



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE
TRABALHO DE LICENCIATURA

TEMA:

**DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA BACIA DO RIO
MATOLA USANDO DESTILADOR SOLAR**

AUTOR: Alfredo Vasco Boane

SUPERVISOR: Prof. Doutor. Estevão Ponja, Eng.º

CO – SUPERVISOR: Prof. Doutor Miguel Uamusse, Eng.º

CO – SUPERVISOR: Prof. Doutor Jonas Valente Matsinhe, Eng.º

Maputo, Dezembro de 2023



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE
TRABALHO DE LICENCIATURA

TEMA:

**DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA BACIA DO RIO
MATOLA USANDO DESTILADOR SOLAR**

AUTOR: Alfredo Vasco Boane

SUPERVISOR: Prof. Doutor Estevão Ponja Júnior, Eng.º

CO – SUPERVISOR: Prof. Doutor Miguel Uamusse, Eng.º

CO – SUPERVISOR: Prof. Doutor Jonas Valente Matsinhe, Eng.º

Maputo, Dezembro de 2023

TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante Alfredo Vasco Boane entregou no dia ___/___/2023 as ___ cópias do seu Trabalho de Licenciatura com referência: _____, intitulado: Dessalinização de águas subterrâneas da bacia do rio Matola usando destilador solar.

Maputo, ___ de ----- 2023

A Chefe da Secretaria

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Alfredo Vasco Boane, declaro por minha honra que este relatório de trabalho de licenciatura não foi aceite em nenhum outro lugar como trabalho de culminação do curso. Estudos de outras pessoas foram usados no presente trabalho e devidamente referenciados.

Assinatura _____

Data: ___/___/_____

DEDICATÓRIA

Ao soberano Deus

Pelo dom da vida, saúde e força

A mim

Por ter sonhado e corrido atrás da concretização.

Aos meus pais

Vasco Boane e Laurinda Francisco Tila.

Pela educação minuciosa, cautelosa, paciente, sábia e encorajamento nos primeiros anos de escolaridade e durante todo o percurso estudantil.

À minha maravilhosa esposa

Angelina Francisco Cuna Boane.

Pelo apoio, amor, paciência incondicional durante tantas noites passadas às claras.

Aos meus irmãos

Em especial ao Isaac Moises Uamba, pelo apoio e educação moral.

À todos os parentes, amigos e colegas que directa ou indirectamente, apoiaram para a materialização deste sonho.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, que permitiu que os meus objectivos fossem alcançados, durante todo percurso académico.

À família, em especial à minha esposa e os meus pais, por me dar o suporte e motivação;

Sempre faltarão palavras ou mesmo actos para expressar a minha inteira gratidão ao meu supervisor Professor Doutor Estevão Ponja, pela sua especial atenção, contribuições técnicas e científicas, desde a formulação do tema até a realização deste trabalho.

Ao técnico de laboratório, amigo e colega Reniel Bila, pelo seu contributo no trabalho de campo e laboratorial.

A todos os docentes, em particular aos do ramo da Engenharia do Ambiente, que transmitiram seus conhecimentos durante todo percurso.

Aos colegas do curso que serviram de suporte nesta caminhada, vai o meu muito obrigado pela amizade proporcionada, pela partilha de conhecimentos e material didáctico até a concretização deste, que tinha nome de sonho, mas hoje é uma realidade.

RESUMO

Um dos problemas mais recorrentes no município da Matola é o acesso a água limpa para consumo. Embora esta região não possua grande disponibilidade de água potável canalizada para o consumo humano, há água salobra que ao passar pelo processo de dessalinização torna-se adequada para o consumo humano. Ponderando o descrito, este trabalho apresenta um estudo técnico experimental de uma tecnologia social sobre dessalinização solar, onde um destilador é construído com material de baixo custo e fácil acesso à população, com objectivo de dessalinizar a água da bacia do rio Matola e avaliar até que ponto essa água salobra pode ser dessalinizada. Para sua construção, é utilizada uma estrutura de madeira e um vidro comum de 4 mm de espessura (declive único), visto que este é de fácil construção. São utilizados também materiais que possibilitem uma melhor captação de radiação solar, como é o caso do prato metálico com fundo preto e papel alumínio para isolamento da estrutura, evitando perdas de calor. As experiências foram realizadas durante 12 (doze) dias, onde foram medidos os parâmetros: sólidos totais dissolvidos, salinidade, condutividade eléctrica, oxigénio dissolvido e temperatura, a cada 48 (quarenta e oito) horas, tendo estes apresentado uma eficiência de 99% em termo de remoção de contaminantes. Na primeira amostra da água tratada, os sólidos totais dissolvidos, a salinidade e a condutividade eléctrica, apresentaram uma redução dos seus teores em 98%, na segunda amostra, a salinidade apresentou 92% e as restantes amostras em todos outros dias apresentaram uma redução de 99%. Quando comparados com o decreto do ministério de saúde bem como da organização mundial de saúde, mostram-se dentro dos parâmetros. O rendimento do destilador não apresentou bom resultado, porque a quantidade média da água produzida por dia foi de 0,41L/m²/dia, mas este pode ser melhorado com o uso de um destilador de efeito duplo ou piramidal.

ÍNDICE

DEDICATÓRIA	1
1 Introdução	8
1.1 Justificativa	10
1.2 Objectivos	10
1.2.1 Objectivo Geral.....	10
1.2.2 Objectivos Específicos.....	10
1.3 Metodologia	11
1.4 Estrutura do trabalho.....	12
2 Revisão bibliográfica	13
2.1 Qualidade da água e seus parâmetros	13
2.1.1 Físicos	13
2.1.2 Parâmetros químicos	14
2.2 Enquadramento Legal.....	15
2.3 Contextualização Geral.....	16
2.3.1 Distribuição da Água no Mundo	17
2.3.2 Qualidade de Água.....	18
2.4 Dessalinização	19
2.4.1 Dados Numéricos da Dessalinização no Mundo	21
2.4.2 Dessalinização em Moçambique.....	24
2.4.3 Processo de Dessalinização.....	25
2.5 Processos Térmicos.....	28
2.6 Destilação Solar.....	30
2.7 Classificação dos Destiladores Solares	33
2.7.1 Classificação dos Tipos de Dessalinizadores Solar.....	34
2.7.2 Destilador Solar de Efeito Único	34
2.7.3 Destilador Solar com Cobertura Piramidal	35
2.7.4 Balanço Energético, Produção e Eficiência da Dessalinização solar	36
2.7.5 Estimativa da radiação solar.....	39
2.7.6 Vantagens e Desvantagens da Dessalinização solar.....	40
2.8 Caracterização da Área do Estudo	42
2.8.1 Localização Geográfica	42

