prevalência do acesso desigual às fontes de água doce entre comunidades em todo o mundo (Carr; Seekell; D’Odorico, 2015).

A desigualdade na distribuição dos recursos hídricos entre os países é um problema significativo, com 80%, dados de 2010, da humanidade vivendo em regiões onde a segurança hídrica está ameaçada (Carr; Seekell; D’Odorico, 2015; Seekell; D’odorico; Pace, 2011; Vörösmarty *et al.*, 2010) e com quase metade da população mundial vivendo em áreas potencialmente escassas de água por pelo menos um mês do ano. Esta falta de acesso à água potável cria uma divisão significativa entre os países mais pobres e os mais ricos, com as cidades do Sul Global enfrentando mais estresse hídrico do que as cidades do Norte Global¹.

A mudança climática piora as desigualdades existentes no acesso à água. Portanto, abordar a questão da distribuição justa da água é enfatizado nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (Os ODS 2, 6 ou 14) (Meisch, 2016). É crucial que essas questões sejam abordadas para garantir um futuro sustentável para todos.

¹ Os termos “NORTE GLOBAL” e “SUL GLOBAL” são usados para descrever a divisão socioeconômica do mundo, sendo o “Norte Global” os países desenvolvidos, que são economicamente mais prósperos e politicamente estáveis (Europa Ocidental, América do Norte, Austrália, Israel, Japão e Nova Zelândia) e o o “Sul Global” os países em desenvolvimento ou emergentes, que enfrentam desafios econômicos e sociais significativos (Ásia, África, América Latina e Caribe).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Localização e Contextualização

3.1.1 Cabo verde

Para se entender a questão da água em Cabo Verde é importante compreender a geografia, o clima e a sociedade de Cabo Verde.

Cabo Verde está localizado no Oceano Atlântico a aproximadamente 500 km da costa da África Ocidental (Baptista; Tarelho, 2020; Coutinho, 2019; INE, 2019b; Pina; Said, 2011; Tavares, 2020), nomeadamente na costa do Senegal. O país é composto por dez ilhas de origem vulcânicas, sendo 9 delas habitadas, situadas entre os paralelos 17°12' e 14°48' de latitude Norte e os meridianos 22°44' e 25°22' Oeste. As ilhas são categorizadas em dois grupos distintos, Barlavento e Sotavento, com base nos ventos alísios predominantes do nordeste (Cruz, 2012; Dias, 2018; Fernandes, 2013a; INE, 2024b; INE, 2019b; Pina; Said, 2011; Tavares, 2020).

A população do país é de aproximadamente meio milhão de pessoas, distribuídas pelas 9 ilhas habitadas, entre elas Santo Antão onde fica a nossa área de estudo (Coutinho, 2019; Dias, 2018; Monteiro; Sarmento, 2019).

Cabo Verde é caracterizado como quente e seco durante todo o ano, um país de clima árido e semiárido, influenciado pela região do Sahel, sendo as estações definidas em duas: uma longa estação seca, de novembro a junho, e uma estação de chuvas irregulares, de julho a outubro (Baptista; Tarelho, 2020; Cruz, 2012; Dias, 2018; INCV, 2023; Tavares, 2020). As precipitações médias anuais são consideradas fracas, variando de acordo com a altitude e a exposição aos ventos alísios (Dias, 2018; Pina; Said, 2011; Shahidian *et al.*, 2014).

Ao longo do tempo Cabo Verde vem enfrentando uma evolução marcada por eventos que influenciaram sua estruturação e crescimento, embora não tenham sido só de natureza demográfica, mas determinaram e orientaram a sua estruturação e o seu crescimento (PAGIRE, (2010) apud Dias, 2018). Para entender melhor essa evolução é fundamental conhecer o contexto social e histórico de Cabo Verde, marcado por uma miscigenação de influências e um esforço de desenvolvimento sustentado (Dias, 2018; Monteiro *et al.*, 2020). O rápido crescimento demográfico e a insularidade do país têm gerado desafios macroeconômicos que afetam a produção de alimentos, aumentam a dependência de importações e impactam também o setor de recursos hídricos (Dias, 2018; Gominho, 2010; Monteiro *et al.*, 2020).

Desde a sua descoberta em 1460, Cabo Verde foi marcada por sucessivas crises de seca e de fome que persistem em assolar as Ilhas de Cabo Verde. Das muitas crises registradas, relata-se como sendo a primeira, a crise de 1580 a 1583, outras crises são registradas ao longo dos séculos, como a de 1809-1811, que dizimou a população da ilha de Boa Vista, bem como os animais (cabras, jumentos, vacas e bois, cavalos e éguas), as fomes de 1903-1904 que

provocaram mais de 12 mil mortes, das quais mais de 10 mil na ilha de Santiago. Depois 1921-1922, em que morreu mais de 23 mil pessoas, logo em seguida em 1941-1943 houve outro pico na mortalidade pela fome, mais de 24 mil pessoas ou ainda então a crise de 1946 a 1949, as últimas com um elevado número de mortalidade no país e que ficou marcado pela enorme taxa de emigração de cabo-verdianos (Caniato, 2006; Lourenço, 2021; Oliveira, 2022; Tavares; Moreira, 2023). E mais recente entre 2015 – 2018, a seca severa levou a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, do inglês *Food and Agriculture Organization* (FAO) a incluir Cabo Verde na lista de países a necessitar de assistência alimentar externa (Santos, 2018).

Cabo Verde enfrenta restrições quanto aos recursos hídricos em função de sua geologia e morfologia (Cruz, 2012; Pina; Said, 2011), sendo os recursos hídricos subterrâneos, nomeadamente as fontes e poços, a principal fonte de água potável, sobretudo nos meios rurais, que é o caso do Planalto Norte. A água dessalinizada tem sido uma opção para o abastecimento de água potável em regiões com climas áridos ou semiáridos, como Cabo Verde (Fernandes, 2013a; Santos, 2022; Shahidian *et al.*, 2014; Tavares *et al.*, 2022).

Cabo Verde vem traçando metas de implementação de energias renováveis, como a solar e a eólica, de modo a reduzir sua dependência de combustíveis fósseis na geração de eletricidade (Monteiro; Sarmiento, 2019). A introdução de fontes renováveis de energia faz parte do Plano de Energias Renováveis para Cabo Verde (ERPCV), com o objetivo de atingir 50% de penetração de energias renováveis até 2020 e 100% até 2025 (Coutinho, 2019; Monteiro; Sarmiento, 2019; Nordman *et al.*, 2019).

Portanto, compreender a geografia, o clima, a sociedade e os desafios enfrentados por Cabo Verde é essencial para abordar adequadamente a questão da água no país e desenvolver estratégias eficazes para garantir o acesso à água potável e a sustentabilidade energética (Dias, 2018; Fernandes, 2013a; Monteiro; Sarmiento, 2019; Monteiro *et al.*, 2020), para todo o território.

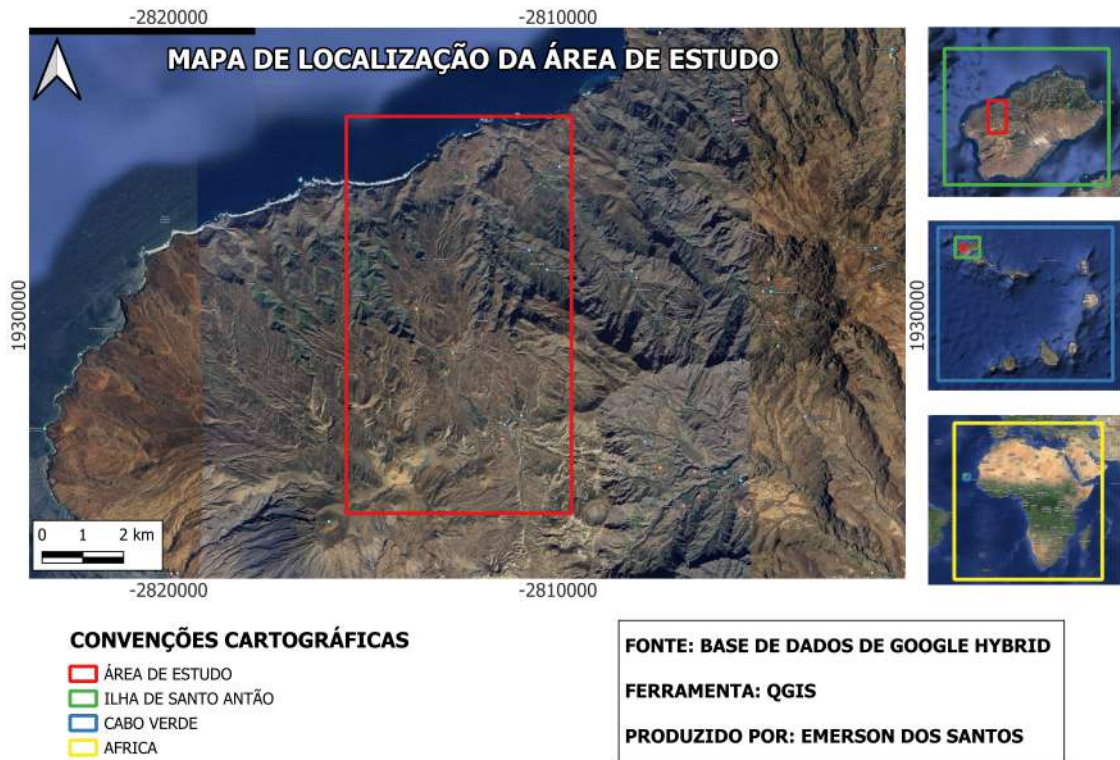
3.1.2 Planalto Norte

A área de estudo escolhida é o Planalto Norte, localizado no município do Porto Novo, na ilha de Santo Antão, Cabo Verde. De origem vulcânica, Santo Antão, “ilha das montanhas” como é conhecida, é a ilha mais setentrional e ocidental do arquipélago, situada a maior distância do continente africano (INE, 2019b). Com uma superfície de 779 km², é a segunda maior ilha de Cabo Verde, apresentando uma altitude máxima de 1.979 metros no Topo da Coroa (Macararonesian, 2021). O relevo acidentado, marcado por profundos cânions e voçorocas, com uma cordilheira central, com altitudes variando entre 1.400 e 1.700 m, divide a ilha aproximadamente em duas zonas geomorfológicas completamente diferentes, caracterizadas também por climas diferentes (Haagsma, 1995), uma verde e uma seca onde situa Planalto Norte.

O Planalto Norte, fica situado no extremo noroeste da ilha de Santo Antão e contava com uma população residente de 235 habitantes em 2021 (INE, 2022), porem a localidade e a

ilha em geral têm notado uma diminuição drástica da população residente, no censo de 2010 foi visto que a localidade tinha 595 habitantes (INE, 2016), sendo na maioria jovens à procura de melhores condições de vida em outras ilhas ou fora do país (INE, 2019b; Nação, 2023), fazendo com que a ilha tenha a maior idade média do país.

Figura 5 – Mapa de Localização da Área de Estudo



Fonte: Autoria própria (2024).

Planalto Norte é caracterizado por um clima saheliano, dominado por ventos alísios frios e secos do nordeste, com chuvas leves e irregulares durante a estação chuvosa, de agosto a novembro (Haagsma, 1995). Embora essas chuvas sejam essenciais para a vida na região, muitas vezes são insuficientes para atender às necessidades hídricas locais, resultando em escassez de água doce. A água disponível geralmente provém de fontes sazonais, como ribeiras e nascentes, que podem secar durante períodos de seca prolongada e, muitas vezes, não atendem aos padrões de potabilidade devido à contaminação por salinidade e poluentes. A vegetação é escassa devido à aridez e às secas recorrentes, o que agrava a escassez de água e do pasto na região. A morfologia vulcânica da região limita a retenção e infiltração da água da chuva, exacerbando o problema da escassez hídrica (Haagsma, 1995).

Atualmente, a economia local é predominantemente baseada na criação de gado, com um crescimento gradual do turismo, especialmente o turismo rural, que atrai visitantes interessados em caminhadas e contato com a natureza (Macararonesian, 2021), e claro o Topo de Coroa, que apresenta uma paisagem selvagem, fortemente marcada por sucessivas erupções vulcânicas.

A produção de queijo de cabra no Planalto Norte é de qualidade excepcional, em 2017, o queijo tradicional da região ficou entre os melhores do mundo na feira internacional do gosto de Turim, Itália, e os produtores locais têm recebido apoio contínuo da cooperação italiana para melhorar a produção (Nova, 2017).

O abastecimento de água na região tem sido um desafio constante. Recentemente, foram implementados projetos significativos de adução e distribuição de água no Planalto Norte, com a reabilitação e construção de reservatórios e estações de bombagem equipadas com parques solares fotovoltaicos (CMPN, 2023). Este sistema de bombagem de água, inaugurado em março de 2023, levou água às famílias, proporcionando um alívio significativo para a população local, que anteriormente dependia de caminhões de água, ou de fontes naturais que ficam a longas distâncias (3 horas de caminhada) (CMPN, 2023; RTC, 2021), porém essa água ainda advém de uma única fonte natural situada no bairro agrícola de nome “Martiene”.

A iniciativa de bombagem de água ao Planalto Norte foi um marco importante, concretizando um sonho de décadas para a melhoria da qualidade de vida da população local, e alinhando-se com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (CMPN, 2023). Porém, de acordo com os meios de comunicação e da população local, a menos de 1 ano e meio da sua inauguração a região do Planalto Norte regressa a uma situação de penúria de água, sendo que até os reservatórios estão secos (Inforpress, 2024a; Inforpress, 2024b; Rodrigues; Pires; Rodrigues, 2024).

Fotografia 3 – Carro transportando água para uma família



Fonte: Autoria própria (2024).

O Planalto Norte é uma das principais zonas de atração turística no município do Porto Novo, com paisagens naturais impressionantes e ainda com muito potencial a ser explorado. No entanto, enfrenta desafios como a ausência de infraestruturas adequadas para apoiar o turismo,

falta de estradas em boas condições e a contínua escassez de água. A implementação de tecnologias de dessalinização utilizando energias renováveis é vista como uma solução promissora para garantir a segurança hídrica e apoiar o desenvolvimento sustentável da região, sendo que a região não tem uma ligação de energia com a rede convencional e sim uma mini rede alimentado totalmente por energia solar, pelo que esta limitação de acesso a bens essenciais é um enorme fator limitante ao seu desenvolvimento e à realização de atividades produtivas (ALER, 2022).

3.2 Seleção do Processo Tecnológico

A dessalinização é um processo valioso para a recuperação de água potável, uma vez que muitas pessoas em várias partes do mundo dependem dela para suas necessidades diárias (Panagopoulos; Haralambous, 2020), especialmente em regiões no contexto do Planalto Norte, Porto Novo, a seleção de um processo de dessalinização eficiente e sustentável é crucial para enfrentar os desafios hídricos locais.

Contando que nos últimos anos, houve um desenvolvimento significativo de novas tecnologias de dessalinização que permitem tratar a salmoura para recuperar mais água doce (Panagopoulos; Haralambous, 2020), e com um foco constante no aumento da eficiência do processo e na redução do consumo energético (Ramalho, 2022). Este desenvolvimento tecnológico é crucial, para atingir o patamar recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), que aconselha que cada pessoa consuma aproximadamente 110 litros de água por dia para ingestão e higiene (Freitas *et al.*, 2021; Reis *et al.*, 2018).

Diante dessa situação, para se fazer a seleção do processo tecnologia mais apropriada para esse estudo tem que se ter em consideração alguns aspetos: a viabilidade técnica das tecnologias de dessalinização disponíveis, a compatibilidade com as condições climáticas da região do Planalto Norte, a disponibilidade e potencial das fontes de energia renováveis locais e a capacidade de atender às necessidades hídricas da população local de forma eficiente e contínua. Sendo assim, essencial comparar as diferentes tecnologias disponíveis para escolher a mais adequada ao contexto específico.

Na Quadro 1, apresentamos uma análise dos principais sistemas de dessalinização abordando seus pontos fortes e pontos "fracos". Essa comparação facilita a seleção do sistema de dessalinização que melhor atende às necessidades da população local.

Quadro 1 – Análise Comparativa dos Principais Sistemas de Dessalinização

Fonte	Pontos Fortes	Pontos Fracos
SD	- Baixo custo operacional - Simplicidade na construção e operação - Totalmente alimentado por energia solar, ideal para regiões remotas sem acesso à energia convencional	- Baixa capacidade de produção - Eficiência dependente das condições climáticas - Não é viável para grandes demandas de água
MD	- Alta rejeição de sal - Menor necessidade de pré-tratamento - Pode operar com energia de baixo grau (calor residual)	- Ainda em fase de desenvolvimento e menos difundido - Baixa eficiência energética comparada a outros métodos - Requer equipamentos específicos e caros
MED	- Adequado para locais com baixo custo de energia térmica ou disponibilidade de calor residual - Alta qualidade da água dessalinizada - Menor sensibilidade à qualidade da água de entrada	- Equipamento volumoso e caro de instalar - Alto consumo de energia térmica - Não é facilmente adaptável a fontes de energia renováveis como a solar
ED	- Baixo consumo energético para águas de salinidade moderada - Menor impacto ambiental em comparação com RO	- Menor eficiência para águas de alta salinidade - Complexidade na operação e manutenção - Necessidade de energia elétrica constante, limitando sua utilização em regiões com infraestruturas limitadas
RO	- Alta eficiência na remoção de sais e impurezas - Menor consumo de energia em comparação com destilação - Tecnologia amplamente utilizada e bem desenvolvida - Pode ser alimentada por energia solar fotovoltaica (RO-PV)	- Geração de grandes volumes de salmoura como subproduto - Agrega custo de manutenção das membranas - Sensível a contaminações das membranas

Fonte: Autoria própria (2024).

Na Quadro 2, apresentamos uma análise das principais fontes de energia renováveis abordando seus pontos fortes e pontos "fracos". Essa comparação visa facilitar na seleção do meio de alimentação da dessalinizadora atendendo a sustentabilidade do processo e a sua eficiência energética.

Quadro 2 – Análise Comparativa das Fontes de Energia Renováveis

Fonte	Pontos Fortes	Pontos Fracos
Energia Eólica	- Alta eficiência em áreas com ventos constantes - Baixo custo de operação após a instalação - Pode complementar a energia solar em sistemas híbridos	- Dependente da disponibilidade e constância do vento - Necessidade de grandes áreas para instalação - Impacto visual e sonoro
Energia do Mar	- Grande potencial de geração em regiões costeiras - Fonte de energia constante e previsível - Baixo impacto visual	- Tecnologia ainda em desenvolvimento e pouco disponível - Alto custo de instalação e manutenção - Impacto ambiental sobre a vida marinha
Energia Solar	- Simples e confiável - Abundante na região (quase todo ano) - Pode ser instalada em uma variedade de escalas - Baixo custo de operação e manutenção - Fácil integração com sistemas de dessalinização como RO - Funcionamento silencioso - Fácil manuseio e transporte - Alta durabilidade e modularidade, podendo ser ampliado conforme sua necessidade - Grande vida útil (em torno de 20 anos)	- Dependência das condições climáticas - Necessidade de armazenamento - Redução da eficiência em dias nublados ou chuvosos

Fonte: Autoria própria (2024).