3	Procedimentos Experimentais	43
3.1	Sequência do Procedimento do Ensaio	43
3.2	Dimensionamento do Destilador Solar	44
3.2.1	Caixa do Colector	45
3.2.2	Tanque	45
3.2.3	Cobertura	46
3.2.4	Isolamento.....	47
3.3	Procedimento Experimental.....	48
3.3.1	Matérias usados.....	48
✓	Copo de precipitação de 500 ml;.....	48
✓	Medidor multi-parâmetros (Conductímetro HQ4od).....	48
4	Resultados e Discussão	49
4.1	Sólidos dissolvidos totais.....	49
4.2	Conductividade Eléctrica	50
4.2.1	Salinidade	50
4.2.2	Oxigénio Dissolvido	51
4.2.3	Porcentagem de Reduções.....	51
4.3	Representação Gráfica em Amostras de Água Salubre e Água Tratada.....	52
4.4	Rendimento Volumétrico da Água Tratada.....	54
5	Conclusões e recomendações	56
5.1	Conclusão	56
5.2	Recomendações	57
6	Bibliografia	58
7	Anexos.....	7-i

Lista de Abreviaturas e Símbolos

A — Área

EUA — Estados Unidos da América

EC — Conductividade Eléctrica

FAO — Organização das Nações unida para Alimentação e Agricultura

FENG — Faculdade de Engenharia

FIPAG — Fundo de Investimento e Património do Abastecimento de Água

T_{max} — Temperatura máxima diária do ar

T_{min} — Temperatura mínima diária do ar

K_{RS} — Coeficiente de ajuste

K — Condutividade térmica

L — Espessura

MS — Destilação Flash de Múltiplo estágio

MED — Destilação Múltiplo Efeito

MJ — Mega Joule

mg/L — Mil gramas por litro

mm — Milímetro

m — Metro

OI — Osmose Inversa

OD — Oxigénio dissolvido

OMS — Organização Mundial de Saúde

Ppm — Partes Por Milhões

pH — Potencial Hidrogénicos

R_s — Radiação solar estimada

R_a — Radiação extraterrestre

STD — Sólidos totais dissolvidos

SD — Destilação Solar

T — Temperatura

τH_s — Energia transmitida pelo vidro

$\tau H_s \times \alpha_w$ — Energia absorvida pela bandeja

U — Coeficiente de conductividade térmica

UF — Ultrafiltração
UEM — Universidade Eduardo Mondlane
VCD — Destilação por compressão de vapor
% — Percentagem
°C — Graus Celsius
 ΔT — Diferença de temperatura
 $\alpha_g H_s$ — Energia absorvida pelo vidro

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Limites admissíveis dos parâmetros da qualidade da água para o consumo humano	16
Tabela 2 — Classificação da água quanto a sua concentração de STD.	26
Tabela 3 — Vantagem e Desvantagem da Dessalinização Solar.....	40
Tabela 4 — Representação dos diferentes valores dos parâmetros da água bruta e a tratada.....	50
Tabela 5 — Reduções em termos percentuais dos valores parâmetros da água bruta para tratada.	52
Tabela 6 — Temperaturas da água durante o processo de destilação.....	55

Lista de Gráficos

Gráfico 1 — Distribuição da 'água no planeta.....	17
Gráfico 2 — Capacidade instalada de centrais de dessalinização no mundo, de 1950 a 2006.....	21
Gráfico 3 — Distribuição da capacidade global pelo uso da água produzida	23
Gráfico 4 — Representação dos teores de salinidade.....	52
Gráfico 5 — Representação dos teores de STD.....	53
Gráfico 6 — Variação dos valores da condutividade eléctrica antes e depois da dessalinização.	53
Gráfico 7 — Representação do od na água bruta e a dessalinizada.....	54

1 Introdução

O município da Matola, apresenta um crescimento populacional acelerado, acompanhado do desenvolvimento económico acentuado. Esse cenário, cria uma pressão sobre os diferentes recursos, em particular os recursos hídricos, que são os pilares do desenvolvimento de qualquer empreendimento, sobrevivência de seres vivos, bem como para o equilíbrio ambiental (Miquidade, 2018). Esse crescimento populacional, urbano e industrial, continuará a criar pressão sobre os recursos hídricos em especial para água potável, acelerando a necessidade urgente das tecnologias de tratamento. Um dos problemas mais recorrentes do município da Matola, é o acesso a água potável para consumo, embora esta região não possua grande disponibilidade de água potável canalizada para o consumo humano, possui uma bacia hidrográfica (rio Matola) que serviria para alavancar a economia e as actividades dos munícipes, porém, ela é salubre, o que faz com que a população viva na base da água fornecida pelos camiões cisternas e outras fontes para ter água para o consumo assim como actividades agrícolas, o que torna as suas vidas caras.

Devido à escassez de água, o uso de água subterrânea tem aumentado significativamente em todo mundo. Estimativas apontam que 300 (trezentos) milhões de poços foram perfurados no mundo nas três últimas décadas. Praticamente todos os países do mundo, desenvolvidos ou não, utilizam água subterrânea para suprir suas necessidades.

A água é um dos recursos mais abundantes da terra, porém, a maior parte da disponibilidade é água salgada, cerca de 97%, os outros 3% representam a quantidade de água doce da terra, que estão distribuídos nos polos (na forma de gelo), águas subterrâneas, rios e lagos. Em relação ao total dessa água doce, quase 70% estão congelados em geleiras, outros 29,75% estão em águas subterrâneas profundas de difícil acesso e apenas 0,25% se encontram em rios e lagos (Araujo, 2011)

O consumo, a utilização, a quantidade, a qualidade e a acessibilidade da água, têm vindo a suscitar uma grande atenção por parte de várias entidades governamentais e da sociedade civil, por tratar-se de um recurso finito em ameaça de extinção.

Para contornar esta situação em várias regiões, a dessalinização é uma opção estando este mercado a desenvolver-se e a crescer exponencialmente, visto que a maior parte da disponibilidade da água é de porção salgada.

A dessalinização é um processo físico-químico de retirada da maior parte dos sais minerais de águas salgadas ou salobras a fim de torná-las doces ou potáveis, voltadas, portanto, para o consumo. Esse procedimento pode ser utilizado tanto para a água do mar quanto para o tratamento de águas salobras ou de reservatórios com grandes quantidades de impurezas (Sampaio, 2016).

A dessalinização para produção de água potável é uma técnica bastante utilizada em regiões com poucos recursos hídricos, garantindo o abastecimento de água de boa qualidade, mesmo em condições pouco favoráveis. Esse processo transforma a água salgada ou salobra em água potável, retirando os sais e minerais dissolvidos (Torri J. B., 2015).

Os avanços tecnológicos possibilitaram o desenvolvimento de diversos métodos para dessalinização de água. Entre os principais processos utilizados destacam-se a dessalinização por membranas e dessalinização por destilação (Araujo, 2011).

A salinidade da água é a quantidade de sal dissolvido numa determinada quantidade de água (Gaio S. S., 2016). Essa quantidade pode ser expressa em partes por milhão (ppm) ou em miligramas por litro (mg/l) do total de sais dissolvidos (STD). Para o abastecimento de água, esta é classificada segundo os seus níveis de salinidade.

O presente estudo, visa avaliar até que ponto pode-se dessalinizar a água do rio Matola, nos furos, utilizando destilador solar, visto que esta técnica é a mais economicamente favorável até para as comunidades de baixa renda, contrariamente a outras técnicas que demandam valores elevados. O mesmo, pode ser dimensionado e construído sem a necessidade de um especialista, e a

sua operação bem como a manutenção não requer altos custos, o que pode ser a solução abrangente para a comunidade da Matola.

1.1 Justificativa

De acordo com o fundo de investimento e património do abastecimento de água (FIPAG), a área de concessão tem cerca de 2 120 000 (dois milhões e cento e vinte mil) habitantes e estima-se que 65% destes beneficiam-se do fornecimento de água potável (Maputo, Matola e Boane). A restante parte da população depende de água de origem subterrânea, designados Pequenos Sistemas. Há ainda casos em que população obtém água de vendedores privados ou de simples furos, mas mesmo assim, prevalece a escassez de água em algumas zonas em particular no município da Matola, por algumas fontes serem salubre.

Havendo necessidade de se encontrar alternativas para a minimização deste problema de água, pode-se aplicar à destilação solar, como um método alternativo para a obtenção de água potável.

1.2 Objectivos

1.2.1 Objectivo Geral

O presente trabalho tem como objectivo geral:

- Dessalinizar a água subterrânea da bacia do Rio Matola com recurso a um destilador solar.

1.2.2 Objectivos Específicos

Por forma a atingir o objectivo geral acima descrito, os seguintes objectivos específicos foram definidos:

- Realizar o trabalho de campo para auscultar a população de modo a identificar zonas com águas salobras;

- Determinar o teor de salinidade, condutividade eléctrica, oxigénio dissolvido, TDS, de água subterrânea da bacia do rio Matola;
- Dimensionar o destilador solar;
- Tratar a água subterrânea da bacia do rio Matola, recorrendo as técnicas de destilação solar.

1.3 Metodologia

O presente trabalho foi realizado obedecendo à seguinte metodologia:

- **Revisão bibliográfica:** Esta etapa consistiu na recolha de informações em fontes, tais como, artigos científicos, livros, monografias, utilizando diversos canais de busca.
- **Dimensionamento do destilador:** Esta fase consistiu na busca de informações referente a dessalinização com recurso ao destilador solar, selecção do material, dimensionamento (com recurso à fita métrica) e construção do destilador solar. Esta etapa foi realizada na casa do estudante, recorrendo a cálculos previamente pesquisados nas referências bibliográficas onde: mediu-se a madeira para a construção da caixa, de seguida uniu-se com cola e pregos, feito isso, com auxílio de um serralheiro, fez-se o prato metálico o qual serviu de reservatório de água e por fim cortou-se o vidro com dimensões para cobrir a caixa de destilação e colou-se na caixa com a calha colectora.
- **Trabalho do campo:** Consistiu na selecção do furo, colecta de amostra e de seguida levá-las para o Laboratório. Para a realização da colecta das amostras, foram usadas garrafas plásticas de 5 (cinco) litros e a água foi tirada dum furo de localizado na zona de malhapsene, nas proximidades do Rio Matola;
- **Ensaio laboratoriais:** Determinação dos indicadores de salinidade como: TDS, E.C, Salinidade, OD e Temperatura (parâmetros laboratoriais), usando um medidor de multe-parâmetros (Conductímetro HQ40d), e uso dos métodos estatísticos para o tratamento dos dados;

- **Tratamento de água:** Após o dimensionamento, construção do destilador e análise da água bruta, o destilador foi colocado em um dos terraços da faculdade, com as amostras da água bruta para o tratamento com recurso ao destilador solar;
- **Coleta da água tratada:** Durante a fase de tratamento foram feitas várias colectas de água tratada, usando uma garrafa de polietileno de 330 mL, e a posterior encaminhada para o laboratório, onde foram feitas as análises;
- **Análise, Tratamento Estatístico e Discussão de resultados:** Os parâmetros TSD, E.C, Salinidade, OD e Temperatura, foram analisados com vista compará-los quantitativamente e qualitativamente, usando o conductímetro. Nesta fase calculou-se a média e o desvio padrão.

1.4 Estrutura do trabalho

O presente trabalho encontra-se dividido em seis capítulos.

No primeiro capítulo, é feita uma introdução dos temas a serem abordados e os objectivos pretendidos com a realização da monografia, bem como a estruturação do trabalho.

O segundo capítulo aborda teoricamente sobre as questões relevantes para a elaboração do terceiro capítulo, neste caso, a destilação solar, os processos de dessalinização e suas tecnologias.

A abordagem prática é feita no terceiro capítulo, onde detalha-se sobre a construção do destilador solar, metodologia e materiais utilizados.

São apresentadas no quarto capítulo as conclusões retiradas do trabalho realizado e dos resultados obtidos, sendo também feitas sugestões para trabalhos futuros.

No quinto capítulo são apresentadas as bibliografias e outras fontes de informação que serviram de base para a realização desta monografia.

No último capítulo são apresentados os anexos, que complementam as informações apresentadas no decorrer desta monografia.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Qualidade da água e seus parâmetros

A água contém, geralmente, diversos componentes, os quais provem do próprio ambiente natural ou foram introduzidos a partir de actividades humanas.

Para caracterizar uma água, são determinados diversos parâmetros, os quais representam as suas características físicas, químicas e biológicas. Esses parâmetros são indicadores da qualidade da água e constituem impurezas quando alcançam valores superiores aos estabelecidos para determinado uso.