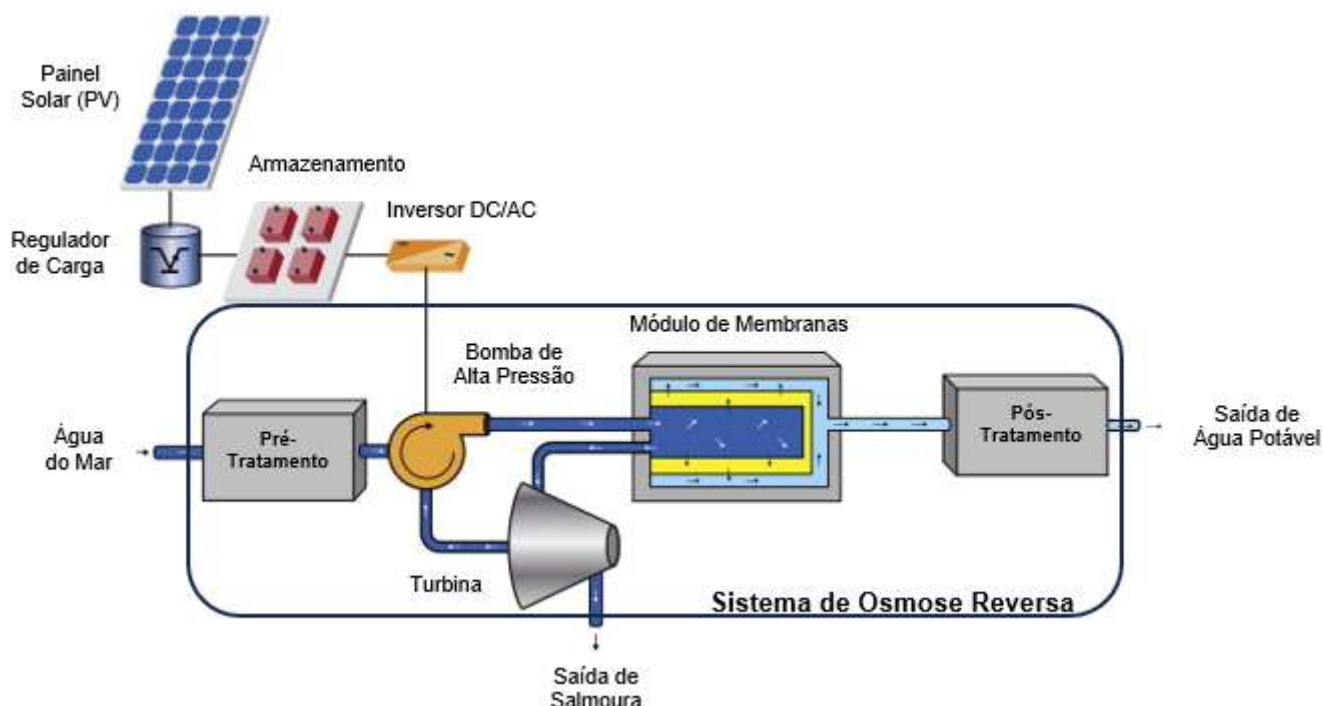
3.2.1 Osmose Reversa - Fotovoltaico (RO-PV)

Com base na análise dos pontos fortes e fracos feita acima a osmose reversa se destaca devido à sua relação custo-benefício e ampla aplicação global, sendo especialmente adequada para regiões onde outras tecnologias seriam inviáveis (Curto; Franzitta; Guercio, 2021), pois requer apenas eletricidade para operar as bombas de alta pressão necessárias para o processo (Ahmadi *et al.*, 2020), o que simplifica seu acoplamento com fontes de energia renováveis (Ahmadi *et al.*, 2020; Curto; Franzitta; Guercio, 2021).

Para integração de energias renováveis com sistemas de dessalinização, especialmente em locais como Cabo Verde, dada as características e condições locais, a tecnologia de osmose reversa tem sido a opção preferida para a produção desse recurso essencial à vida. Segundo Tavares (2020), esta tecnologia não só é eficiente, como demonstrou ser uma solução viável e sustentável, sendo facilmente acoplada à tecnologia fotovoltaica, tornando-a uma combinação vantajosa pois colabora na mitigação da dependência de mercados externos (Haguenauer, 2021).

A utilização de painéis fotovoltaicos para gerar a eletricidade necessária ao processo de osmose reversa pode reduzir significativamente os custos operacionais e a dependência

Figura 6 – Esquema de um Sistema RO-PV



Fonte: Adaptado de Al-Karaghoul e Kazmerski (2013).

de combustíveis fósseis importados, além de diminuir as emissões de gases de efeito estufa alinhando-se aos esforços globais de combate às mudanças climáticas (Tavares, 2020; Tashtoush *et al.*, 2023), e têm um impacto positivo na aceitação social, contribuindo para modelos de transição mais realistas e eficazes rumo à sustentabilidade (Ahmadi *et al.*, 2020).

Para garantir a sustentabilidade e eficiência do sistema de dessalinização, é fundamental considerar fatores como eficiência, consumo energético, custos de instalação e operação, disponibilidade de matéria-prima e qualidade da água produzida (Ramalho, 2022). Embora não exista uma solução única que seja a melhor para todas as situações, a osmose reversa se destaca como a tecnologia mais eficiente e economicamente viável para Cabo Verde, especialmente quando combinada com energia solar (Curto; Franzitta; Guercio, 2021; Tashtoush *et al.*, 2023), sendo também o sistema frequentemente preferida em relação a outros métodos de dessalinização devido à sua eficiência, custo-benefício e benefícios ambientais (Alawad *et al.*, 2023; Tashtoush *et al.*, 2023).

Nos processos de osmose reversa, a eletricidade ou a potência do eixo são necessárias para acionar bombas de alta pressão, exercendo pressão mecânica para superar a pressão osmótica e separar o sal da água salina (Ahmadi *et al.*, 2020; Alawad *et al.*, 2023), exigindo menos energia em comparação com outras técnicas como ED, SD, DCV, MED, e MSF (Alawad *et al.*, 2023; Kadhim; Khudhair; Jaafar, 2023; Haguenauer, 2021).

Os sistemas de RO tiveram reduções significativas de custos por meio de avanços em materiais de membrana e recuperação de energia, tornando-os mais economicamente viáveis

(Alawad *et al.*, 2023; Tashtoush *et al.*, 2023) e com a crescente disponibilidade de soluções de energia renovável, a RO-PV representa uma abordagem promissora e sustentável para enfrentar os desafios de escassez de água em regiões isoladas e com alta incidência solar (Alawad *et al.*, 2023; Ihsanullah *et al.*, 2021; Srivastava *et al.*, 2019), que é o caso do Planalto Norte.

Além disso, a tecnologia de Osmose Reversa da Água do Mar é superior em aspectos técnicos e econômicos quando comparada a outros métodos de dessalinização, sendo particularmente adequados para operações em pequena escala, como é o caso em estudo, uma vez que podem operar de forma intermitente com base na disponibilidade de energia solar, sem a necessidade de sistemas de armazenamento de energia complexos (Ahmadi *et al.*, 2020). Ainda, a osmose reversa tem uma baixa variação no desempenho com o aumento da salinidade da água, o que a torna mais adequada para a dessalinização de águas com alto teor de salinidade (Alawad *et al.*, 2023).

Outra vantagem da osmose reversa é a possibilidade de modularização, permitindo adaptar o processo de acordo com as necessidades e demandas específicas (Alawad *et al.*, 2023; Curto; Franzitta; Guercio, 2021). Ademais, a osmose reversa possui um processo de pré-tratamento simplificado, o que facilita sua operação e manutenção (Biesheuvel *et al.*, 2022).

Em Cabo Verde, a maioria das plantas de dessalinização já utiliza a tecnologia de osmose reversa, mas ainda são conectadas à rede elétrica convencional. A proposta de acoplar sistemas de osmose reversa com painéis fotovoltaicos, que vem sofrendo uma redução significativa nos custos, tornando-se uma opção cada vez mais competitiva em comparação com as fontes de energia convencionais (Pistocchi *et al.*, 2020), pois visa gerar a eletricidade necessária para o funcionamento das bombas e membranas de filtração (Tavares, 2020).

Esta abordagem não só é tecnicamente viável, como também proporciona benefícios econômicos e ambientais do processo. A adoção de módulos fotovoltaicos para o fornecimento de energia elétrica oferece uma solução prática e eficiente para a dessalinização, contribuindo significativamente para a economia local e para a luta contra as mudanças climáticas.

3.3 Dimensionamento Da Unidade De Dessalinização

Depois de se fazer a seleção do processo tecnológico mais apropriado, a próxima etapa é o dimensionamento da unidade de dessalinização, essencial para garantir que a produção de água atenda às necessidades da comunidade do Planalto Norte. Nessa seção vamos abordar o processo de cálculo e as especificações técnicas necessárias para dimensionar adequadamente uma unidade de dessalinização que atenda às necessidades da comunidade do Planalto Norte. Considerando o consumo de água recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), juntamente com as necessidades hídricas dos animais locais, é essencial definir uma capacidade de produção que seja sustentável e eficiente para atender à população, além dos bebedouros para as cabras, que são predominantes na região. Esta análise é feita, tendo em

consideração o crescimento populacional, a disponibilidade de recursos naturais e as condições climáticas específicas do Planalto Norte.

3.3.1 Capacidade de Produção

A capacidade de produção da unidade dessalinizadora de Osmose Reversa é uma métrica importante que deve ser dimensionada para atender à demanda de água da população-alvo. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), o consumo de água per capita recomendado é de aproximadamente 110 litros por dia, valor que inclui a água necessária para ingestão, higiene pessoal e outras atividades essenciais à saúde e ao bem-estar.

3.3.1.1 Demanda de Água da População

Considerando o último censo que estabeleceu uma população residente no Planalto Norte de 235 pessoas e sendo que em 2010 a localidade possuía 595 habitantes, vai se ter em conta uma variação na estimativa de população (235 a 500 pessoas) considerando o crescimento populacional ao longo dos anos, bem como o retorno de famílias que migraram para outras regiões devido à escassez de água.

- Para 235 Pessoas (Atual):

$$\text{Demanda diária} = 235 \times 110 \text{ L/dia} = 25850 \text{ L/dia} \quad (1)$$

- Para 500 Pessoas (Estimado):

$$\text{Demanda diária} = 500 \times 110 \text{ L/dia} = 55000 \text{ L/dia} \quad (2)$$

Assim, a unidade dessalinizadora deve ser capaz de produzir entre 25850 e 55000 litros de água potável por dia, para abastecer as pessoas.

3.3.1.2 Consumo para Animais

Além do consumo humano, é necessário considerar o consumo de água pelos animais, que desempenham um papel crucial na economia local, especialmente as cabras. Em regiões semiáridas como o Planalto Norte, as cabras são os animais mais comuns devido à sua resistência ao clima e à sua importância para a produção de leite e carne.

Fotografia 4 – Ordenha de cabras: Vida e Trabalho no Planalto Norte



Fonte: Autoria própria (2024).

De acordo com estudos agropecuários, uma cabra consome em média entre 4 e 8 litros de água por dia, dependendo de fatores como a idade, o peso e as condições climáticas (Embrapa, 2010; Pinho; Galdino, 2014). Estimando que a população local possui entre 400 e 1000 cabras, pois só a localidade de Chã de Feijoal possuía, em 2016, 400 cabras (Lopes, 2016), o consumo diário de água para esses animais varia:

- Para 400 Cabras (Menor):

$$\text{Demanda diária} = 400 \times 4 \text{ L/dia} = 1600 \text{ L/dia} \quad (3)$$

- Para 1000 Cabras (Maior):

$$\text{Demanda diária} = 1000 \times 8 \text{ L/dia} = 8000 \text{ L/dia} \quad (4)$$

Assim, a unidade dessalinizadora deve ser capaz de ainda agregar entre 1600 a 8000 litros de água potável por dia, para os bebedouros dos animais.

3.3.1.3 Demanda Total

Assim, a capacidade de produção de água da unidade dessalinizadora deve ser dimensionada para atender tanto a população humana quanto os rebanhos. Considerando uma população de 235 a 500 pessoas, o consumo humano seria entre 25850 e 55.000 litros por dia. Somando o consumo animal, a capacidade total necessária da unidade de dessalinização deve ser entre **27450 a 63000** litros por dia, considerando de antemão a segurança para variações sazonais e possíveis aumentos na população ou no número de animais.

Essa estimativa garante que a unidade dessalinizadora será capaz de suprir as necessidades de água da comunidade do Planalto Norte, promovendo a segurança hídrica e a sustentabilidade da pecuária local.

3.3.2 Parâmetros da água do mar

Para obter os dados da água do mar da região, e de Cabo Verde em geral, foi consultado o repositório de dados científicos “Van PANGAEA (*Data Publisher for Earth & Environmental Science*)”, que se concentra na coleta, armazenamento e disseminação de dados relacionados às ciências da terra e ambientais, facilitando o acesso aberto a informações que podem ser usadas para pesquisa, ensino e desenvolvimento de políticas (Pinxteren, 2020), sendo que esses dados foram também confirmados com outras fontes, como Oliveira (2018), JICA (2011) e Fernandes (2013b).

Os dados recolhidos estão representados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros da água do mar

<i>Parâmetro</i>	<i>Unidade</i>	<i>Água de alimentação</i>
pH	pH	7,9 a 8,3
Salinidade	‰	34 a 37
Temperatura	°C	20 a 28
Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	33000 a 38000

Fonte: Adaptado de Oliveira (2018), JICA (2011) e Pinxteren (2020).

3.3.3 Apresentação do Sistema de Osmose Reversa SW20K-LX

Após uma análise dos parâmetros da água do mar e das necessidades de dessalinização para a região, procedeu-se ao dimensionamento da unidade de dessalinização e a escolha do sistema. Considerando os requisitos específicos de capacidade de produção e eficiência, foi feita uma pesquisa de mercado, e optou-se pela proposta do modelo SW20K-LX oferecida pela Ampac USA, com o preço base de **\$140.250,00** (Cento e Quarenta Mil, Duzentos e Cinquenta Dólares Americanos), de acordo com o Anexo B.

A Ampac USA é uma empresa especializada em sistemas avançados de purificação de água. Eles oferecem soluções como dessalinização de água do mar, osmose reversa comercial e industrial, e tratamento de água móvel e solar. Seus produtos são projetados para funcionar em ambientes extremos. Além disso, a Ampac oferece suporte técnico a nível global (Ampac, 2024).

Os dados do sistema de Osmose Reversa, modelo SW20K-LX, estão representados na Tabela 2 e podem ser consultados também no Anexo B.

Tabela 2 – Parâmetros da SW20K-LX

Parâmetro	Unidade	Água de alimentação
pH	pH	3,0 a 11,0
Salinidade	‰	até 45
Temperatura	°C	-2 a 30
Rejeição de sal	%	99,8
Capacidade	Gal/dia	20000
Capacidade	l/dia	75700
Produção de Água	l/min	52,6
Operação	h/dia	24
Potência Total	HP	36

Fonte: Ampac (2024).

3.4 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

Depois de selecionar o processo tecnológico adequado para o projeto — a osmose reversa — e dimensionar a unidade de dessalinização com o modelo SW20K-LX, o próximo passo é garantir o suprimento energético necessário para operar essa tecnologia. Para isso, será realizado o dimensionamento de um sistema fotovoltaico, que tem como objetivo principal estabelecer a potência necessária para assegurar a operação contínua da unidade de dessalinização.

A energia solar fotovoltaica tem sido objeto de estudos desde o final do século XIX, a descoberta do efeito fotoelétrico por Heinrich Hertz em 1890, o que marcou o início da conversão direta da energia solar em eletricidade (Oliveira, 2007). No que diz respeito ao seu uso na dessalinização o mesmo teve início com a crise do petróleo nos anos 1970. Desde então, estudos buscam avaliar a viabilidade técnico-econômica dessa combinação, especialmente para aplicação em áreas remotas (Bellessiotis et al., 2000 apud Oliveira (2007)), sendo considerada uma solução adequada para ser adotada em locais com alta incidência de luz solar (Fernandes, 2013b).

Os sistemas fotovoltaicos aproveitam a luz solar para gerar eletricidade, eles captam a energia solar em forma de radiação e convertê-la diretamente em energia elétrica, por meio de dispositivos chamados fotocélulas (Jang *et al.*, 2024; Oliveira, 2007; Ribeiro, 2020). Esses

sistemas podem ser classificados em três categorias principais: isolados, híbridos e conectados à rede elétrica (Fernandes, 2013b; Oliveira, 2007).

Neste projeto, a escolha recai sobre um sistema fotovoltaico isolado, já que ele será implementado em uma área remota, desprovida de energia elétrica convencional (Villalva, 2022). Para locais como o Planalto Norte, a energia fotovoltaica já é uma solução competitiva, considerando a distância e os custos elevados de estender a rede elétrica até essas regiões. E ainda de acordo com Oliveira (2007), os sistemas fotovoltaicos contam com várias outras vantagens, tais como: Simples e confiável; Alta durabilidade e modularidade, podendo ser ampliado conforme sua necessidade; Grande vida útil (em torno de 20 anos); Sistema de baixa manutenção; Fácil manuseio e transporte; Sistema modular leve; Compatível com qualquer bateria; Seu funcionamento silencioso; e Baixo impacto ambiental.

O arquipélago de Cabo Verde possui um recurso solar abundante, com uma média anual de radiação global entre 1800 e 2000 kWh/m²/ano, o que torna o uso de energia solar altamente viável (Coelho, 2017; Fernandes, 2013b). Dessa forma, o dimensionamento do sistema fotovoltaico se torna um ponto importante deste trabalho, pois visa garantir energia suficiente para a dessalinização ao longo de todo o ano. Considerando os cálculos da energia gerada e consumida, levando em conta que o sistema não estará conectado à rede elétrica convencional.

3.4.1 Caracterização da Demanda Energética

A caracterização da demanda energética para o sistema de dessalinização por osmose reversa na localidade se baseia em três fatores principais: a capacidade de produção de água do modelo SW20K-LX, a variação da demanda de água ao longo do tempo e o consumo energético do equipamento. O modelo SW20K-LX, da Ampac USA, possui uma capacidade de produção de **75,7 m³/dia**, o que o torna adequado para atender tanto à demanda atual da localidade, estimada em **27,45 m³/dia**, quanto à projeção futura de **63 m³/dia**. Esse aumento de demanda se justifica pelo crescimento populacional esperado e pela inclusão de necessidades hídricas para a criação de animais. Neste sentido, o consumo energético do sistema de RO é calculado tendo em conta os seguintes dados:

- A bomba de alta pressão consome 30 HP, a segunda bomba, responsável pelo fornecimento sob demanda, consome 5 HP e a instrumentação, embora menos significativa, consome 1 HP, totalizando assim **36 HP** para todo o sistema (Anexo B).

Para converter a potência em HP para watts (W), utilizamos a fórmula que define o consumo de energia elétrica corresponde ao Horse Power (HP) (Lopez, 2012; Neuhaus, 2018; Ribeiro, 2009; Silva, 2017):

$$\text{Potência (W)} = HP \times 746 = 36 \times 746 = 26.856 \text{ W} \quad (5)$$

Ou seja, o consumo total do estimado do sistema esta na faixa de aproximadamente **26.856 W (ou 26,9 kW)**.

Logo para um dia (24 horas) o consumo energético diário ou a energia diária do sistema deve ser (Villalva, 2022):

$$E_d = P_{\text{total}} \times t = 26,9 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = 645,6 \text{ kWh} \quad (6)$$

Onde:

- E_d : Energia diária necessária (kWh).
- P_{total} : Potência total da dessalinizadora (em kW ou W).
- t : Tempo de operação diário (em horas).