2.1.1 Físicos

- a) **Temperatura:** é um parâmetro importante, pois, influencia em algumas propriedades da água (densidade, viscosidade, oxigénio dissolvido), com reflexos sobre a vida aquática. A temperatura pode variar em função de fontes naturais (energia solar) e fontes antropogênicas (despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas) (Bezerra M. A., 2004).
- b) **Sabor e odor:** resultam de causas naturais (algas; vegetação em decomposição, bacterias, fungos, compostos orgânicos, tais como gás sulfídrico, sulfatos) e artificiais (esgotos domésticos e industriais). O padrão de qualidade: água completamente inodora (Guevara, 2019).
- c) **Sólidos:** Sólidos em suspensão: resíduo que permanece num filtro de asbesto após filtragem da amostra. Podem ser divididos em:
 - **Sólidos sedimentáveis:** sedimentam após um período de repouso da amostra (Fernandes, 2012)
 - **Sólidos não sedimentáveis:** somente podem ser removidos por processos de coagulação, floculação e decantação (Fernandes, 2012)
- d) **Conductividade eléctrica:** capacidade que a água possui de conduzir a corrente eléctrica. Este parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas electricamente. Quanto

mais for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica na água (Uamusse, 2015).

2.1.2 Parâmetros químicos

a) pH representa o equilíbrio entre íons H^+ e íons OH^- ; varia de 7 (sete) à 14 (catorze), indica se uma água é ácida (pH inferior à 7), neutra (pH igual a 7). O pH da água depende de sua origem e características naturais, mas pode ser alterado pela introdução de resíduos, pH baixo torna a água corrosiva, a água com pH elevado tendem a formar incrustações nas tubulações. A vida aquática depende do pH, sendo recomendável a faixa de 6 (seis) a 9 (nove) (Fernandes, 2012).

b) Sólidos Totais Dissolvidos (STD): os sólidos totais dissolvidos na água consistem de sais inorgânicos e materiais dissolvidos que geralmente compõem 95% ou mais do peso de sólidos totais na água. Em águas naturais, os sais são compostos químicos compreendidos entre ânions, tais como os carbonatos, cloretos, sulfatos e nitratos e, cátions tais como o sódio, o potássio, o cálcio e o magnésio. A concentração natural de sais é fortemente influenciada pela formação geológica em que o corpo de água está suportado. São esperadas altas concentrações de sais em áreas áridas ou semiáridas, onde as evaporações normalmente são maiores do que as precipitações. Os métodos empregados para a determinação de sólidos são gravimétricos e a concentração é expressa em miligramas/litro (mg/L). A salinidade representa os sólidos totais na água após todos os carbonatos terem sido convertidos em óxidos, todos os brometos e iodetos terem sido substituídos pelos cloretos e toda a matéria orgânica ter sido oxidada (Bezerra M. A., 2004).

2.2 Enquadramento Legal

De acordo com o decreto nº 180/2004 de 15 de Setembro, do Ministério da Saúde, que rege sobre a qualidade da água para o consumo humano:

- **Água potável** – aquela que é própria para o consumo humano, pelas suas qualidades organoléptica, físicas, químicas e biológicas.
- **Água destinada ao consumo humano:** toda a água no seu estado original ou após tratamento, destinada a ser bebida, a cozinhar, a preparar alimentos ou para outros fins comerciais;

A Lei n.º 16/91, de 3 de Agosto, Lei de Águas, atribui ao Ministério da Saúde competências para estabelecer os parâmetros através dos quais se deverá reger controlo da qualidade de água para que seja considerada potável e própria para o consumo humano.

Diversas entidades reguladoras estabeleceram parâmetros de interesse na matéria de qualidade de água e seus limites de acordo com o uso. O Decreto nº 18/2004 de 2 de junho que regula fins de irrigação (com base nos limites estabelecidos pela FAO), com legislação em Moçambique. *World Health Organisation* (2017) definiu limites para os parâmetros para o fim de consumo directo, tendo o mesmo sido realizado por U.S. *Environmental Protection Agency* (2018). Limite de parâmetros de qualidade de água para diferentes fins além do consumo.

Um resumo dos limites e os riscos relacionados com a saúde pública estabelecida pelas diferentes entidades é apresentado na **Error! Reference source not found..**

Tabela 1 – Limites admissíveis dos parâmetros da qualidade da água para o consumo humano

Parâmetro	Decreto 180/2004	WHO (2017)	Riscos para a saúde pública
pH	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	Aumenta a dureza da água
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	50 - 2000	-----	Sabor desagradável e corrosão
TDS (mg/L)	1000	1000	Sabor desagradável
OD (mg/L)	5	6.5 - 8	Necrose hemorrágica
Magnésio	50	-----	Sabor desagradável
Nitratos	50	50	Reduz o O_2 no sangue
Sódio	200	-----	Sabor desagradável

2.3 Contextualização Geral

A água é um recurso fundamental para a existência da vida, tanto animal quanto vegetal. Ela constitui mais de 60% de todas as funções necessárias à vida do organismo humano. Depois do oxigênio, é da água que o corpo humano mais precisa para sobreviver, sendo esta de qualidade adequada e em quantidade suficiente para manter a saúde do Homem e proporcionar o desenvolvimento econômico (Torri J. B., 2015).

Desde a descoberta de que a produção de alimentos dependia da oferta de água usada no cultivo, a água tem sido um bem de extrema importância para o Homem. Sociedades foram desenvolvidas próximas a regiões com boas ofertas de recursos hídricos e fácil captação de modo que atendesse a sua demanda doméstica e agrícola. Sendo que esses recursos eram suficientes para aquela sociedade naquele momento, as sociedades foram virando cidades e grandes

metrópoles e a água foi se tornando escassa. Posteriormente a água passou a ser usada para movimentar máquinas que cortavam madeira, em moinhos de grãos e finalmente em processos industriais (Torri J. B., 2015).

2.3.1 Distribuição da Água no Mundo

O planeta é coberto por 70% de água, dos quais 97,5% encontra-se nos oceanos e mares, sendo imprópria para o uso e consumo humano e animal, devido ao elevado teor de sais. Apenas 2,5% correspondem a água doce, e só uma percentagem mínima está disponível para a utilização nas diversas actividades. Isto, porque 68,9% dessa água doce encontra-se na forma de glaciares e a restante apresenta se no estado líquido. A água doce no estado líquido está distribuída da seguinte forma: 29,9% correspondem a água subterrânea, 0,9% à humidade do solo e pântanos e 0,3% presentes em rios e lagos (Gaio S. S., 2016) . No gráfico1 encontra-se representada a distribuição de água no planeta referida anteriormente.