Isso significa que o sistema precisa de uma fonte de energia capaz de fornecer 645,6 kWh diariamente para operar em sua capacidade máxima, pelo que o consumo específico de energia por m³ de água, nesse caso será:

$$\text{Consumo específico} = \frac{E_d}{D_{\text{máxima}}} = \frac{645,6 \text{ kWh}}{75,7 \text{ m}^3} \approx 8,53 \text{ kWh/m}^3 \quad (7)$$

3.4.2 Caracterização do Local e Condições Climáticas

Para os cálculos da energia necessária para alimentar o sistema de dessalinização por RO, tratando-se de uma energia renovável é fundamental fazer a caracterização das condições climáticas do local de modo a garantir um dimensionamento eficaz do sistema fotovoltaico. Neste contexto, analisar a irradiação solar e as variações sazonais são fatores importantes para estimar a produção de energia e, assim, determinar a capacidade a ser instalada necessária.

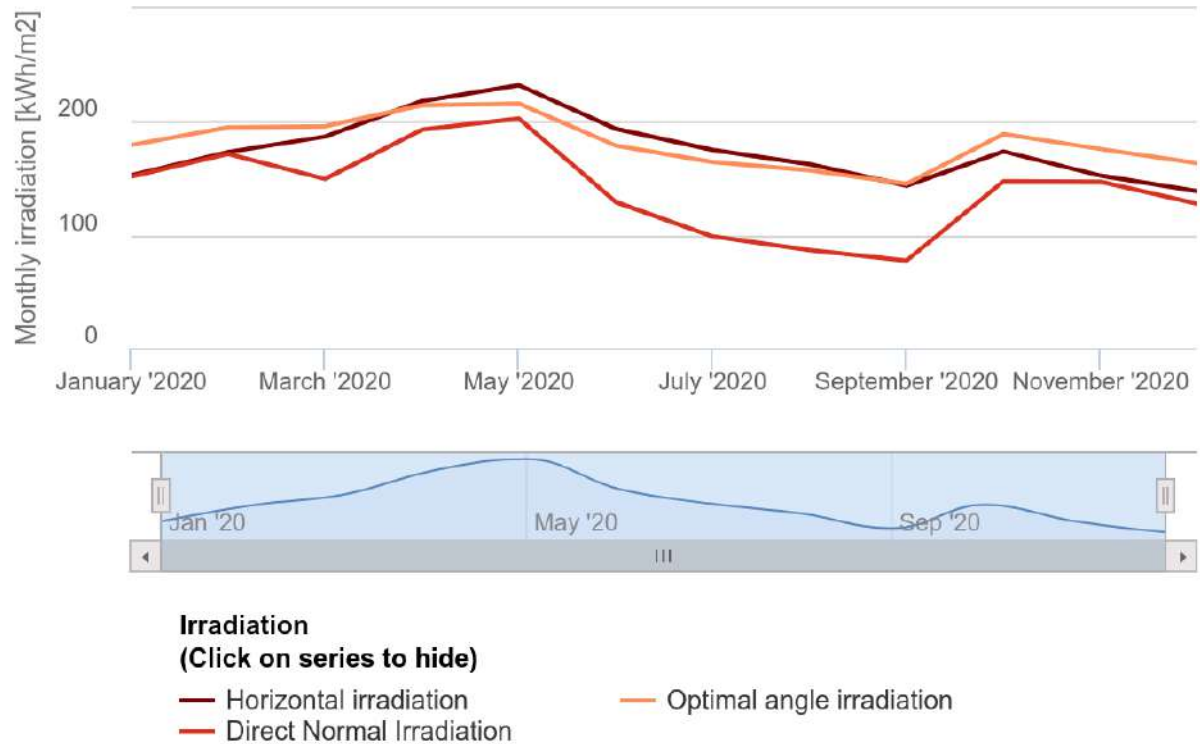
3.4.2.1 Irradiação Solar e Potencial Energético

Os dados apresentados foram obtidos recorrendo a plataforma "Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica, do inglês *Photovoltaic Geographical Information System* (PVGIS)" que é uma ferramenta online e gratuita, fornecida pela Comissão Europeia, cuja base de dados abrange a Europa, África e Ásia. A plataforma fornece mapas de radiação solar e simula a geração de eletricidade solar para o local escolhido (Lourenço, 2014; Ovelha, 2017; Tavares, 2020; Ukoima *et al.*, 2024), nesse caso nas coordenadas "Latitude: 17.117 e Longitude: -25.259".

A irradiação solar disponível no local é um fator determinante para o sucesso do sistema fotovoltaico. De acordo com Coelho (2017) e Fernandes (2013b), o arquipélago de Cabo Verde, possui uma radiação global anual na faixa de 1800 a 2000 kWh/m²/ano, o que indica um alto potencial para geração de energia solar, como comprovado pelos dados fornecidos pela PVGIS.

Esses dados estão presentes na figura 7, e na respectiva tabela que vem na figura 8 e no Anexo C, sendo a radiação global anual de 1617 kWh/m²/ano à 2142 kWh/m²/ano:

Figura 7 – Monthly Solar Irradiation Estimates - Grafico



Fonte: PVGIS (2024).

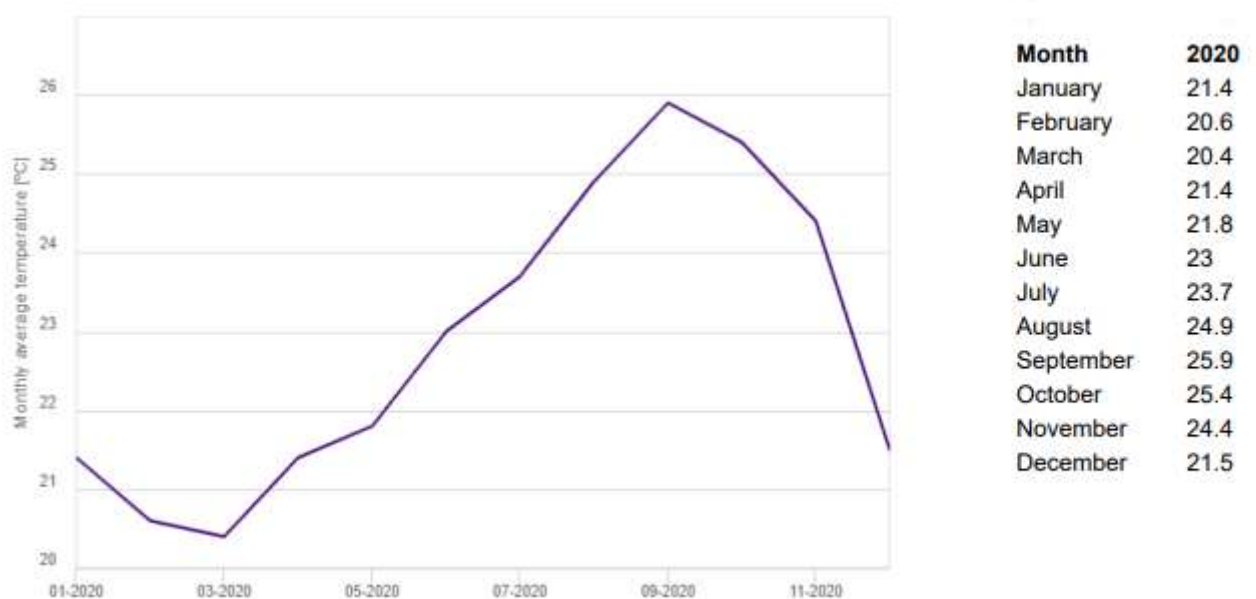
Figura 8 – Monthly Solar Irradiation Estimates - Tabela de valores

Global horizontal irradiation		Direct Normal Irradiation		Global irradiation optimum angle	
Month	2020	Month	2020	Month	2020
January	150.29	January	146.45	January	175.83
February	173.58	February	173.02	February	195.28
March	185.19	March	145.22	March	194.07
April	212.39	April	179.78	April	209.3
May	227.42	May	191.73	May	212.45
June	192.28	June	125.81	June	178.07
July	175.09	July	98.53	July	164.55
August	160.85	August	82.9	August	155.58
September	143.41	September	77.39	September	145.12
October	172.21	October	144.02	October	187.1
November	146.81	November	133.79	November	168.04
December	134.04	December	117.93	December	156.62

Fonte: PVGIS (2024).

Além da irradiação solar, outros fatores externos, como a temperatura são importantes, pois elas influenciam na eficiência do sistema fotovoltaico (Souza, 2022; Lourenço, 2014; Ramalho, 2022). Em locais com alta incidência de radiação solar, as temperaturas elevadas podem reduzir a eficiência dos módulos fotovoltaicos (Ferruzzi, 2023; Nunes *et al.*, 2020; Silva, 2016). Embora o clima de Cabo Verde seja caracterizado por temperaturas médias anuais relativamente constantes, variando entre 22°C e 29°C, é importante considerar que temperaturas acima de 25°C, pois podem resultar em perdas de eficiência, dependendo das características dos módulos utilizados (Fernandes, 2013b). A figura 9 demonstra a temperatura ao decorrer do ano, onde se nota que a mesma é de 20.4°C à 25.9°C, nomeadamente:

Figura 9 – Monthly Average Temperature



Fonte: PVGIS (2024).

Como o objetivo é maximizar a captura de energia solar, calcular a irradiação com base no ângulo ótimo é essencial, pelo que então usaremos o parâmetro “*Global Irradiation at Optimum Angle*”, pois este representa a quantidade de radiação solar que atinge a superfície inclinada no ângulo ótimo para a localização em questão. Ainda, é de destacar que para garantir a operação contínua do sistema de dessalinização, para um sistema isolado, o dimensionamento do sistema fotovoltaico deve ser realizado de forma a atender à demanda energética mesmo durante períodos de menor insolação (Fernandes, 2013b; Pinho; Galdino, 2014; Silva, 2019; Tavares, 2020; Ramalho, 2022), pelo que será feita com base na radiação referente ao pior mês do ano (setembro) que é de **145,12kWh/m²** (Figura 8), porem ressalve-se que o mesmo pode ser calculado também com a radiação solar diária presente no anexo D, onde podemos notar que o local recebe 10 horas de sol pleno ao longo do dia, com irradiância variando entre 49 W/m² e 730 W/m², refletindo um período contínuo de exposição solar entre 08:45 e 18:45.

A escolha dos cálculos pela radiação solar mensal, justifica-se pelo facto de ela representar uma média da radiação diária ao longo de um mês inteiro, o que suaviza as variações

diárias e oferece uma visão mais estável e representativa das condições solares do local ao longo de períodos mais longos.

Sabendo a radiação solar mensal, calculamos a radiação diária a partir dela, fazendo a divisão por 30.4 que é uma prática comum que visa obter uma média mais precisa, sendo que $(365/12 = 30.4)$ é a aproximação da média de dias por mês, considerando que alguns meses têm 30 dias e outros 31, enquanto fevereiro tem 28 ou 29 dias.

$$\text{Radiação Diária} = \frac{\text{Radiação Global Mensal}}{\text{Número de Dias no Mês}} = \frac{145,12 \text{ kWh/m}}{30.4 \text{ dias}} \approx 4,773 \text{ kWh/m/dia} \quad (8)$$

Portanto, a radiação diária seria aproximadamente **4,773 kWh/m²/dia**.

3.4.3 Cálculo do Número de Módulos fotovoltaicos ou Painéis solares (N_p)

Módulos fotovoltaicos são a menor unidade de um sistema de geração de eletricidade solar, compostos por células solares interligadas e protegidas, com o objetivo de gerar energia elétrica (Dias, 2018; Mariano; Junior, 2022; Oliveira, 2007; Ribeiro, 2020). Eles são agrupados para formar um gerador fotovoltaico, cuja potência deve ser dimensionada conforme as necessidades energéticas do sistema. Para o cálculo do número de módulos necessários, é essencial considerar a potência de cada módulo e as demandas energéticas, assegurando que as células selecionadas tenham características semelhantes para maximizar a eficiência do sistema.

De acordo com vários autores os módulos possuem características variadas (Abdel-Fattah *et al.*, 2024; Ferruzzi, 2023; Green, 2015; Lourenço, 2014; Mariano; Junior, 2022; Nunes *et al.*, 2020; Silva, 2019; Ribeiro, 2020; Villalva, 2022), que lhes tornem mais propícios para diferentes aplicações e meios. Recorrendo as características dos tipos de módulos foi elaborada a Quadro 3, que representa os tipos de módulos fotovoltaicos, incluindo seus pontos fortes, fracos e a potência típica em watts, de modo a facilitar a escolha da tipologia do módulo a usar.

Quadro 3 – Análise Comparativa dos tipos de módulos fotovoltaicos

<i>Tipo de Módulo</i>	<i>Potência</i>	<i>Pontos Fortes</i>	<i>Pontos Fracos</i>
Monocristalino	300 - 450 W	- Alta eficiência (15% a 22%) - Melhor desempenho em condições de baixa luminosidade - Menor área necessária por watt - Pode ser integrado com a tecnologia PERC	- Geralmente mais caro - Produção de resíduos maior durante a fabricação
Policristalino	250 - 400 W	- Custo mais baixo que monocristalinos - Processo de fabricação menos dispendioso	- Requer mais área para a mesma potência comparado ao monocristalino - Eficiência ligeiramente inferior (13% a 18%) - Menor desempenho que os módulos monocristalinos em condições de baixa luminosidade ou sombras
Filme Fino	100 - 300 W	- Melhor desempenho em altas temperaturas - Flexível e leve, ideal para aplicações especiais	- Maior degradação ao longo do tempo - Baixa eficiência (10% a 12%) - Requer mais área
PERC	320 - 450 W	- Menor perda de potência em altas temperaturas - Melhor desempenho em condições de baixa luz - Alta eficiência	- Custo mais elevado em comparação aos módulos padrão - Pode exigir mais cuidados na instalação

Fonte: Autoria própria (2024).

Tendo isso em consideração as escolhas recaem sobre os Monocristalinos, pois são amplamente utilizados no mercado solar devido à sua alta eficiência, ao excelente desempenho em condições de baixa luminosidade e altas temperaturas, a sua capacidade de gerar energia suficiente com um número menor de painéis derivado da sua potência, alcançando 450W, o que permite maximizar a geração de energia em sistemas de alta demanda, como o de dessalinização. Esses módulos, muitas vezes integrados com a tecnologia PERC aumentam ainda mais a eficiência. Em comparação, os módulos policristalinos, embora mais econômicos, têm menor eficiência e estão gradualmente sendo substituídos pelos monocristalinos.

Com base nessa potência, os cálculos para determinar o número de módulos solares necessários para atender às demandas energéticas do sistema, serão realizados utilizando esse valor de **450W**, ou seja, **0,45kw** por módulo, sendo a produção diária de energia desse painel dado pela fórmula deduzida de Ribeiro (2016) e de Ribeiro, Florian e Figueira (2022):

$$E_p = G_m \times P_p \times \eta = 4,773 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{dia} \times 0,45 \text{ kW} \times 0,8 \approx 1,72 \text{ kWh}/\text{modulo}/\text{dia} \quad (9)$$

onde:

- G_m é a irradiação solar média (4,773 kWh/m²/dia).
- P_p é a potência do módulo solar (0,45 kW).
- η é a eficiência do sistema (80% ou 0,8), considerando a perda devido a temperatura, a incompatibilidade elétrica, a sujeira, os cabos e o inversor (Ovelha, 2017; Ribeiro, 2020; Tavares, 2020).

A potência de pico (P_{wp}) de um sistema fotovoltaico representa a máxima potência gerada sob condições ideais de irradiação solar. De acordo com (Cury, 2023) essa potencia, para um dia, é calcula através da fórmula a seguir:

$$P_{wp} = \frac{E_d}{HSP \times \eta} = \frac{645,6 \text{ kWh}}{4,773 \text{ h} \times 0,8} = 169,076 \text{ kW} \quad (10)$$

Sendo as Horas de Sol Pleno (HSP) o fator correspondente a quantidade de horas diárias em que a irradiação solar média é equivalente a 1.000 W/m² (Lopez, 2012), o que indica as condições ideais para a geração de energia por painéis solares.

Para saber o numero de módulos, podemos utilizar uma das duas equações, de acordo com (Cury, 2023), utilizando a Potencia de pico (P_{wp}):

$$N_p = \frac{P_{wp}}{P_p} = \frac{169,076 \text{ kW}}{0,45 \text{ kW/modulo}} \approx 376 \text{ modulos} \quad (11)$$

E de acordo com Abreu, Barbosa e Leme (2018), Ribeiro (2016), Ribeiro, Florian e Figueira (2022) e Villalva (2022) utilizando a Energia diária necessária (E_d):

$$N_p = \frac{E_d}{E_p} = \frac{645,6 \text{ kWh/dia}}{1,72 \text{ kWh/modulo/dia}} \approx 376 \text{ modulos} \quad (12)$$

A partir dos cálculos realizados seriam necessários aproximadamente **376 módulos** monocristalinos de 450W para atender à demanda energética diária da dessalinizadora operando em sua capacidade máxima. Com cada módulo ocupando tipicamente uma área de cerca de 2 m², a instalação exigiria uma área total de aproximadamente **752 m²**. Imagens de satélite confirmam que há uma ampla área disponível (**31.000 m²**) na zona circundante ao local escolhido para a construção da central dessalinizadora, suficiente para acomodar o parque fotovoltaico projetado nessas condições, conforme ilustrado na figura 10.

Figura 10 – Área disponível para o parque fotovoltaico



Fonte: Autoria própria (2024).

3.4.4 Cálculo da Capacidade das Baterias (C_b)

As baterias armazenam a energia gerada pelos painéis para ser utilizada quando o sol não está disponível, sendo dimensionadas com base no consumo diário e na autonomia desejada. Em locais como Planalto Norte, onde a radiação solar é quase que constante durante o ano, a principal preocupação é garantir uma autonomia adequada das baterias para cobrir períodos de menor produção solar, como durante a noite ou em eventuais dias nublados (Lopez, 2012), sendo que tem pouca variação climática, e o mesmo não sofre grandes flutuações sazonais.

Calculando a capacidade do banco de baterias (C_b) em Ampere-hora (Ah) com base em variáveis como (Carneiro, 2009; Maestri, 2018; Ovelha, 2017; Pereira, 2012):

- (E_d) é a energia demandada pela carga (645,6 kWh/dia);
- (D_a) é a quantidade de dias de autonomia (2);
- (V_b) é a tensão nominal do banco de baterias, que para equipamentos pesados como bombas de dessalinização é geralmente dimensionado em 48 V.
- (η_b) é a eficiência do sistema (0,8);
- (DoD) é a profundidade de descarga (0,8).

Temos:

$$C_b = \frac{E_d \times D_a}{V_b \times \eta_b \times DoD} = \frac{645600 \text{ W/dia} \times 2 \text{ dias}}{48 \text{ V} \times 0,8 \times 0,8} \approx 42031 \text{ Ah} \quad (13)$$

O banco de baterias deve ter uma capacidade de aproximadamente **42031 Ah** a **48V** para garantir 2 dias de autonomia.

3.4.5 Cálculo da Corrente dos Controladores de Carga (I_c)

Para proteger as baterias contra sobrecargas e/ou descargas excessivas, de modo a prolongar a sua vida útil, é introduzido outro componente do sistema fotovoltaico autônomo, o Controlador de carga (Villalva, 2022). Esse componente é importante porque garante que as baterias, que são componentes de alto custo, sejam protegidas de possíveis danos irreversíveis.