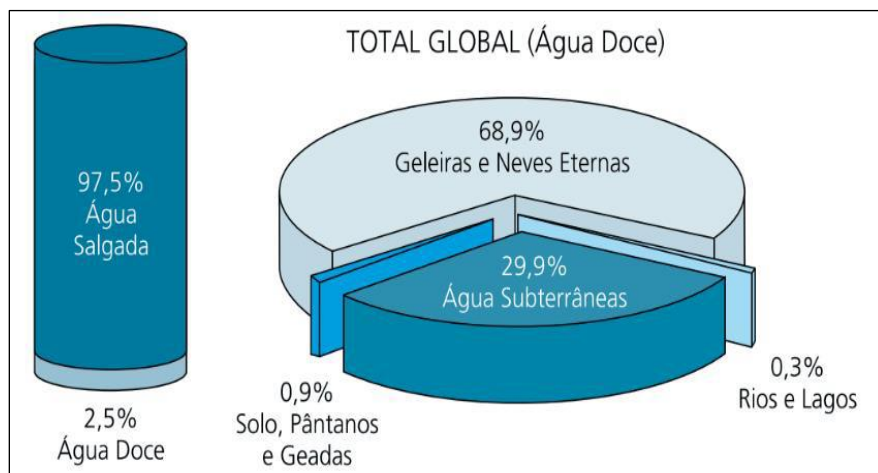


Gráfico 1 — Distribuição da 'água no planeta

Fonte: (Gaio S. S., 2016).

Apesar de grande quantidade de água que cobre a superfície da terra, existe uma crise mundial a respeito da disponibilidade de água de boa qualidade que atinge níveis locais, regionais e nacionais (Torri J. B., 2015).

Existem estudos que apontam para uma escassez cada vez mais pronunciada de água para a produção de alimentos, desenvolvimento económico e proteção de ecossistemas naturais. Aproximadamente 25% da população mundial não tem acesso à água doce de boa qualidade e em quantidade suficiente e mais de 80 (oitenta) países enfrentam severos problemas acerca da água (Torri J. B., 2015).

2.3.2 Qualidade de Água

A qualidade e a quantidade da água estão interligadas, embora sejam avaliadas de forma distinta. No entanto, a qualidade da água é influenciada não só por actividades humanas assim como por factores naturais. A água no ambiente, sem acção humana, devido a diversos factores naturais contem substâncias dissolvidas e partículas não dissolvidas que são importantes para a saúde e vitalidade dos organismos no ecossistema. Por outro lado, também pode conter outras substâncias como mercúrio, chumbo e cádmio (metais prejudiciais), pesticidas, toxinas orgânicas e contaminantes radioactivas, prejudiciais para a vida (Gaio S. S., 2016)

É importante referir que a qualidade da água não se refere ao seu estado de pureza, mas às suas características físicas, químicas e biológicas que estão implementadas de acordo com a sua finalidade.

Além de ser gasta uma grande quantidade de água para agricultura, pecuária, actividades urbanas etc., existe o facto da poluição que, além de piorar a situação, acaba esgotando nossa água potável que já é pouca, sem contar que a má distribuição de água no mundo também é um dos factores agravantes da falta de água. Os Países da Ásia, América do Norte, América do Sul, possuem favoráveis reservas de água doce e os países como França, Austrália, Bélgica, Alemanha,

Marrocos, Rússia utilizam água subterrânea para atender a necessidade da população (Gaio S. S., 2016)

Em Moçambique não é diferente, grande parte também sofre com a falta de água e a má distribuição desse recurso.

A falta de chuvas também está a contribuir para a falta de água. Diante dessas situações, muitas empresas estão a buscar soluções para esses problemas e estão a ter como foco principal a dessalinização.

2.4 Dessalinização

As origens da dessalinização como um processo realizado sob os cuidados do ser humano são desconhecidas, e muito provavelmente durante um longo período não foi documentada. No entanto, é coerente admitir que a destilação seja um fenómeno observado desde os primórdios de humanidade, gerando interesse de gerações seguidas aos quais finalmente produziram curtos relatos documentados datando mais de 3 milénios. As mais conhecidas citações sobre dessalinização neste período estão no velho testamento da bíblia, sendo um no livro de Jó 36:27 em que diz “ ele atrai as gotas de água, e do seu vapor as distilas em forma de chuvas” e outro posterior em Êxodo 15:25. Um exemplo ainda de antiguidade está na passagem do filósofo Aristóteles em que afirma que água salgada após vaporizar torna se doce e que não retorna à água salgada quando condensa (Guerreiro, 2009).

Algum tempo depois, no antigo império Romano, Plínio documentou em livro de sua autoria um método consciente realizado pelo ser humano para obter água doce. Plínio, o velho, como também era conhecido, foi um naturalista e oficial romano.

A necessidade de água doce em alto mar, durante as navegações levaram a desenvolver processos de destilação da água do mar. Relatos de Richard Hawkins de 1662 referem que durante as suas viagens, pelos mares do Sul, por

meio da destilação conseguiu fornecer água fresca, a bordo, aos seus homens (Guerreiro M. L., Julho de 2009).

O histórico da dessalinização segue a seguinte ordem, tendo em mente que inicialmente foi feita pelo processo de destilação artificial e somente em 1950 foi iniciada a ideia do processo de dessalinização por meio da osmose reversa com os cientistas Reid e Breton. Em 1960, os pesquisadores S.Loeb e S.Sourirajan desenvolveram a primeira membrana utilizada na osmose reversa, a membrana de acetato de celulose assimétrica.

Em 1928 foi instalado em Curaçao uma estação dessalinizadora pelo processo da destilação artificial, com uma produção diária de 50m³ de água potável.

No território da Arábia Saudita foi instalada uma importante central de dessalinização, em 1938 (Gaio S. S., 2016).

Nos anos 40, durante a segunda guerra mundial, houve por parte militar a necessidade de água potável, quando estes encontravam em regiões áridas e em locais insolados. A potencialidade da dessalinização evidenciou-se nessa altura.

Nos Estados Unidos da América as primeiras iniciativas para o aproveitamento da água do mar datam de 1952, quando o congresso aprovou a Lei Pública número 448, cuja finalidade seria criar meios que permitissem reduzir o custo da dessalinização da água do mar. O congresso designou a criação do departamento de Águas Salgadas (Gaio S. S., 2016).

Em 1971 as instalações de Curaçao foram ampliadas para produzir 20 000 m³ por dia. Em 1980, foi desenvolvida uma membrana de composto poliamídico que facilitava a osmose reversa por ter mais absorção de solvente e menos de soluto.