Para dimensionar o controlador de carga, que está diretamente conectado entre os módulos e as baterias, é necessário considerar a tensão nominal das baterias (V_b), a potência de pico (P_{wp}) do sistema, além do fator de segurança (f_s), garantindo assim que mesmo em condições de operação máxima e possíveis variações, o controlador consiga assegurar a proteção e o desempenho adequado do sistema (Maestri, 2018; Ovelha, 2017).

$$I_c = \frac{P_{wp}}{V_b} \times f_s = \frac{169076 \text{ W}}{48 \text{ V}} \times 1,25 = 4403 \text{ A} \quad (14)$$

Sendo esse um sistema com um valor de corrente elevado e os controladores típicos podem não chegar a esse valor, deve se usar múltiplos controladores de carga em paralelo ou controladores industriais especializados que podem suportar correntes muito maiores, de modo que a corrente regulada (I_{reg}) deve ser maior que a corrente de entrada (I_{in}). Assim, o número de controladores de carga a colocar em paralelo, pode ser calculado através da equação (Ovelha, 2017):

$$N_{controladores} = \frac{I_c}{I_{max}} \quad (15)$$

Sendo o valor do I_{max} definido com base nas especificações dos controladores de carga que se vão usar no sistema.

3.4.6 Dimensionamento do Inversor

O inversor tem a função de converter a corrente contínua (CC) gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada (CA), ajustando a tensão e a frequência para os consumos necessários (Coelho, 2017; Ribeiro, 2020; Silva, 2019; Villalva, 2022). Nos sistemas off-grid, o uso do inversor por vezes é opcional (Maestri, 2018), porem no caso do sistema presente é um componente necessário por causa das características do mesmo.

Para calcular a potência necessária dos inversores, é fundamental considerar a carga total que eles precisam suportar, nesse caso os 36Hp ou 26856W. Como a dessalinizadora RO modelo SW20K-LX opera a 480V/3 Phase/60Hz, conforme estipulado no anexo B, o inversor será um inversor trifásico que possa converter a tensão do banco de baterias para 480V para as bombas.

Para os cálculos vamos considerar a eficiência do inversor como 95%, e usaremos a formula (Pereira, 2012):

$$P_{necessaria} = \frac{P_{sistema}}{\eta_{inversor}} = \frac{26,856 \text{ kW}}{0,95} = 28,27 \text{ kW} \quad (16)$$

Portanto, o inversor deve ter uma capacidade nominal mínima de 28,27 kW para garantir que o sistema funcione sem problemas.

Os inversores também precisam ser dimensionados para suportar sobrecargas momentâneas, especialmente durante o arranque das bombas, normalmente usa-se o fator de sobrecarga de 20%, pelo que a potencia do inversor será dada por (Ribeiro, 2020; Silva, 2019):

$$P_{inversor} = P_{necessaria} \times f_{sobrecarga} = 28,27 \text{ kW} \times 1,20 = 33,924 \text{ kW} \quad (17)$$

Pelo que o inversor trifásico necessário para esse sistema deve ter uma potência nominal mínima de **33,924 kW**.

3.4.7 Parâmetros de Consumo com Base na Capacidade Máxima

Foi utilizada a capacidade máxima da dessalinizadora como referência porque proporciona uma base sólida para dimensionar o sistema de maneira eficiente e adaptada às necessidades presentes e futuras, garantindo um fornecimento estável e sustentável de água, permitindo assim:

- Prever com maior precisão os requisitos energéticos e operacionais para diferentes cenários de demanda, o que ajuda no planejamento de infraestrutura e no orçamento, assegurando que o sistema esteja preparado para atender a variações na demanda de água.
- Permite identificar a eficiência do sistema em sua totalidade. Essa abordagem assegura que, mesmo em períodos de alta demanda, a dessalinizadora opere de maneira eficiente e eficaz, minimizando desperdícios e maximizando a produção.
- Oferece uma visão clara da flexibilidade do sistema. Isso é crucial para garantir que a dessalinizadora possa lidar com aumentos futuros na demanda sem a necessidade de ajustes significativos ou investimentos adicionais.
- Conhecer o tempo de produção e o consumo energético em condições ideais reduz o risco de subdimensionamento ou sobrecarga do sistema. Isso contribui para a continuidade e a confiabilidade do abastecimento de água, essencial para o atendimento das necessidades da população.

Para calcular as demandas definidas para o projeto em relação à capacidade máxima, utilizamos a seguinte fórmula:

$$F_c = \frac{D_{\text{demandada}}}{D_{\text{máxima}}} \quad (18)$$

Onde:

- F_c = Fração da capacidade utilizada
- $D_{\text{demandada}}$ = Demanda de água diária requerida (m^3/dia)
- $D_{\text{máxima}}$ = Capacidade máxima de produção da dessalinizadora ($75,7 \text{ m}^3/\text{dia}$)

Com a fração da capacidade utilizada, podemos calcular o consumo energético proporcional, pela formula:

$$E_{\text{proporcional}} = E_d \times F_c \quad (19)$$

Onde:

- $E_{\text{proporcional}}$ = Energia diária necessária proporcional ao consumo de água (kWh)
- E_d = Energia diária necessária para a capacidade máxima ($645,6 \text{ kWh}/\text{dia}$)

Tabela 3 – Resumo dos cálculos

	<i>Demanda Atual</i>	<i>Demanda Futura</i>	<i>Demanda Máxima</i>
Produção (m^3)	27,45	63	75,7
Consumo energético (kWh/dia)	234,1	537,3	645,6
Tempo de produção (h)	8,7	20	24
Potencia de pico (kW)	61,3	140,7	169,079
Nº de módulos	137	313	376
Área (m^2)	273	625	752
Capacidade baterias 48V (Ah)	—	—	42031
Autonomia carga máxima (dias)	5,5	2,4	2
Controladores de Carga (A)	1596,35	3664	4403
Potencia dos Inversores (kW)	33,924	33,924	33,924

Fonte: Autoria própria (2024).

Em resumo, o consumo energético necessário para operar a dessalinizadora SW20K-LX varia conforme a demanda de água. Para atender à demanda diária referente a população atual ($27,45 \text{ m}^3/\text{dia}$), a energia requerida é de aproximadamente **234,1 kWh/dia**, o que vai requerer **8,7 horas** de trabalho, de realçar que a localidade recebe 10 horas de sol pleno ao longo do dia, o que indica que o sistema fotovoltaico poderá potencialmente fornecer energia suficiente para cobrir o consumo da dessalinizadora durante o período solar.

Porem, para a demanda futura de $63 \text{ m}^3/\text{dia}$, o consumo estimado é de **537,3 kWh/dia**, que requer aproximadamente **20 horas** de operação, pelo que será necessário considerar o uso de armazenamento de energia, como baterias, para garantir o funcionamento contínuo da dessalinizadora durante a ausência de sol ou em dias nublados.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação teve como objetivo geral a avaliação do potencial da dessalinização utilizando energias, para abastecer a região do Planalto Norte, utilizando especificamente a tecnologia de dessalinização por osmose reversa e a energia solar fotovoltaica (RO-PV). A metodologia utilizada permitiu uma avaliação dos aspectos técnicos envolvidos, bem como a identificação dos parâmetros para a implementação dessa solução.

A análise da demanda hídrica da localidade, referente à disponibilidade de recursos naturais e às características socioeconômicas da população, bem como o local da instalação da unidade dessalinizadora forneceu a base para o planejamento do sistema de modo geral, abrangendo o sistema de dessalinização e fotovoltaico.

O dimensionamento da dessalinizadora foi realizado com base nos parâmetros da água de alimentação e nas necessidades projetadas da comunidade. Com isso, recorreu-se a uma pesquisa de mercado, que culminou na seleção do sistema de Osmose Reversa SW20K-LX da Ampac USA, pois esse satisfaz os critérios estabelecidos para o projeto. A capacidade de produção desse modelo de RO, é de até 75,7 m³/dia, o que assegura que a unidade atenda tanto à demanda atual necessária, de 27,45 m³/dia quanto à demanda futura, estimada em 63 m³/dia.

O sistema requer um consumo energético diário de aproximadamente 645,6 kWh para operar em sua capacidade máxima de produção (75,7 m³/dia). Para atender as necessidades atuais, o consumo energético seria de cerca de 234,1 kWh/dia, e para a demanda futura, de aproximadamente 537,3 kWh/dia.

O dimensionamento do sistema fotovoltaico, determinou a necessidade de aproximadamente 376 módulos solares de 450W para suprir a demanda energética diária na capacidade máxima, o que pode ser reduzida para as necessidades atuais, pois a capacidade de ajustar o dimensionamento tanto do sistema fotovoltaico como do sistema de dessalinização permite que ele funcione de forma eficiente em diferentes cenários de demanda, no sentido de assegurar a produção desejada sem se recorrer a ajustes estruturais significativos.

Além disso, o sistema será complementado por um banco de baterias dimensionado para assegurar dois dias de autonomia em capacidade máxima e de até 5 dias e meio para a demanda atual, garantindo o fornecimento de energia mesmo em períodos de baixa insolação, tendo assim uma complementaridade sazonal entre a radiação solar e a estação das chuvas que acontece principalmente de julho a outubro.

Foi ainda estabelecida as definições para os controladores de carga que pode ser adaptada conforme a demanda desejada de modo a garantir a estabilidade do sistema em qualquer uma das situações: 1596,35 A para a demanda atual, 3664 A para a futura ou ainda ser definida, no melhor caso, para a capacidade máxima, sendo assim 4403 A e a potencia dos inversores é estabelecida em 33,924 kW.

Com o tempo de produção de 8,7 horas para a produção atual, podemos verificar que pode se ter, porem não recomendado, a atuação do sistema sem recorrer a esse sistema de banco de baterias. Para a demanda futura que pode ser alcançada em 20 horas, pode se afirma que é bem estabelecida pois os fornecedores aconselham a não deixar o sistema a trabalhar 24 horas por dia, 7 dias por semana, podendo assim ter tempo para manutenção e/ou outras intervenções.

De ressaltar que esses cálculos têm uma margem de erro, que poderá alterar os valores, mas não estão muito desfasados do pretendido.

Embora o investimento inicial para a implementação do sistema de dessalinização por osmose reversa alimentado por energia solar parece ser relativamente elevado, os benefícios econômicos, sociais e ambientais compensam os custos, sendo que para ter uma estrutura convencional também serão necessárias obras de base tanto para a rede elétrica como para o sistema de abastecimento de água e o mesmo não seria alcançado com o tempo ou urgência que se precisa, sendo assim esse sistema é o mais rápido e viável para a localidade. A viabilidade financeira do projeto ainda é fortalecida pela economia gerada na operação do sistema e pela melhoria da qualidade de vida da população do Planalto Norte, anexada a um planejamento adequado e a possível obtenção de financiamento ou subsídios para sua implementação, o que o torna um projeto economicamente sustentável a longo prazo, além de proporcionar um impacto positivo no desenvolvimento da região.

Finalizo com a convicção que esta dissertação não apenas alcançou seus objetivos, mas também demonstrou que a integração do sistema de dessalinização com energia renovável, é capaz de resolver o problema da escassez hídrica, promove a transição para uma matriz energética limpa, podendo impulsionar o desenvolvimento sustentável da região e servir como modelo para outras áreas insulares com desafios semelhantes.

4.1 Limitações do Trabalho

Embora este estudo tenha apresentado uma solução viável para o problema da escassez de água no Planalto Norte, algumas limitações foram identificadas:

- A primeira, foi a ausência de informações atualizadas e mais recentes sobre a localidade o que dificultou na análise mais precisa e abrangente das necessidades da região, o que poderia otimizar ainda mais o sistema proposto.
- E também, as limitações de dados de campo pois durante a pesquisa, não foi possível realizar uma análise de campo mais extensa, como o monitoramento contínuo da radiação solar ou medições detalhadas da qualidade da água local, o que poderia ter enriquecido o trabalho e proporcionado uma melhor adequação dos dois sistemas (dessalinização e fotovoltaico) às condições específicas do Planalto Norte.

Apesar dessas limitações, os resultados obtidos representam uma base confiável para o desenvolvimento e implementação futura do sistema de dessalinização de modo sustentável, baseado em energias renovável, para a região.

4.2 Trabalhos Futuros

Esta dissertação não teve o propósito de esgotar as análises sobre o uso da unidade de osmose inversa com energia fotovoltaica para abastecer o Planalto Norte. Diversos aspectos abordados aqui podem ainda ser aprimorados e explorados em pesquisas futuras. Assim, sugerem-se as seguintes direções para trabalhos posteriores:

- Otimização da capacidade tendo em conta a demanda desejada: Um estudo mais aprofundado sobre a otimização do processo de dessalinização, levando em consideração as diferentes demandas (atual, máxima e futura) pode melhorar a produtividade do sistema. A adaptação do sistema fotovoltaico e do sistema de osmose reversa às variações sazonais de demanda também pode reduzir custos operacionais e aumentar a sustentabilidade do projeto, bem como agregar o sistema de distribuição de água da dessalinizadora até o consumidor final de modo a garantir a eficácia no transporte da água, minimizando perdas e assegurando a qualidade da água até o ponto de consumo.

- Estudar a viabilidade de se misturar a água produzida pelo sistema de osmose reversa a da fonte natural de modo a analisar essa combinação, tanto para a melhoria do perfil mineral da água tratada, tornando-a mais propícia para o consumo humano, bem como forma de aumentar o volume de água disponível para o local e as comunidades vizinhas. O processo também pode reduzir a carga no sistema de osmose reversa, aumentando sua vida útil e reduzindo custos operacionais.

- Embora a solução proposta neste estudo tenha focado principalmente na energia solar fotovoltaica, pesquisas futuras podem explorar a possibilidade de combinar diferentes fontes de energia renováveis, como eólica, energia do mar ou energia de biomassa, para aumentar a capacidade energética do sistema de dessalinização.

Essas sugestões visam complementar o estudo realizado e fornecer uma base para a continuidade de pesquisas relacionados a esse tema, com foco na melhoria da eficácia, sustentabilidade e integração de novas tecnologias no sistema de dessalinização e abastecimento de água em Cabo Verde.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-FATTAH, S. *et al.* Passivated Emitter and Rear Cell (PERC) Assessment and Potential in Palestine. **An-Najah University Journal for Research - A (Natural Sciences)**, v. 38, n. 2, p. 112–117, fev. 2024. Disponível em: <https://journals.najah.edu/journal/anujr-a/issue/anujr-a-v38-i2/article/2208/>.
- ABDELKAREEM, M. A. *et al.* Recent progress in the use of renewable energy sources to power water desalination plants. **Desalination**, Elsevier, v. 435, p. 97–113, 2018.
- ABREU, G. F. de; BARBOSA, A. T. R.; LEME, S. P. L. Implantação de um sistema de fotovoltaico off-grid na região do Pantanal Sul-Mato-Grossense. In: **IX Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. São Bernardo do Campo/SP: [s.n.], 2018. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2018/X-010.pdf>.
- AHMADI, E. *et al.* The Role of Renewable Energy Resources in Sustainability of Water Desalination as a Potential Fresh-Water Source: An Updated Review. **Sustainability**, v. 12, n. 13, p. 5233, jun. 2020. ISSN 2071-1050. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/13/5233>.
- AHMED, F. E.; KHALIL, A.; HILAL, N. Emerging desalination technologies: Current status, challenges and future trends. **Desalination**, Elsevier, v. 517, p. 115183, 2021.
- AL-KARAGHOULI, A.; KAZMERSKI, L. L. Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 24, p. 343–356, ago. 2013. ISSN 13640321. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032113000208>.
- AL-KARAGHOULI, A.; RENNE, D.; KAZMERSKI, L. L. Solar and wind opportunities for water desalination in the Arab regions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 9, p. 2397–2407, dez. 2009. ISSN 13640321. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032108001780>.
- AL-KARAGHOULI, A.; RENNE, D.; KAZMERSKI, L. L. Technical and economic assessment of photovoltaic-driven desalination systems. **Renewable Energy**, Elsevier, v. 35, n. 2, p. 323–328, fev. 2010. ISSN 09601481. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148109002626>.
- ALAWAD, S. M. *et al.* Renewable energy systems for water desalination applications: A comprehensive review. **Energy Conversion and Management**, v. 286, p. 117035, jun. 2023. ISSN 0196-8904. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890423003813>.
- ALER. **Caso de Estudo: Mini-rede de Planalto Norte, Cabo Verde**. Santo Antão, Cabo Verde, 2022. Disponível em: <https://www.lerenovaveis.org/pt/pesquisar/caso-de-estudo-mini-rede-de-planalto-norte-cabo-verde/>.
- AMARAL, C. Z. d. *et al.* **Identificação e mapeamento de regiões potenciais à instalação de turbinas hidrocinéticas na bacia hidrográfica do Rio São Francisco Verdadeiro—Oeste do Paraná**. 2021. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2021.
- AMPAC. webpage, **Best Reverse Osmosis Company In USA | Ampac USA | Water Purification System**. 2024. Disponível em: <https://www.ampac1.com/dashboard>.

AMPAC. **Sea Water Desalination Watermaker (Land Based) SW20K-LX**. 2024. Disponível em: <https://www.ampac1.com/sea-water-desalination-watermaker-land-based-sw20k-lx-sw20k-lx.html>.

ANAND, B. *et al.* A review on solar photovoltaic thermal integrated desalination technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 141, p. 110787, maio 2021. ISSN 1364-0321. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121000824>.

ARAÚJO, J. P. **Modelagem e controle de uma planta de dessalinização por osmose reversa**. 2018. Dissertação (Mestrado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ, 2018.

AWASTHI, M. D. *et al.* Contemporary developments in waste water treatment technologies. In: **Eco-Friendly Energy Processes and Technologies for Achieving Sustainable Development**. [S.l.]: IGI Global, 2021. p. 196–219.

BAPTISTA, S.; TARELHO, L. Analysis of evolution scenarios of Santiago Island energy sector in Cabo Verde. **Energy Reports**, v. 6, p. 574–580, 2020. Publisher: Elsevier. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484719304767>.

BARBIER, E. Geothermal energy technology and current status: an overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 6, n. 1-2, p. 3–65, jan. 2002. ISSN 13640321. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032102000023>.

BEAL, D. A.; FERREIRA, S. C. **Recursos hídricos: o caso do município de Dois Vizinhos-PR**. 2013. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

BEZERRA, V. R.; MONTERO, L. R. R.; MEDEIROS, K. M. de. Aplicação de tecnologias para o uso de água salobra e salina no semiárido Paraibano. fev 2021.

BIESHEUVEL, P. *et al.* Tutorial review of reverse osmosis and electrodialysis. **Journal of Membrane Science**, Elsevier, v. 647, p. 120221, 2022.

BOVAROTI, T. *et al.* **Avaliação de um sistema de dessalinização de água salobra em escala piloto**. 2018. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2018.

BUNDSCHUH, J. *et al.* State-of-the-art of renewable energy sources used in water desalination: Present and future prospects. **Desalination**, v. 508, p. 115035, jul. 2021. ISSN 00119164. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0011916421001065>.

CANIATO, B. J. Cabo Verde: a fome em sua literatura. **Veredas: Revista da Associação Internacional de Lusitanistas**, n. 7, p. 131–144, dez. 2006. ISSN 2183-816X. Number: 7. Disponível em: <https://revistaveredas.org/index.php/ver/article/view/158>.

CARNEIRO, J. A. Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. 2009.

CARR, J. A.; SEEKELL, D. A.; D'ODORICO, P. Inequality or injustice in water use for food? **Environmental Research Letters**, v. 10, n. 2, p. 024013, fev. 2015. ISSN 1748-9326. Publisher: IOP Publishing. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/10/2/024013>.

CMPN, C. M. d. P. N. site institucional, **REVISTA PORTO NOVO – Câmara Municipal do Porto Novo**. 2023. Disponível em: https://cmportonovo.cv/?page_id=5226.