Globalmente, a dessalinização da água tem vindo a aumentar exponencialmente desde 1960, como se pode observar no gráfico 2. Ainda antes de 2010, a capacidade instalada globalmente era de cerca de 42 milhões de m³/dia, estando operacional cerca de 37 milhões de m³/dia. Estes valores da dessalinização de

água do mar assim como de água salobra para uso industrial, agrícola, aplicações energéticas, militares, entre outros (Gaio S. S., 2016).

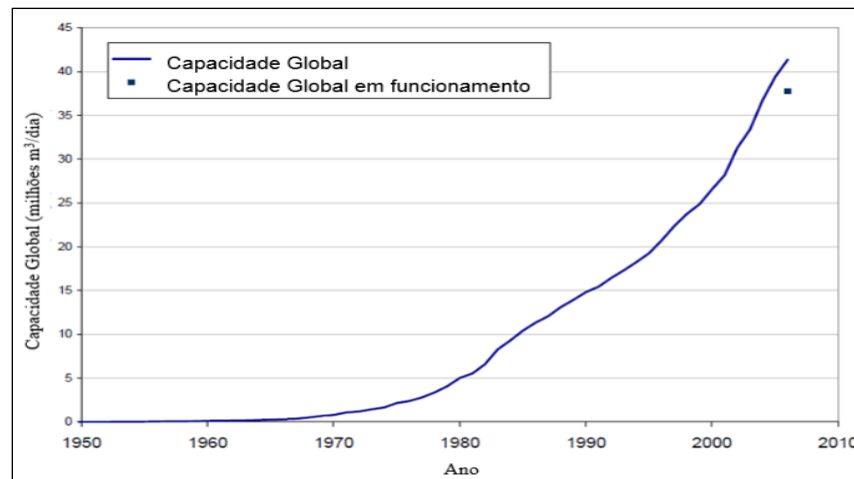


Gráfico 2 — Capacidade instalada de centrais de dessalinização no mundo, de 1950 a 2006.

Fonte: (Gaio S. S., 2016).

2.4.1 Dados Numéricos da Dessalinização no Mundo

O processo de dessalinização da água do mar resulta em duas correntes: corrente de água doce contendo baixa concentração de sais dissolvidos (produto do processo) e a salmoura, corrente altamente concentrada com sólidos totais dissolvidos. Esse processo requer energia na forma de electricidade, pressão ou calor para dessalinizar, e utiliza diversas técnicas diferentes para separação.

A dessalinização permite aumentar os recursos de água disponível no mundo produzindo água doce de fontes salinas ou salobras. Pode ser bem empregada nas seguintes situações: em locais situadas próximas do litoral ou em ilhas áridas, para transformar água do mar em água potável, em localidades onde a água obtida de poços profundos é salobra e, portanto, imprópria para o consumo humano, em navios, submarinos, plataformas de petróleo e outras embarcações que necessitam de água potável para suas tripulações, bem como em locais,

próximo ao mar, onde houve tragédias tais como terremotos, furacões, entre outros. (Torri J. B., 2015)

O custo de produção convencional da água tem aumentado em várias partes do mundo e os custos para dessalinizar tem diminuído, conseqüentemente a dessalinização tem-se tornado mais competitiva e economicamente atraente. Latteman et al (2010) estimaram que em 2015 os custos para tratamento de água tradicional, tratamento de água de reuso e dessalinização serão mais parecidos, pelo menos nos EUA. Contudo, a produção de água dessalinizada no mundo ainda corresponde a menos que 1% do total de água usada.

Em 2001, de toda água dessalinizada do mundo, 60% era proveniente de água do mar e 40 % proveniente da água salobra. Enquanto as tecnologias de dessalinização podem ser usadas em diversas aplicações, o maior uso é para converter água salgada para água potável com propósitos municipais (60%). Entretanto, como mostra o Gráfico 3, a água dessalinizada também é usada para agricultura (2%) e para propósitos industriais (28%) (IDA, 2013). Apesar do uso da água dessalinizada na agricultura ser limitada pelo preço mais alto comparado a água comumente usada e da necessidade de as plantações serem perto de uma fonte de água salobra ou salgada, seria interessante que se usasse mais água dessalinizada na agricultura, pois além de ser ambientalmente melhor, tem a vantagem da segurança do fornecimento de água e conseqüentemente da produção de alimentos. (Torri J. B., 2015)

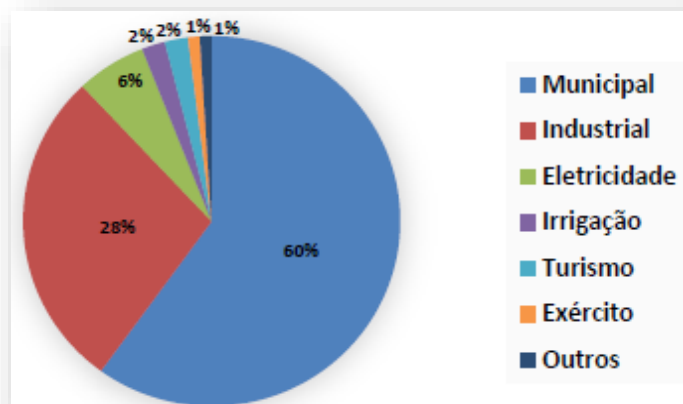


Gráfico 3 — Distribuição da capacidade global pelo uso da água produzida

Fonte: (Torri J. B., 2015).

A capacidade mundial, de dessalinização em 2012 era de 77,4 milhões de m³ por dia, e a taxa média de crescimento da capacidade diária de dessalinização, de 2002 para 2007, foi de 12% ao ano. (intelligence, 2007).

Khawaji et al (2008) estimam que mais de 75 milhões de pessoas no mundo obtenham água pela dessalinização da água salgada ou salobra. O IDA *Desaltinginventory 2004 Report* mostra que no final de 2002, as plantas de dessalinização no mundo totalizavam 17 348 unidades em 10 350 plantas e a maior parte delas no Oriente Médio. Segundo Khawaji et al (2008), os países líderes em dessalinização são Arábia Saudita (17,4%), EUA (16,2%), Emirados Árabes Unidos (14,7%), Espanha (6,4%) e Kuwait (5,8%). Segundo Henthorne (2009) a maior planta de dessalinização em operação do mundo produzia, em 2009, 947 890 m³/dia na *Al-jubailplant* na Arábia Saudita.

Atualmente, alguns países dependem estritamente das tecnologias de dessalinização para obter água potável, como é o caso da Arábia Saudita, emirados Árabes e Kuwait no Oriente Médio. É consenso que a dessalinização vai continuar crescendo em popularidade no Oriente Médio (Middle East Electricity, 2005). Nos Estados Unidos, a escassez de água em várias cidades

resultou num planeamento de médio e longo prazo a fim de aumentar o uso da dessalinização da água do mar para suprir as poucas possibilidades de se obter água potável nessas regiões.

Em Sydney, a taxa de uso da água está aumentando por causa do crescimento da população, chegando a superar a taxa de abastecimento de água que provem dos reservatórios, uma situação que tem sido seriamente exacerbada por períodos de seca. Como consequência, a cidade instalou, em 2010, uma das maiores plantas de dessalinização do mundo que retira água do mar e fornece água de boa qualidade para mais de 150 000 habitantes. O custo é quase duas vezes maior do que se a água viesse dos reservatórios, mas tem a vantagem de segurança, não sendo a disponibilidade de água influenciada pelo clima. (Desal, 2015).

2.4.2 Dessalinização em Moçambique

Numa iniciativa pioneira em Moçambique, entrou em operação no projecto Corredor de Nacala, uma dessalinizadora cuja função é captar a água do mar, tratá-la e transformá-la em água potável.

Construída em Nacala-a-Velha, a infra-estrutura funciona através da captação e tratamento da água do mar e tem como objectivo a distribuição de água doce de boa qualidade para diversos fins, sem causar impactos nas reservas da região que, além de raras, são utilizadas pela população local.

A infra-estrutura conta com uma capacidade de produção inicial de aproximadamente 1000 m³/dia de água tratada, o que corresponde a um milhão de litros. Na fase operacional, o porto, prevê que a produção seja de mais de 100 metros cúbicos por hora num total de mais de 2 milhões de litros de água por dia.

A instalação da dessalinizadora foi antecedida por um estudo hidrológico conclusivo em relação à baixa ocorrência de águas superficiais e subterrâneas na área de abrangência do terminal portuário, o que provoca escassez de água na

região. A pouca água que se pode extrair dos furos apresenta-se, geralmente, com pouca qualidade devido à intrusão marinha. (Vale-Moçambique, 2014).

2.4.3 Processo de Dessalinização

Para que a água salgada ou salobra possa ser utilizada como fonte de água para produção de água potável, é necessária uma tecnologia de dessalinização. A dessalinização consiste em obter água para consumo através da remoção ou redução da concentração de sais e sólidos dissolvidos na água salgada. Neste processo deve se eliminar também outros componentes químicos, orgânicos e biológicos.

A salinidade da água é a quantidade de sal dissolvido numa determinada quantidade de água. Essa quantidade pode ser expressa em partes por milhões (ppm) ou em miligramas por litro (mg/l) do total de sais dissolvidos (STD). Para o abastecimento de água, esta é classificada segundo os seus níveis de salinidade, como se apresenta a tabela 2. A água doce tem uma salinidade inferior a 1000 mg/l, a água salobra tem uma salinidade entre água doce e água salgada e a salinidade da água salgada situa-se entre 35 000 mg/L e os 50 000 mg/L. A água com salinidade superior a água do mar é designada como salmoura. A salinidade presente em mais de 97% da água do mar oscila entre os 33 e os 37 g/L de STD. Segundo a OMS, concentrações de STD na água inferiores a 1 g/L já são considerados valores aceitáveis. A agência de protecção Ambiental dos Estados Unidos da América considera que água com valor de STD acima de 0,5 g/l pode ser considerada desagradável (Gaio S. S., 2016).

Tabela 2 — Classificação da água quanto a sua concentração de STD.

Água	Concentração de STD (mg/l)
Água doce	<1000
Água ligeiramente salobra	1000 – 5000
Água moderadamente salobra	5000 – 15000
Água fortemente salobra	15000 – 35000
Água marinha	>35000

Fonte: (Silveira, 2015).

Para o processo de dessalinização existe um caudal de água de salinidade elevada, que alimenta o sistema. É aplicada uma energia sob a forma de calor, electricidade e/ou pressão de água no processo de dessalinização e por fim existem dois caudais de saída: um correspondente à água dessalinizada que é o rejeitado ou concentrado. Este processo está representado na Figura 1.

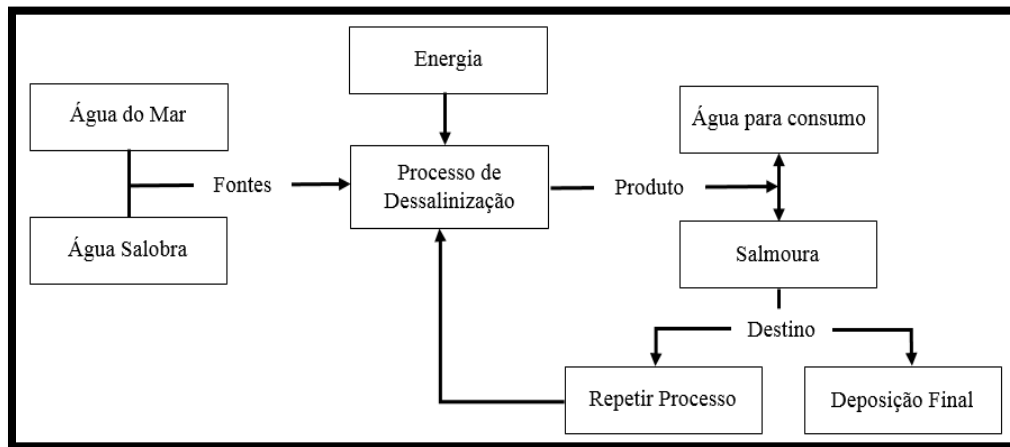


Figura 1. — Princípio de dessalinização de água esquematizado.

Fonte: (Gaio S. S., 2016)

As fontes para o efeito da dessalinização podem ser superficiais ou subterrâneas. As superficiais representam uma maior quantidade de água, incluindo os mares e oceanos. As fontes subterrâneas como os aquíferos, que fornecem água salobra ou salgada representam cerca de 1% da água no mundo.

Para que a água possa ser distribuída pela rede pública, esta tem de obedecer certos requisitos pré-estabelecidos por organismos internacionais como a Organização Mundial de Saúde (OMS), ou organismo administrativo que regulamentam a qualidade da água.