COELHO, C. M. N. **Dessalinização Via Osmose Inversa Utilizando a Energia Solar Fotovoltaica. - CORE**. set. 2017. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE DO MINDELO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E RECURSOS DO MAR, Mindelo, São

Vicente, Cabo Verde, set. 2017. Disponível em: https://core.ac.uk/works/124000312?source=1&algorithmId=15&similarToDoc=9080351&similarToDocKey=CORE&recSetID=47935cd7-be04-4b39-97e8-d517a5525137&position=3&recommendation_type=same_repo&otherRecs=124000196,124000087,124000312,124000314,18840046.

CONDE, G. C.; FERREIRA, L. M. Viabilidade técnico econômica para obtenção de recursos hídricos via dessalinização. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 8, n. 5, p. 957–988, maio 2022. ISSN 2675-3375. Disponível em: <https://www.periodicorease.pro.br/rease/article/view/5248>.

COSTA, T. R. D. **Estudos de biofilmes microbianos em membranas de osmose reversa**. mar. 2017. Tese (Doutorado em Microbiologia) — Universidade de São Paulo, São Paulo, mar. 2017. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/42/42132/tde-09032017-145456/>.

COUTINHO, G. L. **Segurança energética em países insulares: estudo de caso da interligação elétrica das ilhas de Cabo Verde**. 2019. Dissertação (Mestrado) — UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, Brasil, 2019. Disponível em: <http://www.realp.unb.br/jspui/handle/10482/34903>.

CRUZ, C. E. M. d. **Dessalinização da água do mar através da energia solar: caso de estudo: Salamansa - Cabo Verde**. 2012. Dissertação (Mestrado), 2012. Accepted: 2014-01-07T11:49:11Z. Disponível em: <https://sapientia.ualg.pt/handle/10400.1/3291>.

CURTO, D.; FRANZITTA, V.; GUERCIO, A. A Review of the Water Desalination Technologies. **Applied Sciences**, v. 11, n. 2, 2021. ISSN 2076-3417. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/2/670>.

CURY, J. C. C. **Estudo de caso: dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial**. 2023. Dissertação (Mestrado), 2023.

DESHMUKH, M. K. G. *et al.* Renewable energy in the 21st century: A review. **Materials Today: Proceedings**, v. 80, p. 1756–1759, 2023. ISSN 22147853. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214785321041031>.

Dhakal, Nirmala *et al.* Analyse and Design of Equitable Water Supply for Rural Water Distribution Network. **International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology**, p. 523–527, jan. 2023. ISSN 2581-9429. Disponível em: <http://ijarsct.co.in/Paper8004.pdf>.

DIAS, D. D. S. d. R. **Dessalinização da Água do Mar Através da Energia Solar _ Caso de Estudo Salamansa_Cabo Verde**. 2018. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE DO MINDELO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E RECURSOS DO MAR, 2018. Disponível em: <https://typeset.io/library/notebooks-3d5gx0qc/dessalinizacao-da-agua-do-mar-atraves-da-energia-solar-caso-1lmxxh9t>.

DING, G. K. C.; GHOSH, S. Sustainable Water Management—A Strategy for Maintaining Future Water Resources. In: ABRAHAM, M. A. (Ed.). **Encyclopedia of Sustainable Technologies**. Oxford: Elsevier, 2017. p. 91–103. ISBN 978-0-12-804792-7. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012409548910171X>.

DIOP, M. *et al.* Soil and Water Conservation in Africa: State of Play and Potential Role in Tackling Soil Degradation and Building Soil Health in Agricultural Lands. **Sustainability**, v. 14, n. 20, p. 13425, jan. 2022. ISSN 2071-1050. Number: 20 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/20/13425>.

EKE, J. *et al.* The global status of desalination: An assessment of current desalination technologies, plants and capacity. **Desalination**, v. 495, p. 114633, dez. 2020. ISSN 00119164. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0011916420313114>.

ELLABBAN, O.; ABU-RUB, H.; BLAABJERG, F. Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 748–764, nov. 2014. ISSN 13640321. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032114005656>.

ELSAID, K. *et al.* Environmental impact of desalination processes: Mitigation and control strategies. **Science of The Total Environment**, v. 740, p. 140125, out. 2020. ISSN 00489697. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969720336469>.

EMBRAPA. **Produção de caprinos e ovinos no Semiárido**. Tadeu Vinhas Voltolini, 2010. ISBN 978 -85 -7405 -015 -7. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/916887/producao-de-caprinos-e-ovinos-no-semiarido>.

ERFANI, T.; PACHOS, K.; HAROU, J. J. Real-Options Water Supply Planning: Multistage Scenario Trees for Adaptive and Flexible Capacity Expansion Under Probabilistic Climate Change Uncertainty. **Water Resources Research**, v. 54, n. 7, p. 5069–5087, 2018. ISSN 1944-7973. _eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2017WR021803>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2017WR021803>.

ESTEBAN, M. D. *et al.* What about Marine Renewable Energies in Spain? **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 7, n. 8, p. 249, jul. 2019. ISSN 2077-1312. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-1312/7/8/249>.

FERNANDES, V. E. T. **Uso da dessalinização no abastecimento de água para o consumo humano em regiões com climas áridos ou semi-áridos**. set. 2013. Dissertação (Mestrado), set. 2013. Accepted: 2014-10-16T10:21:19Z. Disponível em: <https://run.unl.pt/handle/10362/13284>.

FERNANDES, S. R. **Adequabilidade da energia solar para a produção autónoma de água dessalinizada**. 2013. Tese (Doutorado) — Instituto Superior de Agronomia - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2013. Disponível em: <https://core.ac.uk/works/125196735>.

FERRUZZI, Y. **Análise comparativa dos parâmetros de eficiência de um sistema de fotovoltaico bifacial em relação a painéis policristalinos e monocristalinos half cell**. mar. 2023. Tese (Doutorado), mar. 2023. Publisher: Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/6970>.

FIGUEIREDO, I.; ESTEVES, P.; CABRITA, P. Water wise – a digital water solution for smart cities and water management entities. **Procedia Computer Science**, v. 181, p. 897–904, jan. 2021. ISSN 1877-0509. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187705092100288X>.

FREITAS, A. F. O. de *et al.* Reuso de águas cinzas em edifícios residenciais: estudo de caso em uma residência unifamiliar. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE**, v. 6, n. 3, p. 11–11, 2021.

GARCÍA-RODRÍGUEZ, L. Seawater desalination driven by renewable energies: a review. **Desalination**, v. 143, n. 2, p. 103–113, maio 2002. ISSN 00119164. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0011916402002321>.

GOMES, R. K. **A dessalinização térmica como alternativa para abastecimento de água: estudo da técnica de dessalinização térmica e avaliação econômica preliminar**. set. 2011. Tese (MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA) — PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO, Rio de Janeiro, Brazil, set. 2011. Disponível em: http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=19356@1.

GOMINHO, M. F. d. A. **Gestão dos recursos hídricos no processo de desenvolvimento sustentável de Cabo Verde: uma proposta**. 2010. Dissertação (Mestrado), 2010. Accepted: 2012-03-09T16:50:54Z. Disponível em: <https://repositorio.iscte-iul.pt/handle/10071/3370>.

GOVBR. webpage, **Água no mundo**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/cooperacao-internacional/agua-no-mundo/agua-no-mundo>.

GREEN, M. A. The Passivated Emitter and Rear Cell (PERC): From conception to mass production. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 143, p. 190–197, dez. 2015. ISSN 0927-0248. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024815003244>.

GREENLEE, L. F. *et al.* Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges. **Water Research**, v. 43, n. 9, p. 2317–2348, maio 2009. ISSN 0043-1354. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135409001547>.

GUDE, V. G. Desalination and sustainability – An appraisal and current perspective. **Water Research**, v. 89, p. 87–106, fev. 2016. ISSN 00431354. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135415303390>.

GUDE, V. G.; FTHENAKIS, V. Energy efficiency and renewable energy utilization in desalination systems. **Progress in Energy**, v. 2, n. 2, p. 022003, jul. 2020. ISSN 2516-1083. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2516-1083/ab7bf6>.

GURGEL, H. C. Projeto de gestão do rejeito do O dessalinizador para o consórcio piscicultura/forragicultura no distrito de Juá, Ceará. 2006.

HAAGSMA, B. Traditional Water Management and State Intervention: The Case of Santo Antao, Cape Verde. **Mountain Research and Development**, v. 15, n. 1, p. 39–56, 1995. ISSN 0276-4741. Publisher: International Mountain Society. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/3673699>.

HAGUENAUER, G. D. M. **Fontes Renováveis de Energia no Processo de Dessalinização Para o Abastecimento Hídrico em Zonas Rurais Vulneráveis do Semiárido Brasileiro**. 2021. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2021.

HE, C. *et al.* Future global urban water scarcity and potential solutions. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, 2021. ISSN 2041-1723.

HUSSAIN, A.; ARIF, S. M.; ASLAM, M. Emerging renewable and sustainable energy technologies: State of the art. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 71, p. 12–28, maio 2017. ISSN 13640321. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032116310863>.

IHSANULLAH, I. *et al.* Desalination and environment: A critical analysis of impacts, mitigation strategies, and greener desalination technologies. **Science of The Total Environment**, v. 780, p. 146585, ago. 2021. ISSN 00489697. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969721016533>.

INCV. site institucional, **boletim oficial nº 200 | II Série | 31-10-23**. 2023. Disponível em: <https://kiosk.incv.cv/V/2023/10/31/1.2.200.5429/p22>.

INE. **Santo Antão**. Cabo Verde, 2016. Disponível em: https://ine.cv/en/censo_quadros/santo-antao/.

INE. **Anuário Estatístico de Cabo Verde - 2017**. 2019. Disponível em: <https://ine.cv/publicacoes/anuario-estatistico-de-cabo-verde-2017/>.

INE. **Anuário Estatístico de Cabo Verde - 2017**. 2019. Disponível em: <https://ine.cv/publicacoes/anuario-estatistico-de-cabo-verde-2017/>.

INE. **Santo Antão zonas e lugares**. Cabo Verde, 2022. Disponível em: https://ine.cv/censo_quadros/santo-antao-zonas-e-lugares/.

INE. site institucional, **Anuário Estatístico de Cabo Verde 2021**. 2024. Disponível em: <https://ine.cv/publicacoes/anuario-estatistico-de-cabo-verde-2021/>.

INE. site institucional, **Anuário Estatístico de Cabo Verde 2021**. 2024. Disponível em: <https://ine.cv/publicacoes/anuario-estatistico-de-cabo-verde-2021/>.

INFORPRESS. webpage, **Porto Novo: Moradores do Planalto Norte pedem água auto-transportada para amenizar escassez**. 2024. Disponível em: <https://inforpress.cv/web/guest/w/porto-novo-moradores-do-planalto-norte-pedem-agua-auto-transportada-para-amenizar-escassez>.

INFORPRESS. webpage, **Porto Novo/Planalto Norte: Reservas de água estão a esgotar-se para a preocupação da população - líder comunitário**. 2024. Disponível em: <https://inforpress.cv/web/guest/w/porto-novo/planalto-norte-reservas-de-agua-estao-a-esgotar-se-para-a-preocupacao-da-populacao-lider-comunitario>.

J, C. R. K.; MAJID, M. A. Renewable energy for sustainable development in India: current status, future prospects, challenges, employment, and investment opportunities. **Energy, Sustainability and Society**, v. 10, n. 1, p. 2, dez. 2020. ISSN 2192-0567. Disponível em: <https://energysustainsoc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13705-019-0232-1>.

JANG, H. *et al.* Comparative Study on Energy Yield of Tunnel Oxide Passivated Contact (TOPCon) and Passivated Emitter and Rear Contact (PERC) Solar Cells and Analysis of Optimal Installation Method for Vertical Photovoltaics. **Process Integration and Optimization for Sustainability**, v. 8, n. 4, p. 993–1001, set. 2024. ISSN 2509-4246. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s41660-024-00408-4>.

JICA, A. d. C. I. d. J. **Relatório Preparatório para o Estudo do Projecto de Desenvolvimento do Sistema de Abastecimento de Água na República de Cabo Verde**. 2011. Disponível em: https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12015152_01.pdf.

JONES, E. *et al.* The state of desalination and brine production: A global outlook. **Science of The Total Environment**, v. 657, p. 1343–1356, mar. 2019. ISSN 0048-9697. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718349167>.

KADHIM, R. A.; KHUDHAIR, B. H.; JAAFAR, M. S. Comparative Study of Water Desalination using Reverse Osmosis (RO) and Electro-dialysis Systems (ED): Review. **Journal of Engineering**, v. 29, n. 04, p. 61–77, abr. 2023. ISSN 2520-3339. Number: 04. Disponível em: <https://joe.uobaghdad.edu.iq/index.php/main/article/view/1755>.

KALOGIROU, S. A. Solar thermal collectors and applications. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 30, n. 3, p. 231–295, jan. 2004. ISSN 0360-1285. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128504000103>.

KAVAND, H.; ZIAEE, S.; NAJAFABADI, M. M. The impact of water conservation policies on the reallocation of agricultural water-land resources. **Frontiers in Water**, v. 5, mar. 2023. ISSN 2624-9375. Publisher: undefined. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/water/articles/10.3389/frwa.2023.1138869/full>.

KHARE, V.; BHUIYAN, M. A. Tidal energy-path towards sustainable energy: A technical review. **Cleaner Energy Systems**, v. 3, p. 100041, dez. 2022. ISSN 2772-7831. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772783122000395>.

LANNA, P. P. **Modelagem matemática e simulação numérica de uma planta de dessalinização-MSF**. 2020. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Viçosa, 2020.

LATTEMANN, S.; HÖPNER, T. Environmental impact and impact assessment of seawater desalination. **Desalination**, v. 220, n. 1-3, p. 1–15, mar. 2008. ISSN 00119164. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0011916407006005>.

LAWAL, D. U.; QASEM, N. A. Humidification-dehumidification desalination systems driven by thermal-based renewable and low-grade energy sources: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 125, p. 109817, jun. 2020. ISSN 13640321. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S136403212030112X>.

LEPADATESCU, B.; DUMITRASCU, A. E. Solutions for using renewable energy sources to produce electricity and to provide water for domestic supply and irrigation. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 399, p. 012028, set. 2018. ISSN 1757-899X. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/399/1/012028>.

LIMA, C. W. S. **Modelagem matemática de protótipo para dessalinização de água utilizando energia solar térmica com potencial de aplicação no Maciço de Baturité, Ceará, e regiões equivalentes de clima**. 2023. Tese (Doutorado), 2023.

LISBOA, E. *et al.* Dessalinização da água do mar através de osmose reversa. **ANIMA HOLDING S/A**, jun. 2023. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/36774>.

LOPES, V. M. **Cabo Verde. Arte/Educação/Cultura como vectores de Desenvolvimento: Um desafio à investigação aplicada em contexto, com o mínimo de dispositivos**. 2016. Tese (Doutorado) — Universidade do Porto FBAUP - Faculdade de Belas Artes, 2016.

LOPEZ, R. A. **Energia solar para produção de eletricidade**. [S.l.: s.n.], 2012.

LOURENÇO, J. A. **Secas e Fomes em Cabo Verde no Alvorecer do Século XX A crise de 1901-1904. Causas e consequências**. set. 2021. Tese (Doutorado) — Universidade Nova de Lisboa, set. 2021. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/136354/1/UNL_FCSH%20Disserta%C3%A7%C3%A3o%20de%20Mestrado_Hist%C3%B3ria%20do%20Imp%20Portugu%C3%AAs_Secas%20e%20Fomes%20em%20Cabo%20Verde%20no%20Alvorecer%20do%20S%C3%A9c%20XX_A%20crise%201901-1904_Jacinto%20Louren%C3%A7o%20Aluno%2043939.pdf.

LOURENÇO, J. M. R. d. S. **Avaliação do desempenho energético de sistemas fotovoltaicos em edifícios de serviços**. 2014. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10348/5756>.

MACARARONESIAN. **Historia Natural de la Macaronesia**. 2021. Disponível em: https://www.macaronesian.org/pt/map/cabo_verde/santo-antao.

MACHADO, M. **As Forças Armadas Cabo-Verdianas | Operacional**. 2010. Disponível em: <https://www.operacional.pt/as-forcas-armadas-cabo-verdianas/>.

MAESTRI, H. G. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico autônomo para alimentação de um dispositivo de monitoramento de parâmetros elétricos em linha de transmissão**. 2018. Dissertação (Mestrado), 2018. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/161520073.pdf>.

MAHON, J. M. Chapter 7 - Water purity and sustainable water treatment systems for developing countries. In: LETCHER, T. M. (Ed.). **Water and Climate Change**. Elsevier, 2022. p. 115–144. ISBN 978-0-323-99875-8. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323998758000215>.

MARIANO, J. D.; JUNIOR, J. U. **Energia solar fotovoltaica: Princípios fundamentais**. [s.n.], 2022. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/energia-solar-fotovoltaica-principios-fundamentais>.

MARTINS, L. O. S. *et al.* Potential of electric energy generation from vegetable biomass in different regions of Brazil: mapping and analysis. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 15, n. 37, jul. 2019. ISSN 1984-3526. Number: 37. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/9636>.

MATHIOULAKIS, E.; BELESSIOTIS, V.; DELYANNIS, E. Desalination by using alternative energy: Review and state-of-the-art. **Desalination**, v. 203, n. 1-3, p. 346–365, fev. 2007. ISSN 00119164. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0011916406012860>.

MBARGA, A. A. *et al.* Integration of Renewable Energy Technologies With Desalination. **Current Sustainable/Renewable Energy Reports**, v. 1, n. 1, p. 11–18, mar. 2014. ISSN 2196-3010. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s40518-013-0002-1>.

MEISCH, S. Fair water in a changing climate. In: **Food futures: ethics, science and culture**. Wageningen Academic, 2016. p. 148–154. Accepted: 2018-06-08T07:23:29Z. Disponível em: <https://refubium.fu-berlin.de/handle/fub188/17857>.

MEZHER, T. *et al.* Techno-economic assessment and environmental impacts of desalination technologies. **Desalination**, v. 266, n. 1-3, p. 263–273, jan. 2011. ISSN 00119164. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0011916410006296>.

MONTEIRO, F. *et al.* Current Status and Trends in Cabo Verde Agriculture. **Agronomy**, v. 10, n. 1, p. 74, jan. 2020. ISSN 2073-4395. Number: 1 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/1/74>.

MONTEIRO, W. M. L.; SARMENTO, A. Analysing the Possibility of Extracting Energy from Ocean Waves in Cabo-Verde to Produce Clean Electricity - Case-Study: the Leeward Islands. **International Journal of Renewable Energy Development**, v. 8, n. 1, p. 103–112, fev. 2019. ISSN 2252-4940. Disponível em: <https://ijred.cbiorid.org/index.php/ijred/article/view/21474>.

MOREIRA, F. D. S. *et al.* Future scenarios for the development of the desalination industry in contexts of water scarcity: A Brazilian case study. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 167, p. 120727, jun. 2021. ISSN 00401625. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0040162521001591>.

MOURA, P. D. **Geração de energia e obtenção de água potável: uma proposta didática para discutir a conservação do planeta**. jan. 2022. Tese (Mestrado em Ensino de Ciências Ambientais) — Universidade de São Paulo, São Carlos, jan. 2022. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18160/tde-15032022-075559/>.

MOURÃO, C. Orientações para elaboração de trabalhos acadêmico produzidos no âmbito da utfpr. 2021.

MUNIEWEG, F. R.; SANTOS, M.; SEGUNDO, V. A. G. Dimensionamento de sistema de osmose reversa para purificação de águas contaminadas por resíduos minerais. In: **I Encontro Nacional de Desastres**. Porto Alegre -RS/Brasil: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2018.

MUSHTAQ, B.; BANDH, S. A.; SHAFI, S. Management of Water Resources. In: MUSHTAQ, B.; BANDH, S. A.; SHAFI, S. (Ed.). **Environmental Management: Environmental Issues, Awareness and Abatement**. Singapore: Springer, 2020. p. 1–46. ISBN 9789811538131. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-15-3813-1_1.

MUTHUKUMAR, V. *et al.* Cloud-based Smart Water Management System. In: **2023 International Conference on Sustainable Computing and Smart Systems (ICSCSS)**. [s.n.], 2023. p. 1633–1638. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10169753>.

NASSRULLAH, H. *et al.* Energy for desalination: A state-of-the-art review. **Desalination**, v. 491, p. 114569, out. 2020. ISSN 00119164. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0011916420310304>.

NAVARRO-RAMÍREZ, V. *et al.* Methodological frameworks to assess sustainable water resources management in industry: A review. **Ecological Indicators**, v. 119, p. 106819, dez. 2020. ISSN 1470-160X. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X20307573>.

NAÇÃO, A. **Perda de população/Santo Antão: Quando migrar é a “única solução” – A Nação – Jornal Independente**. 2023. Disponível em: <https://www.anacao.cv/noticia/2023/04/15/perda-de-populacao-santo-antao-quando-migrar-e-a-unica-solucao/>.

NEUHAUS, D. R. **Dimensionamento de um sistema de recalque de água utilizando energia solar**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso — Faculdade Horizontina, Horizontina, RS, 2018. Orientador: Prof. Me. Geovane Webler.

NORDMAN, E. *et al.* Options for Achieving Cape Verde’s 100% Renewable Electricity Goal: A Review. **Island Studies Journal**, v. 14, n. 1, p. 41–58, maio 2019. Publisher: Beewolf Press Limited. Disponível em: <https://islandstudiesjournal.org/article/84532>.

NOURIFARD, S. Iran’s Transition to Wind Energy. **Renewable Energy Research and Applications**, v. 2, n. 2, p. 179–183, jul. 2021. ISSN 2717-252X. Publisher: Shahrood University of Technology. Disponível em: https://rera.shahroodut.ac.ir/article_2127.html.

NOVA, T. site de notícias, **Porto Novo: Queijo do Planalto Norte entre melhores do mundo na feira internacional do gosto de Turim (Itália) | Terra Nova**. 2017. Disponível em: https://terranova.cv/pt_PT/porto-novo-queijo-do-planalto-norte-entre-melhores-do-mundo-na-feira-internacional-do-gosto-de-turim-ita

NUNES, H. M. *et al.* Estudo comparativo técnico-financeiro de usinas fotovoltaicas utilizando módulos de silício monocristalinos e policristalinos. **Anais Congresso**

Brasileiro de Energia Solar - CBENS, nov. 2020. ISSN 2965-6613. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/855>.

OKAMPO, E. J.; NWULU, N. Optimisation of renewable energy powered reverse osmosis desalination systems: A state-of-the-art review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 140, p. 110712, abr. 2021. ISSN 1364-0321. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121000095>.

OLIVEIRA, A. R. d. **Desempenho de um sistema de dessalinização via osmose inversa usando energia não-convencional, sem a utilização de acumuladores**. ago. 2007. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, Brasil, ago. 2007. Accepted: 2018-09-14T11:45:03Z Company: Brasil Distributor: Brasil Institution: Brasil Label: Brasil Publisher: Universidade Federal de Campina Grande. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/1720>.

OLIVEIRA, E. S. G. de. **Contribuição para a Avaliação da Viabilidade da Reutilização de Águas Residuais Tratadas para Produção de Água para Consumo Humano. Estudo de Caso: Mindelo, São Vicente (Cabo Verde)**. 2018. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2018. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/113887/1/Oliveira_2018.pdf.

OLIVEIRA, M. C.; ITEN, M.; MATOS, H. Review on Water and Energy Integration in Process Industry: Water-Heat Nexus. **Sustainability**, v. 14, p. 7954, jun. 2022.

OLIVEIRA, P. A. Estado, seca e fome em Cabo Verde: algumas respostas públicas no século XX (c. 1920-c.1990). In: QUEIROZ, A. I. *et al.* (Ed.). **Pobreza e Fome, uma história contemporânea**. Lisboa: Imprensa de História Contemporânea, 2022. p. 265–281. ISBN 978-989-8956-42-2.

ONU. **Renewable energy – powering a safer future**. 2022. Publisher: United Nations. Disponível em: <https://www.un.org/en/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>.

ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável | As Nações Unidas em Cabo Verde**. 2024. Disponível em: <https://cabo Verde.un.org/pt/sdgs>.

OVELHA, R. M. R. V. d. **Projeto, dimensionamento e instalação de solução fotovoltaica numa moradia offgrid**. 2017. Dissertação (Mestrado), 2017. Accepted: 2018-02-15T15:47:32Z. Disponível em: <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/31733>.

PANAGOPOULOS, A.; HARALAMBOUS, K.-J. Environmental impacts of desalination and brine treatment - Challenges and mitigation measures. **Marine Pollution Bulletin**, v. 161, p. 111773, dez. 2020. ISSN 0025326X. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X20308912>.

PANAGOPOULOS, A.; HARALAMBOUS, K.-J.; LOIZIDOU, M. Desalination brine disposal methods and treatment technologies - A review. **Science of The Total Environment**, v. 693, p. 133545, nov. 2019. ISSN 0048-9697. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719334655>.

PANDIYARAJU, V. *et al.* **Wireless Sensor Network Assisted Intelligent Drip Irrigation System for Water Conservation in Agriculture**. 2022. ISSN: 2693-5015. Disponível em: <https://www.researchsquare.com/article/rs-1249079/v1>.

PEREIRA, A. C. **Geração de energia para condomínio utilizando sistema fotovoltaico autônomo: estudo de caso em edifício residencial com seis pavimentos**. ago.

2012. Dissertação (Mestrado), ago. 2012. Accepted: 2019-08-13T04:51:53Z Publisher: Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-9AHFB9>.

PIMENTEL, C. Agronomic Practices to Improve Water Use Efficiency. **Environmental Sciences and Ecology: Current Research (ESECR)**, v. 3, n. 8, p. 1–4, dez. 2022. Disponível em: <https://www.corpuspublishers.com/assets/articles/esecr-v3-22-1081.pdf>.

PINA, A. d.; SAID, A. P. **Fundamentos hidrogeoquímicos aplicados na bacia hidrográfica de Santa Cruz, ilha de Santiago - Cabo Verde, como instrumento para a gestão de recursos hídricos**. 2011. Dissertação (Mestrado), 2011. Accepted: 2013-05-22T20:14:15Z. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/4847>.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Grupo de trabalho de energia solar-GTES**. [S.l.], 2014.

PINTO, C. F. **Em busca de uma arquitetura sustentável: o uso de fontes alternativas de energia**. dez. 2009. Tese (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) — Universidade de São Paulo, São Carlos, dez. 2009. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-10092013-101553/>.

PINXTEREN, M. van. dataset publication series, **Seawater data from MarParCloud at Cape Verde islands**. 2020. Publisher: PANGAEA. Disponível em: <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.910694>.

PISTOCCHI, A. *et al.* Can seawater desalination be a win-win fix to our water cycle? **Water Research**, v. 182, p. 115906, set. 2020. ISSN 00431354. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135420304437>.

PVGIS. **JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission**. 2024. Disponível em: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/.

RAHMAN, A.; FARROK, O.; HAQUE, M. M. Environmental impact of renewable energy source based electrical power plants: Solar, wind, hydroelectric, biomass, geothermal, tidal, ocean, and osmotic. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 161, p. 112279, jun. 2022. ISSN 13640321. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S136403212200199X>.

RAMALHO, R. S. **Avaliação de desempenho de uma planta de dessalinização com fonte de energia renovável para região de São Mateus (ES)**. 2022. Dissertação (Mestrado) — Instituto Federal do Espírito Santo Campus São Mateus, 2022. Accepted: 2022-08-24T12:33:03Z. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/2239>.

REIS, V. J. A. *et al.* O consumo consciente da água. **Programa Recosol**, p. 1–11, 2018.

RIBEIRO, E.; FLORIAN, F.; FIGUEIRA, R. G. Instalação do sistema fotovoltaico on-grid como cobertura de um estacionamento utilizando carport solar. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 3, n. 6, p. e361574–e361574, 2022.

RIBEIRO, F. H. d. M. *et al.* Auxiliary Strategies for Water Management in Industries: Minimization of Water Use and Possibility of Recycling and/or Reuse of Effluent. In: **Innovation in Global Green Technologies 2020**. IntechOpen, 2019. ISBN 978-1-83880-050-5. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/70214>.

RIBEIRO, G. F. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico off-grid em um motorhome**. 2020. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais

Aplicadas, 2020. Accepted: 2021-06-07T14:16:00Z Publisher: UniCEUB. Disponível em: <http://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/prefix/15114>.

RIBEIRO, R. P. **Estudo de Caso: Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Residencial**. 2016. Dissertação (Mestrado), 2016.

RIBEIRO, R. R. F. **Sistema de dessalinização via osmose inversa alimentado por painéis fotovoltaicos: modelagem e dimensionamento sem baterias**. mar. 2009. Dissertação (Mestrado), mar. 2009. Accepted: 2019-08-02T17:59:09Z Company: Brasil Distributor: Brasil Institution: Brasil Label: Brasil Publisher: Universidade Federal de Campina Grande. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/5373>.

RICKETTS, J.; DIMRI, A.; MAHERI, A. Tidal Energy Power and Cost Modelling. In: **2022 7th International Conference on Environment Friendly Energies and Applications (EFEA)**. [s.n.], 2022. p. 1–6. ISSN: 2688-2558. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10063741>.

RODRIGUES, A.; PIRES, H.; RODRIGUES, C. webpage, **Moradores do Planalto Norte em Santo Antônio queixam-se da falta de água na localidade**. 2024. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=1SZ4u0ydqTA>.

RTC. **Santo Antônio: Falta de água continua a afetar a população do Planalto Norte - YouTube**. 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=kqHnLh1U1yY>.

RYBACH, L. Geothermal energy: sustainability and the environment. **Geothermics**, v. 32, n. 4-6, p. 463–470, ago. 2003. ISSN 03756505. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0375650503000579>.

SADORSKY, P. Wind energy for sustainable development: Driving factors and future outlook. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 289, p. 125779, 2021.

SANTOS, C. D. **Situação Geral de Cabo Verde Abastecimento de Água e Necessidades em Matéria de Dessalinização**. 2022.

SANTOS, N. dos. sites de notícias, **Cabo Verde sofre a pior seca desde 1977**. 2018. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-002/cabo-verde-sofre-a-pior-seca-desde-1977/a-44195035>.

SEEKELL, D.; D'ODORICO, P.; PACE, M. Virtual water transfers unlikely to redress inequality in global water use. **Environmental Research Letters**, v. 6, n. 2, p. 024017, abr. 2011. ISSN 1748-9326. Publisher: IOP Publishing. Disponível em: <https://typeset.io/papers/virtual-water-transfers-unlikely-to-redress-inequality-in-g10dproapj>.

SHAHIDIAN, S. *et al.* O desafio dos recursos hídricos em Cabo Verde - In Cabo Verde – Agronomia e Recursos Naturais. In: **Cabo Verde – Agronomia e Recursos Naturais**. Portugal: Francisco Cardoso Pinto, 2014. p. 217–236. ISBN 978-972-8669-54-6N. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10174/12489>.

SHALABY, S. Reverse osmosis desalination powered by photovoltaic and solar Rankine cycle power systems: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 73, p. 789–797, jun. 2017. ISSN 13640321. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032117301867>.

SHOUMAN, E. R.; SOROUR, M. H.; ABULNOUR, A. G. Economics of Renewable Energy for Water Desalination in Developing Countries. **Journal of Engineering Science and Technology Review**, 2015.

SILVA, A. S. P. d. **Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Isolado (SFI) e/ou conectado a rede elétrica (SFCR) para um trailer de conveniência da Universidade Federal Rural da Amazônia**. 2019. Tese (Graduação) — Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil, 2019. Accepted: 2020-04-20T01:33:51Z Publisher: UFRA/Campus Belém (PA). Disponível em: <http://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/1431>.

SILVA, J. S. d. **Análise da influência da temperatura na geração de energia utilizando painéis fotovoltaicos monocristalinos e policristalinos**. jun. 2016. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) — Universidade Federal do Pampa, Brasil, jun. 2016. Accepted: 2017-05-31T19:55:53Z Publisher: Universidade Federal do Pampa. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/handle/riu/1534>.

SILVA, P. S. S. **Viabilidade técnica-econômica de um sistema de aproveitamento de água pluviais em uma unidade residencial multifamiliar**. jun. 2017. Dissertação (Mestrado), jun. 2017. Accepted: 2019-04-01T14:26:31Z Publisher: Universidade Federal de Alagoas. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/riufal/4786>.

SINGH, T. *et al.* The Role of Nanofluids and Renewable Energy in the Development of Sustainable Desalination Systems: A Review. **Water**, v. 12, n. 7, p. 2002, jul. 2020. ISSN 2073-4441. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/7/2002>.

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, p. 730–737, set. 2006. ISSN 1415-4366, 1807-1929. Publisher: Departamento de Engenharia Agrícola - UFCG. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/LWX7MTdbcWPVxSChpjGrZdd/?lang=pt>.

SOLARGIS. webpage, **Mapas de recursos solares de Cabo Verde**. 2024. Disponível em: <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/cabo-verde>.

SOLIMAN, M. N. *et al.* Energy consumption and environmental impact assessment of desalination plants and brine disposal strategies. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 147, p. 589–608, mar. 2021. ISSN 09575820. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0957582020319650>.

SOUZA, E. M. de. **Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico conectado on grille 5 kW para a Localidade de São Mateus-ES**. 2022. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Viçosa, 2022.

SRIVASTAVA, V. S. *et al.* Conceptual Investigation of Renewable Energy for Desalination Purposes. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 691, n. 1, p. 012045, nov. 2019. ISSN 1757-8981, 1757-899X. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/691/1/012045>.

TABASSUM, R. *et al.* Sustainable urban water conservation strategy for a planned city of a developing country: a perspective from DHA City Karachi. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 13, n. 22, p. 1203, nov. 2020. ISSN 1866-7538. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06180-2>.

TAMASCO, I. F. *et al.* Dessalinização da água salobra ou de reuso por osmose reversa com ênfase no estudo de membranas através do software wave. **Universidade São Francisco**, p. 15, 2022.

TASHTOUSH, B. *et al.* Renewable energy integration in water desalination: State-of-the-art review and comparative analysis. **Applied Energy**, v. 352, p. 121950, dez. 2023. ISSN

0306-2619. Publisher: Elsevier. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0306261923013144>.

TAVARES, J. M. B.; MOREIRA, A. M. G. F. As secas e as fomes na iconografia colonial de Cabo Verde (séc. XIX-X). **Cartas Diferentes: Revista Canaria de Património Documental**, n. 19, p. 173–191, 2023. Publisher: Cartas Diferentes. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9352810>.

TAVARES, J. P. V. **Estudo da viabilidade do uso de fontes renováveis para a dessalinização de água na ilha de Santiago (Cabo Verde)**. jun. 2020. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Évora, jun. 2020. Accepted: 2020-07-31T09:30:09Z. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/27979>.

TAVARES, T. *et al.* Assessment of Processes to Increase the Useful Life and the Reuse of Reverse Osmosis Elements in Cape Verde and Macaronesia. **Membranes**, v. 12, n. 6, p. 613, jun. 2022. ISSN 2077-0375. Number: 6 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0375/12/6/613>.

TESSAROLO, P. H. F. *et al.* O uso das usinas hidrelétricas como uma energia renovável. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 2, n. 3, p. 41, out. 2014. ISSN 2317-6792, 2317-4846. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/relainep/article/view/38412>.

TORRI, J. B. **Dessalinização de água salobra e/ou salgada: métodos, custos e aplicações. 2015. 51fl.** 2015. Dissertação (Mestrado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2015.

UKOIMA, K. N. *et al.* Investigating the optimal Photovoltaic (PV) tilt angle using the Photovoltaic Geographic Information System (PVGIS). **Nigerian Journal of Technology**, v. 43, n. 1, p. 101–114, abr. 2024. ISSN 2467-8821. Number: 1. Disponível em: <https://www.ajol.info/index.php/njt/article/view/268369>.

UNESCO. webpage, **UN World Water Development Report 2019: ‘Leaving no one behind’ - World | ReliefWeb**. 2019. Disponível em: <https://reliefweb.int/report/world/world-water-development-report-2019-leaving-no-one-behind>.

VILAS-BOAS, P. R. R. d. S. *et al.* **Modelação de uma rede de distribuição de água**. 2008.

VILLALVA, M. G. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. [S.l.: s.n.], 2022. v. 2.

VöRöSMARTY, C. *et al.* Global Threats to Human Water Security and River Biodiversity. **Nature**, v. 468, p. 334, nov. 2010.

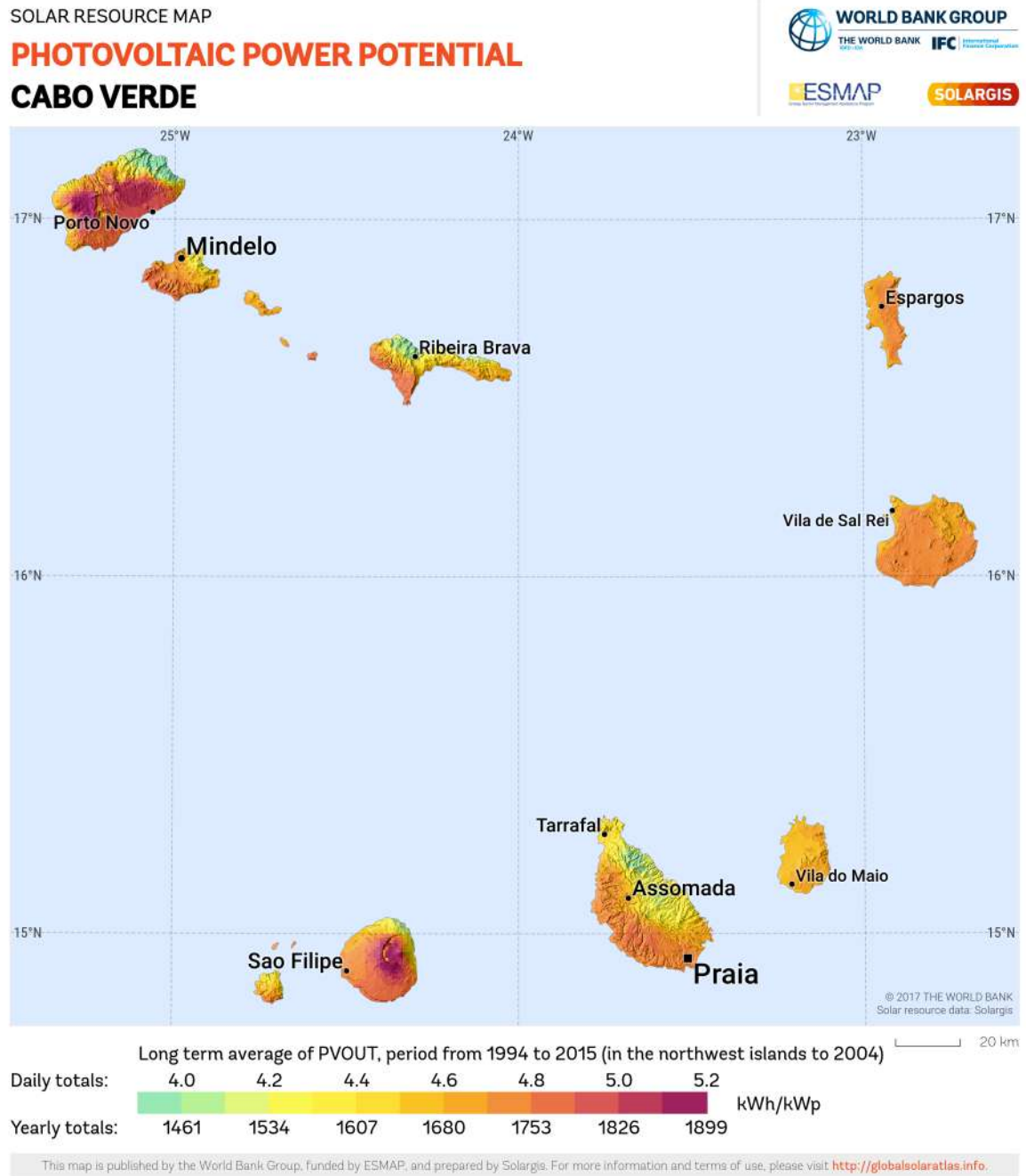
ZABIDI, H. A. *et al.* **A Review of Roof and Pond Rainwater Harvesting System: The Design, Performance and Way Forward**. [S.l.], 2020. Disponível em: <https://www.preprints.org/manuscript/202009.0549/v1>.

ZHU, Z. *et al.* The status quo and development trend of smart water research. **MATEC Web of Conferences**, v. 246, p. 02013, 2018. ISSN 2261-236X. Disponível em: <https://www.matec-conferences.org/10.1051/matecconf/201824602013>.

ANEXO A – Mapas de Recursos Solares de Cabo Verde

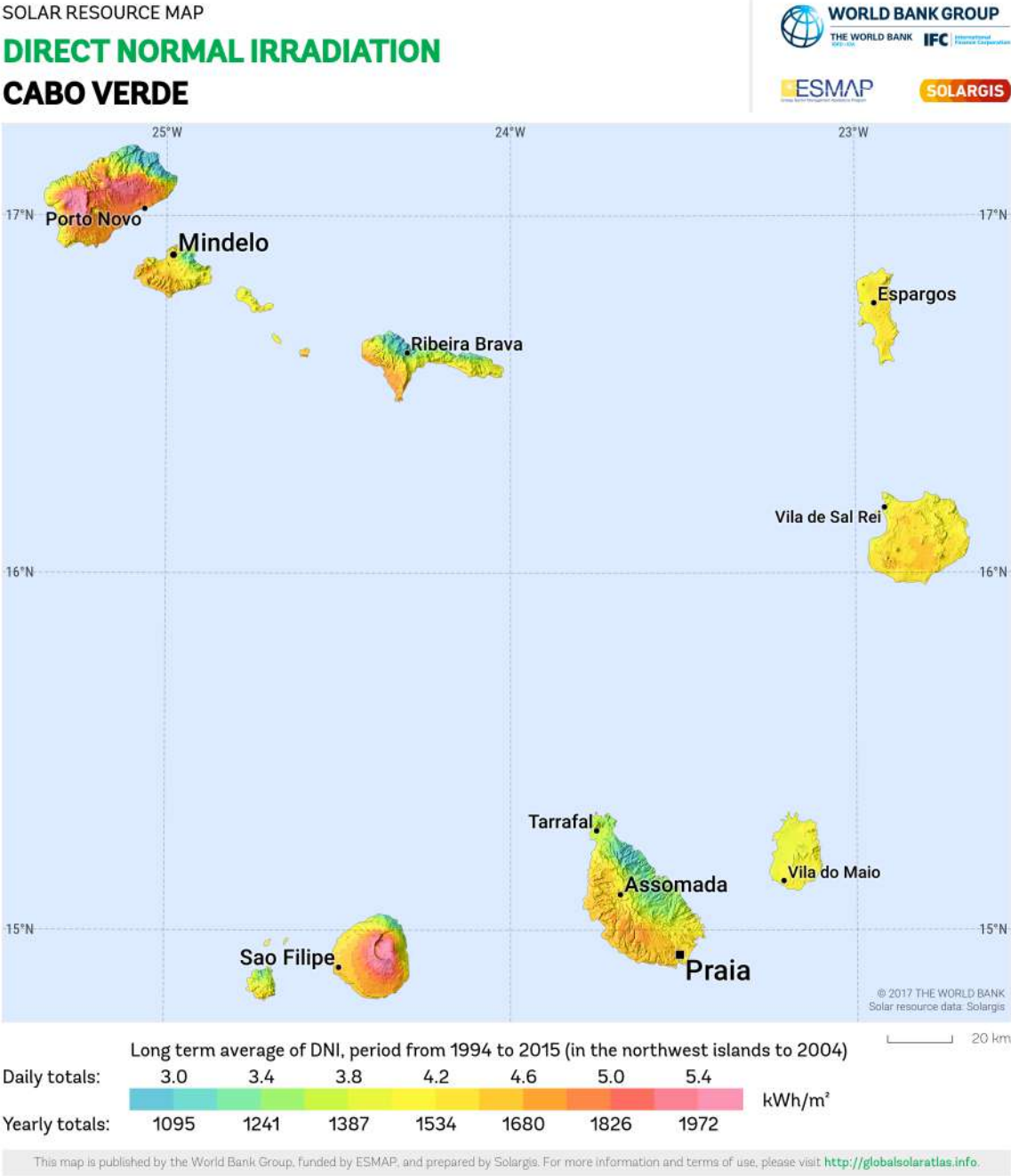
Os Mapas de recursos solares de Cabo Verde podem ser acessadas em: <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/cabo-verde>. Ver Figuras 11, 12 e 13.

Figura 11 – Photovoltaic Electricity Potential



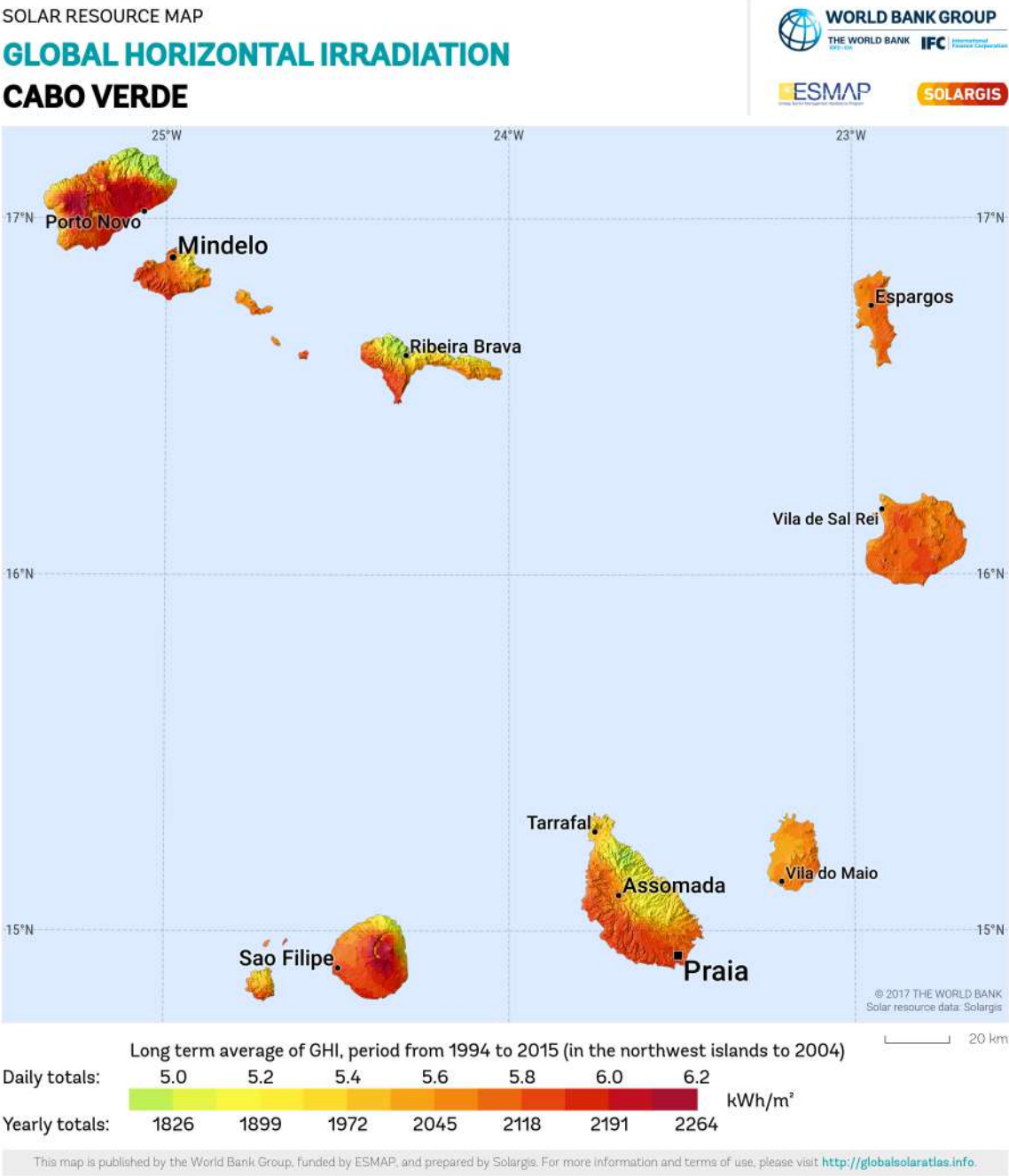
Fonte: (SOLARGIS, 2024).

Figura 12 – Direct Normal Irradiation



Fonte: (SOLARGIS, 2024).

Figura 13 – Global Horizontal Irradiation



Fonte: (SOLARGIS, 2024).

ANEXO B – Proposal - Ampac Sea Water Desalination: Model SW20K-LX



Ampac Sea Water Desalination
Model SW20K-LX



Ampac USA

2262 South 1200 West Suite 103
Woods Cross, UT 84087
Phone: (909) 548-4900
Website: www.ampac1.com

Table of Contents

System Design Basis:.....	4
Main System Components:.....	4
Main System Instrumentations:.....	4
Functional Specification.....	5
System Safety:.....	5
System Specifications:.....	6
Design Basis:	6
Standard Features.....	6
Components Make & Materials of Construction:	6
Base Price for SW20K-LX 480V/50Hz/3 Phase	7
Instrumentations	8
PLC: S200 Series Microprocessor Controller:.....	8
PLC: S1040 Series Microprocessor Controller (Optional)	9
Flow Meters:	10
Pressure Gauges:.....	10
Pressure Valves:	10
Frame:	11
RO system Operating Requirements:	11
Electrical.....	11
Power Consumption	11
Additional Specifications:.....	12
Monitoring:	12
Service:.....	12
Terms:	12
Technical Support:	12
WARRANTIES:.....	13
Flowchart design.....	13



Proposal
Ampac Reverse Osmosis System For Sea Water Desalination
Application 20,000 GPD-TFC (75.7m³/Day)

June 20, 2024
Proposal Number: 240620-5

Contact Name: Emerson David Never Dos Santos
Company: N/A
Address: N/A
Tel: N/A
E-mail: emersonsantos.1989@alunos.utfpr.edu.br



Dear Emerson,



Thank you for this opportunity to quote you on your Water Purification Requirement. We take pride in our attention to detail with our customers Requirement. Best Design, material and workmanship shall be applied and specified according to the world wide recognized marine practices to ensure reliability, durability and easy maintenance and to comply with Marine Industry and Ship Requirements.

System production is based on the following conditions:		If Applicable Ship Motion:	
1) Air Temp (Weather):	From 40°C to -30°C	1) Permanent Trim up to:	± 5°
2) Sea water Temp:	From 30°C to -2°C	2) Permanent Heel up to:	±20°
3) Machine Room:	From 50°C to 0°C	3) Pitching up to:	±10°
4) Relativity Humidity:	From 95% to 0	4) Rolling up to:	±45°
5) Maximum Salinity:	45,000ppm NaCl feed water,	Movements and accelerations due to sea conditions 5 and Beaufort scale 6	
6) pH Range:	3.0-11.0pH Range.		

Dimensions: Reverse Osmosis Skid: 108" L x 48" W x 72" H., approx. Weight 1,450 Kgs.

Electrical Power Requirement: 480V | 3 Phase | 60HZ

Make of System: Fully automated Turnkey Sea Water Desalination Water maker including pre-treatment Modules, Reverse Osmosis System, and Post-Treatment, fully built on a Powder Coated welded Aluminum Skid with Diamond Plate Base using good industrial practice and following manufacturer's guidelines for every component.

Model of System: SW20K-LX, System to produce 20,000 GPD Gallons per day

Exclusions: Prices do not include shipping, insurance, sales tax, import taxes and duties, installation, and options listed below unless otherwise indicated.

The proposal system includes the following features:

System Design Basis:

Main System Components:

- Double Coated Epoxy Welded Aluminum frame with Aluminum Diamond Plate and will conform to AISC Manual of Construction.
- Auto Flush Spin Down Screen Pre-Filter
- Inlet On-Demand Multi-Stage 316L Stainless Steel Feed Pressure Pump
- 15Ft³ Multimedia Anthracite Pre-Filter w/backwash valve, Bypass
- 4"x30" Sediment Pre-Filter 5µm
- Belt Driven High Pressure Plunger Pump with Motor, Pressure Relief Valve and Accumulator
- Horizontal Multi-Stage Feed Supply Pump with Safeguards
- 8" x 80" FRP Pressure Vessels
- Count Two TFC 8" x 40" Membrane Element
- pH Adjust Calcite Post-Filter
- Ultra-Violet Disinfection Sterilizer

Main System Instrumentations:

- Complete Panel for Easy Controls
- Eight Count Stainless steel liquid-filled pressure gauges
- Sea Water Inlet Mechanical Motorized Actuator Valve
- Pressure Sensors for Raw, Brine and Permeate Waters w/Cut Off Pressure Switches
- Pressure Sensors to Halt Operations and Stop Pumps in case of High Module-Inlet Pressure
- High Pressure Relief Valve to reduce Pressure at the High-Pressure Pump
- Stainless Steel System Pressure Control
- Stainless Steel Recycle Pressure Valve
- On/Off Main Power Switch
- Automatic Operating Programmable logic controller UL/CE Approved with:
 - Smart Relay
 - Delayed start-up of high-pressure pump
 - Inlet Solenoid Valve Control
 - Low & High Feed Pressure Switches
 - Supply & Delivery Pumps Controls
 - R/P Storage Tank Full Pump on/off
 - Auto Flush Cycle
 - Pre-Treat Lockout
 - TDS Water quality Monitor for Permeate Water Quality
 - Temperature Monitor with LCDE Display
 - Hour Meter
- Chlorine Dosing Feed System
- Anti-Scalant Dosing Feed System
- Clean in Place (CIP) Fully Automated system *(Optional)*

Functional Specification

Complete functional specification shall be provided which describes:

- 1) Operation of unit
- 2) Control loops
- 3) Interlocks
- 4) Alarms
- 5) Startup/Shutdown sequences
- 6) Security

System Safety:

The equipment and system shall be designed considering minimizing hazard. Countermeasures against the system hazard are as follows:

Electrical Safety Devices:

- System will be equipped with a 3 Pole Sensor Breaker
- Instrumentations will be equipped with a Single-Phase Breaker and 2 Fuses
- Alarm Horn - Alarm Conditions: *Low feed pressure & High permeate conductivity*
- Unit Shutdowns include:
 - *Low feed pressure*
 - *Pretreatment filters in backwash*
 - *Product storage tank full*
 - *High permeate conductivity*

Water Safety device:

- Low Pressure Sensor
- High Pressure Diverter Valve

Monitoring and control devices for system safety:

- LCD Display Screen showing Conductivity, Hour Meter and Temperature
- On-Off Push Buttons
- Panel Mount Liquid Filled Stainless Steel Pressure Gauges
- Panel Mount Flow Meters
- Pressure Control Valves

System Specifications:	
Quantity	One
Capacity	20,000 GPD
% Recovery	30%
% Salt Rejection	99.8%
Design Temperature	25°C
Maximum Temperature	45°C
Membrane Type	TFC (Filmtec)
Pressure Vessels	FRP (Code Line or Protec)

Design Basis:	
Feed Flow	51.0 GPM (193 LPM)
Product Flow	14.6 GPM (55.2 LPM)
Incoming Feed TDS	45,000 PPM (45 PPT)
Incoming Feed Incoming Water Pressure	Through Optional Submersible Pumps
Incoming Feed Water Chlorine	0 PPM
Incoming Feed Water Turbidity	< 1 NTU
Incoming Feed Water SDI	< 5 Maximum
Capacity (Design) Basis	24 Hrs/Day Operation

The proposal system includes the following features:

Standard Features	
High-Pressure Belt Driven Piston Pump with Safeguards	Hypro USA
Complete Panel for Easy Controls	Ampac USA
Sediment Pre-Filtration rated @ 750 GPM	Hydrosafe USA
Liquid-filled pressure gauges for Pre, Post-Filters & Pumps Pressure	Swagelok USA
Low-and high-pressure switches	Square D USA
Powder-coated, Welded Aluminum Frame w/Aluminum Diamond Base	Ampac USA
Fiber glass High Pressure Vessels	Codeline USA
Filmtec Brackish Water TFC Membrane Elements BW30-400FR	Dow Chemical USA

Components Make & Materials of Construction:

Description	Name Brand	Material of Construction	Origin
Skid	Ampac USA	Aluminum ¼" Gauge with Diamond Plate Welded	USA
Paint	Ampac USA	Powder Coating	USA
Screen Filters	Rusco	Poly Carbonate with Stainless Steel Screens	USA
Pre-Treatment Vessels	Pentair/Structural	Non-Corrosive 100% Composite Fiberglass Construction	USA
Auto Backwash Valves	Clack USA	Polyethylene	USA
Chemical Treatment Tanks	Simona America, Inc.	Polypropylene ½" Thickness	USA
Chemical Pumps & Mixers	LMI Milton Roy	Polypropylene	USA
Sediment Pre-Filters	Watts	Glass Reinforced Polypropylene	USA
Reverse Osmosis Pumps	CAT	316L Stainless Steel	USA
Membrane Vessels	Bekaert Progressive	FRP with Stainless Steel 316L End Ports	USA
Membrane Elements	Dow Chemical	Filmtec Thin Film Composite (TFC) consisting of 3 layers, polyester support web, a micro porous polysulfone interlayer, and an ultra-thin polyamide barrier layer on the top surface	USA
Programmable Logic Controller	RD Specialty Ltd	NEMA4X Enclosure with UL/CUL Processor	USA
Instrumentation	Blue White	FRP & 316L Stainless Steel	USA
Piping Low Pressure	Spears	316L Stainless Steel	USA
Piping High Pressure	Swagelok	316L Stainless Steel	USA

Media Make & Materials of Construction:

Description	Name Brand	Material of Construction	Origin
Silica Quartz	Clear Water, Corp.	Silica Sand Density is 2.66, SiO2>98%, and Mohs scale is 7 degree	USA
KDF	KDF Fluid Treatment, Inc.	high-purity copper-zinc formulations	USA
Poly-Phosphate	Pacific Standard, Specialties, Inc.	Soluble Food Grade Polyphosphate Crystals	USA
Activated Carbon	American Carbon, Corp.	Premium Coconut Shell Acid Washed Activated Carbon	USA

Price List

Options: (Not included in the above price unless otherwise indicated) All options quoted upon request.

	Pre-Treatment Equipment - Not Included Unless Indicated	Unit Price	Extended Price
1	Base Price for SW20K-LX 480V/50Hz/3 Phase	\$ 140,250.00	\$ 140,250.00
Qty. Incl.	Optional Equipment – Not Included Unless Indicated	Unit Price	Extended Price
1	Automatic Operating Programmable logic controller with: • Delayed start-up of high-pressure pump • Inlet Solenoid Valve • Low & High Feed Pressure Switches • Supply & Delivery Pumps on/off • R/P Storage Tank Full Pump on/off • Auto Flush Cycle • Pre-Treat Lockout • Hour Meter • TDS/Conductivity Meter	Included	Included
0	LCD Touch Screen Display w/HMI Feature	12,850.00	Optional
6	Differential Pressure Gauges (Count 6)	Included	Included
3	Electric Signal Waterproof Float switch for R/O Pump Shut-off	Included	Included
1	Nitrogen Filled @ 5000 PSI Stainless Steel Pulsation Noise Dampener.	Included	Included
1	Pressure Relief Valve for Security if Pressure Valve closed	Included	Included
1	Auto Flush Package to flush system with fresh water after tank full	Included	Included
	Pre-Treatment Equipment - Not Included Unless Indicated	Unit Price	Extended Price
1	Spin Down Screen Pre-Filter with Manual Valve	Included	Included
1	Chlorinator Injection Mixer, Pulsation Pump and 40 gal. Tank	Included	Included
1	De-Chlorination Injection System with Mixer, Pulsation Pump and 40 gal. Tank	Included	Included
1	Anti-Scalant Chemical Injection Mixer, Pulsation Pump & 5 gal.	Included	Included
1	15 Ft ³ Multimedia Anthracite Pre-Filter w/backwash valve, Bypass	Included	Included
1	pH Adjust Post Treatment	Included	Included
1	Ultra-Violet Disinfection Sterilizer Light	Included	Included
	Additional Options & Equipment - Not Included Unless Indicated	Unit Price	Extended Price
1	On-Demand Feed Supply Pump	Included	Included
1	On-Demand Flush Pump	Included	Included
0	System Fully Installed in Brand 20' Shipping Conex Container including Wall and Ceiling Insulation, Air Conditioning, and LED Lights.	45,000.00	Optional
1	Crating and Packing	TBD	TBD
Please note that shipping, and handling charges are not included in this quote. Sales Tax will be added to orders shipped in California unless tax exempt Information is provided.		Sub-Total	\$ 140,250.00
		Shipping & Handling	TBD
System Dimensions approx: 140" X 52" X 96"		Total X-Works	\$ 140,250.00

Exclusions: Prices do not include shipping, insurance, sales tax, import taxes and duties, installation, and options listed below unless otherwise indicated.

Delivery: 18-24 weeks ARO, Quote is valid for 60 days.

****Subject to change: Depending on the lead time of parts****

Payment Terms: 60% Deposit. Balance due by ship date.

All pricing stated is in U.S. dollars



Instrumentations

PLC: S200 Series Microprocessor Controller:

The system will come with a complete control panel that include a Series 200 reverse osmosis microprocessor controller features an alphanumeric backlit LCD to display operating conditions and provides adjustable time delays and set points to accommodate varying field conditions.

The Series 200 controller displays the permeate TDS/Conductivity, Permeate Flow, Concentrate Flow, Pressure, pH level and water temperature, and operating hours along with the operating status of the RO unit. The Series 200 monitors low and high pressure switches, tank levels, and pretreatment equipment. It provides relay outputs for the RO high pressure pump, inlet solenoid valve, membrane flush solenoid valve, and optional relays for permeate divert or remote alarm and auxiliary output.

The Microprocessor or PLC based control system shall monitor and control operation of system and communicate with pretreatment equipment and distribution tank level as required. Skid mounted control panel shall house control system, operator interface controls, solenoids, IEC motor starter(s), step down transformer, high voltage disconnect. Control system shall be fully programmed, and integrity tested at factory prior to shipment.

- 1- Panel shall include:
 - a. Backlit LCD display for operating conditions and set points
 - b. Lights, pushbuttons, and switches for status and control of system
 - c. Conductivity Monitor for feed and permeate
 - d. Elapsed run time indicator
 - e. Alarm horn
 - f. System power switch
 - g. Nameplates for device identification
 - h. Automatic reject flush indicator and controls

- 2- Alarm conditions shall include:
 - a. Low feed pressure and Low Level
 - b. High and High-High permeate conductivity

- 3- Unit Shutdowns include:
 - a. Low feed pressure
 - b. Pretreatment filters in backwash
 - c. Product storage tank full
 - d. High-High permeate conductivity

- 4- Functional Specification
 - a. Complete functional specification shall be provided which describes:
 - 1) Operation of unit
 - 2) Control loops
 - 3) Interlocks
 - 4) Alarms
 - 5) Startup/Shutdown sequences
 - 6) Security



The system will have an automatic operation. All electrical wiring will be in accordance with UL / CE standards.

The Control of:	
Feed Supply Pump	Flow Indicators & % Rejection
Delivery Pumps	Inlet solenoid valve
Automatic flush solenoid valve	pH Monitor
High and Low pressure sensors	RO storage tank level switches (1 or 2)
Two TDS/Conductivity Points	Water temperature
Pre-Treat lockout	Operating hours

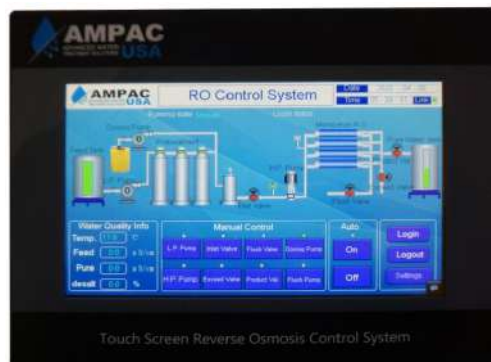
PLC: S1040 Series Microprocessor Controller (Optional)

The SW-24K can be equipped optionally with a Programmable Logic Controller featuring an integrated 10-inch Full Color Graphic Touch Screen Operator Interface.

All operating conditions and process status are simultaneously displayed on a single process diagram display screen.

The operator interface is virtually menu less, making it easy to locate and adjust all time delays and process set points. To view specific set point and control options for any piece of equipment simply touch the corresponding image on the graphic screen and all options appear. To return to the main process display, simply touch the "Main" button. This operator interface is conveniently located on the front of the main NEMA 4X Rated control Enclosure. Depending on the control options selected, the controller is capable of displaying

- Influent Flow Rate and Accumulation
- Concentrate Flow Rate and Accumulation
- Permeate Flow Rate and Accumulation
- Influent concentrate and permeate Salinity (TDS/Conductivity)
- Percentage of salt rejection
- Percentage of water recovery
- Concentration factor
- Membrane flux and Specific Flux Rates,
- Water Temperature
- System Operating Hours
- Individual Run Times for each motor and valve
- System Flow
- User Defined Flow
- Previous 24 hour flow, and today's running flow totals for influent, concentrate and permeate lines.
- The PLC also monitors Low and High Pressure Switches, Tank Levels, and Pre-Treatment Equipment.
- Data logging is provided for all monitored system variables (i.e. pressures, flows, TDS/Conductivity, pH, temperature & etc.)
- Multi-level security login ensures that only qualified personnel is able to make changes to operating set points.
- If secure internet connectivity is provided the system may be remotely monitored and operated from anywhere on the planet. In addition, all trend data is also remotely accessible.



Flow Meters:

There will be two Flow Meters installed on the panel of the R/O Systems as follows:

- 1) Product Flow Meter to indicate the amount of permeate produced by the system.
- 2) Concentrate Flow Meter to indicate the amount of concentrate to return to the ocean.

- Blue White Panel Mount Digital Meters for Product, Waste and Blend Model (F-2000RT)
- The meters display the flow rate and the accumulated flow



Pressure Gauges:

- Liquid Filled Panel Mount Stainless Steel Pressure Gauges after every phase of Production as follows:

- In-Let Feed Pressure
- Auto-Flush Screen Pre-Filter
- Distribution Pump Pressure
- Multimedia Silica Quartz Pre-Filter Pressure
- Ion Exchange Softener Pressure
- GAC Carbon Media Pre-Filter Pressure
- Sediment Pre-Filter Pressure
- Booster Pump Pressure
- Re-Circulation Pump Pressure
- Post Filter Pressure.



Pressure Valves:

- System will include Two Pressure Valves made by **Swagelok** as follows:

- 1) System Pressure Valve to Control Booster Pump Pressure and Concentrate Flow
- 2) Pressure Relief Valve to prevent system from reaching unsafe pressure rating.



System Pressure Control Valve

Controls

- Complete Panel for Easy Controls
- Automatic operating processor w/ programmable logic controller for all pumps, w/ delayed start-up of high-pressure pump and Automatic Flush System
- Liquid Filled pressure gauges
- Low & High pressure gauges
- Permeate & concentrate flow meters Blue White



Pressure Relief Valve

- 1/8 DIN Aluminum case
- 0.56" high efficiency red LED display.

Piping:

- - Feed: 2½"
- - Product: 1½"
- - Reject: 2½"
- Pressurized Piping Fittings Stainless Steel
- All High-Pressure Pipes and Fittings will be from 316L Stainless Steel.



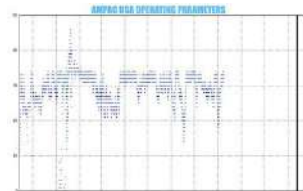
Frame:

- Ampac, Double Powder Coated, Welded Aluminum Frame 0.25 Gauge
- Final Clear Coat
- Skid base Include a welded Diamond Plate
- Skid is Anodized and Double Powder Coated.
- Skid shall have 4 Hangers installed on all 4 sides to facilitate Maneuvering on board.
- Skid will also be equipped with 4 heavy duty lock type wheels that can be removed once unit is in location.
- Equipment including valves, actuators, sensors, gauges and switches shall be fitted with adequate name plates of an engraved type in English Languages. (Please see Picture Below).

RO system Operating Requirements:

Operating Limits

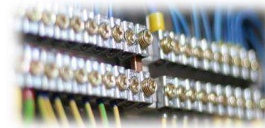
- Feed Temp: Max 105 F
- Feed Pressure: Min 40 psi
Max 80 psi
- Chlorine: Max .1 ppm (after carbon filter)
- Feed pH: Max 11
Min 3
- Feed TDS Max. 45,000 ppm



Electrical

- Nema 4X rating
- Three Phase 480V/3 Phase/60Hz or as per customer requirement.
- Different power rating will require change in the design that might affect final pricing.

Certification: ATEX, EExd IIC/EExe II,  II 2 GD, Zone 1, 2, 21 & 22



Power Consumption

Pump	HP	Volts	Amps	Watts
R/O High Pressure Pump	30	480V	35.5	26.5
On-Demand Supply Pump	5	480V	6.2	4.6
Instrumentations	1	220V	1.2	0.26
Total Power Consumption			42.9	31.4

Based on the above operating limits the following items will be guaranteed:

**52.6 LPM of Permeate product water for continuous
24 hour/day, 7 day/week operation.**

Additional Specifications:

- Reject Percentage range between 40 and 60 percent
- Water quality sampling ports for each membrane
- Valve and piping for recycle water and conductivity mixing options
- RO only to backwash when storage tank is full
- RO will flush when idle for preset number of hours.

Monitoring:

- Feed, Reject, and Product Conductivity
- Reject, Reject Recycle, Product and Conductivity Mixing flow rates
- Pressure before and after Carbon Filter
- Pressure before and after Pre-Filter
- Pressure after RO pump
- Pressure before and after GAC Post Filter
- Product water temperature.



Service:

Ampac USA will be available for product support, including spare parts and service for the Operational life of the system for a small annual fee to be agreed upon after the first year.

If RO operation does not meet the specifications listed above, Ampac USA will be able to respond with product support in a timely manner.



Terms:

Payment Terms: 60% Deposit. 40% due before delivery date. All pricing stated is in U.S. dollars.

Exclusions: Prices do not include shipping, insurance, sales tax, import taxes and duties, installation, and options listed below unless otherwise indicated.

Technical Support:

Ampac USA will have technical support available for the period of one year included in this proposal as well ampac1.com includes the information you need to select, specify, install, and operate any Reverse Osmosis system from Ampac USA. In addition, it contains relevant technical information about the Components used by Ampac, case studies, references, and Authorized Sales and Service Representatives Worldwide.



WARRANTIES:

- All Water Treatment related materials and electrical controls are made in USA.
- Ampac USA is a registered US California Based S Corporation License Number 68-0495190
- Ampac USA has adopted ISO9001 & NSF 61 Standards for quality control assurance system
- Ampac USA have extensive experience in training. Ampac USA can offer training in the following languages: English, and Spanish.

Ampac USA warrants the system to be free from any defect in material of construction and workmanship for a period of one complete year from the date of commissioning of the unit, but not later than eighteen months from the date of shipment, under the following conditions:



1. System is operated within parameters as stipulated in the manual.
2. A proper log duly filled on daily basis is maintained with the client & sent to Ampac USA on monthly basis.

Note: Ampac USA does not guarantee the product water to be free from bacteria unless an Ultra-Violet Disinfection System or an Ozone Generator or both are installed on the Skid.

Finally, thank you for your Business. Hoping to have a long-term business relationship between both our companies. If you have any further questions. Please do not hesitate to contact us anytime @ (909)548-4900.

Best regards,

Ampac USA

2262 South 1200 West Suite 103

Woods Cross, UT 84087

Tel: (909) 548-4900

Website: www.ampac1.com

ANEXO C – PVGIS-5 Geo-temporal Irradiation Database

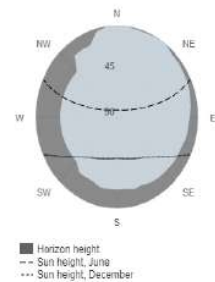


Report generated on

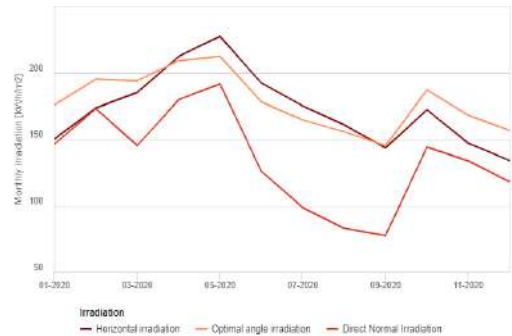
PVGIS-5 geo-temporal irradiation database

Provided inputs
Latitude/Longitude: 17.117,-25.259
Horizon: Calculated
Database used: PVGIS-SARAH2
Start year: 2020
End year: 2020
Variables included in this report:
Global horizontal irradiation: Yes
Direct Normal Irradiation: Yes
Global irradiation optimum angle: Yes
Global irradiation at angle °: No
Diffuse/global ratio: Yes
Average temperature: Yes

Outline of horizon at chosen location:



Monthly solar irradiation estimates



Global horizontal irradiation		Direct Normal Irradiation		Global irradiation optimum angle	
Month	2020	Month	2020	Month	2020
January	150.29	January	146.45	January	175.83
February	173.58	February	173.02	February	195.28
March	185.19	March	145.22	March	194.07
April	212.39	April	179.78	April	209.3
May	227.42	May	191.73	May	212.45
June	192.28	June	125.81	June	178.07
July	175.09	July	98.53	July	164.55
August	160.85	August	82.9	August	155.58
September	143.41	September	77.39	September	145.12
October	172.21	October	144.02	October	187.1
November	146.81	November	133.79	November	168.04
December	134.04	December	117.93	December	156.62

PVGIS ©European Union, 2001-2024.
Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged,
save where otherwise stated.

Report generated on 2024/09/09

Monthly average diffuse to global ratio



Diffuse/global ratio

Month	2020
January	0.36
February	0.32
March	0.42
April	0.34
May	0.33
June	0.48
July	0.56
August	0.6
September	0.6
October	0.4
November	0.39
December	0.44

Monthly average temperature



Monthly average temperature

Month	2020
January	21.4
February	20.6
March	20.4
April	21.4
May	21.8
June	23
July	23.7
August	24.9
September	25.9
October	25.4
November	24.4
December	21.5

ANEXO D – Daily irradiance data

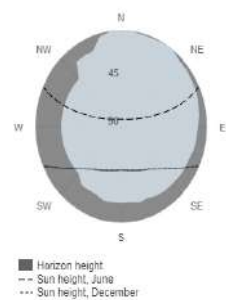


Daily irradiance data

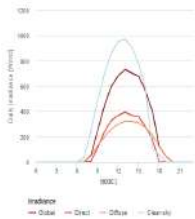
PVGIS-5 geo-temporal irradiation database

Provided inputs
Latitude/Longitude: 17.117,-25.259
Horizon: Calculated
Database used: PVGIS-SARAH2
Month: September

Outline of horizon at chosen location:



Daily average irradiance on fixed plane with slope 35° and azimuth 0°

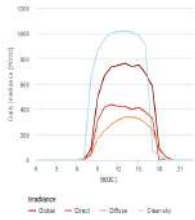


Irradiance on a fixed plane

Time	00:45	01:45	02:45	03:45	04:45	05:45	06:45	07:45	08:45	09:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	19:45	20:45	21:45	22:45	23:45
G(i)	0	0	0	0	0	0	0	0	49	247	447	597	681	730	703	678	560	401	125	40	0	0	0	0
Gb(i)	0	0	0	0	0	0	0	0	4	112	240	328	368	394	369	357	278	181	0	0	0	0	0	0
Gd(i)	0	0	0	0	0	0	0	0	44	131	199	259	300	322	321	309	272	212	123	39	0	0	0	0
Gcs(i)	0	0	0	0	0	0	0	32	242	484	701	862	954	970	909	775	579	104	57	0	0	0	0	0

G(i): Global irradiance on a fixed plane [W/m2].
Gb(i): Direct irradiance on a fixed plane [W/m2].
Gd(i): Diffuse irradiance on a fixed plane [W/m2].
Gcs(i): Global Clear-sky irradiance on a fixed plane [W/m2].

Daily average irradiance on sun-tracking plane

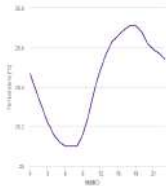


Irradiance on sun-tracking plane

Time	00:45	01:45	02:45	03:45	04:45	05:45	06:45	07:45	08:45	09:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	19:45	20:45	21:45	22:45	23:45
G(n)	0	0	0	0	0	0	0	0	84	494	669	735	749	766	739	751	686	580	89	24	0	0	0	0
Gb(n)	0	0	0	0	0	0	0	0	43	312	418	439	424	424	398	415	379	327	0	0	0	0	0	0
Gd(n)	0	0	0	0	0	0	0	0	36	167	233	282	318	339	338	328	293	236	80	20	0	0	0	0
Gcs(n)	0	0	0	0	0	0	0	17	646	860	960	1003	1017	1019	1011	983	911	76	34	0	0	0	0	0

G(n): Global irradiance on a 2-axis tracking plane [W/m2].
Gb(n): Direct normal irradiance [W/m2].
Gd(n): Diffuse irradiance on a 2-axis tracking plane [W/m2].
Gcs(n): Global Clear-sky irradiance on a 2-axis tracking plane [W/m2].

Daily average temperature



Daily average temperature

Time	00:45	01:45	02:45	03:45	04:45	05:45	06:45	07:45	08:45	09:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	19:45	20:45	21:45	22:45	23:45
T2m	25.47	25.38	25.3	25.22	25.16	25.12	25.1	25.1	25.16	25.28	25.39	25.49	25.57	25.63	25.66	25.69	25.71	25.71	25.68	25.62	25.59	25.57	25.54	

T2m: Daily average temperature [°C].

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them. However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

It is our goal to minimise disruption caused by technical errors. However, some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

For more information, please visit https://ec.europa.eu/info/legal-notice_en