Existem certos procedimentos comuns em todas as estações de dessalinização, independentemente da origem da água e da tecnologia utilizada no processo. Todo o processo de dessalinização compreende de uma forma geral cinco procedimentos que começam pela captação da água até ao fornecimento da água já tratada e em condições de ser distribuída para o consumidor.

Todos processos de dessalinização se utilizam de tecnologias da indústria química, no qual uma corrente de água salina é alimentada no início do processo, energia na forma de calor, pressão ou electricidade é aplicada e duas correntes são produzidas: uma de água dessalinizada (doce) e outra concentrada em sais que deve ser disposta em local adequado. Na Figura 2 é mostrado o processo resumidamente.

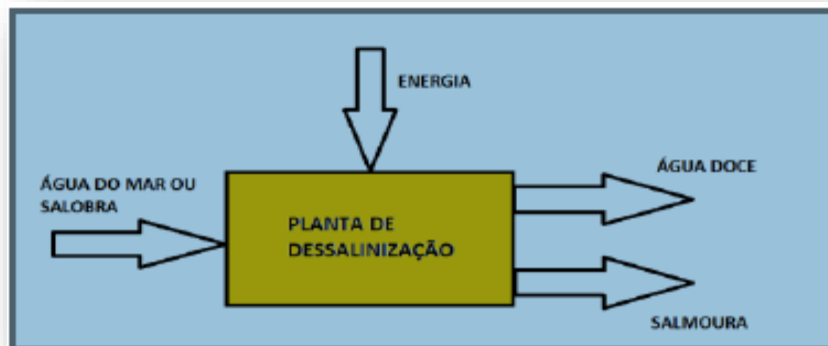


Figura 2 — esquema simplificado do processo térmico de dessalinização.

Fonte: (Torri J. B., 2015)

Os métodos de dessalinização podem ser classificados segundo a fonte de energia utilizada ou segundo o processo de separação da água do sal. De acordo com a fonte de energia utilizada, os processos de dessalinização podem ser

classificados como: térmicos; ou não térmicos. Na Figura 3 é apresentado um esquema referente aos métodos de dessalinização existentes, segundo a fonte de energia utilizada (MARIANO, 2019).

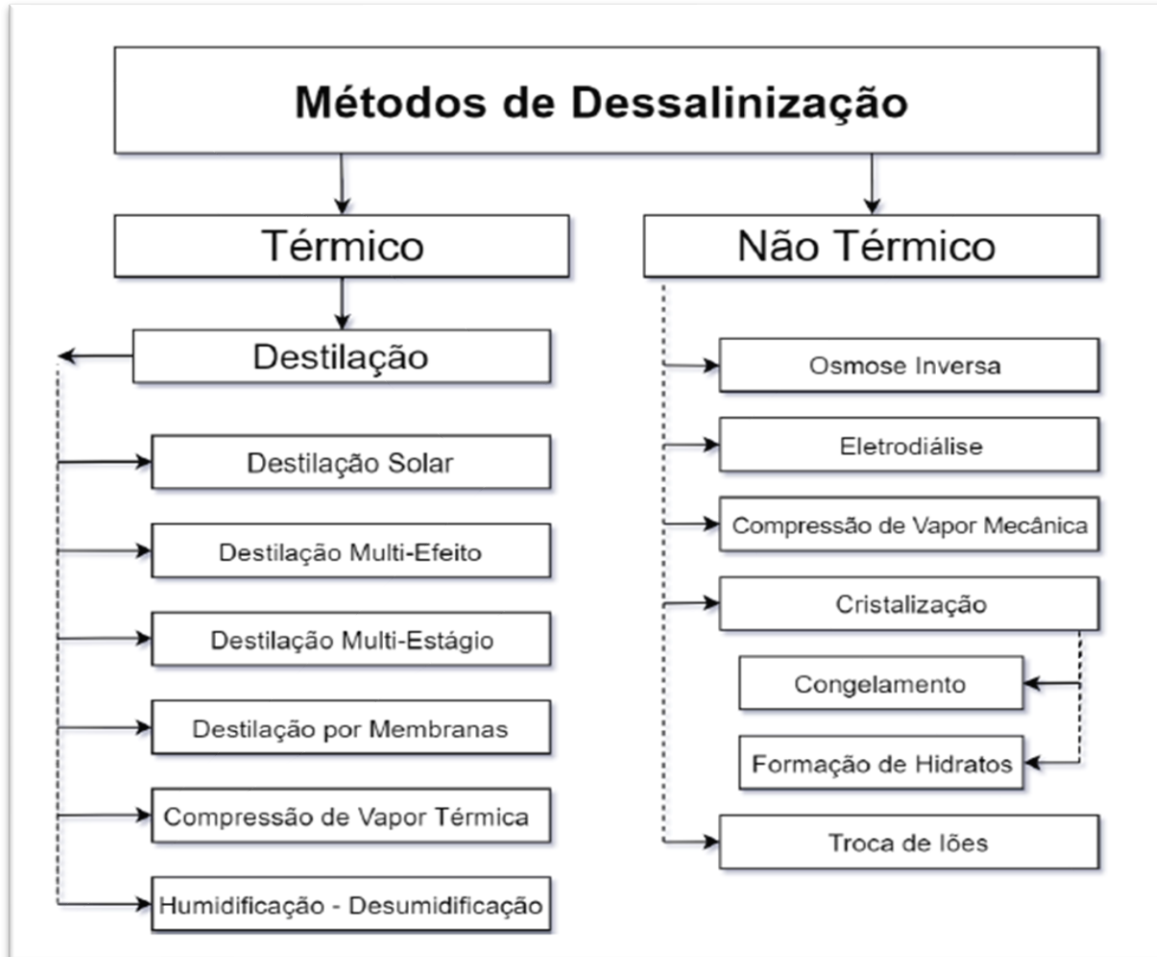


Figura 3 – MÉTODOS DE DESSALINIZAÇÃO.

Fonte: (MARIANO, 2019)

2.5 Processos Térmicos

O processo de dessalinização térmico corresponde ao processo natural do ciclo de água, ou seja, a água salgada ou salobra aquece, evapora, condensa e precipita sob forma de água potável.

Para evaporar a água é necessário atingir-se uma temperatura adequada em relação à temperatura ambiental e, ao mesmo tempo, assegurar uma grande quantidade de energia para manter o processo. Estes métodos são, por isso, frequentemente encontrados em países do Médio Oriente, onde abunda o petróleo, que é normalmente o combustível utilizado para produzir a energia eléctrica que alimenta o processo.

De acordo com o método de separação da água do sal, os processos de dessalinização podem ser classificados como: por separação da água; por separação do sal.

Na Figura 4 é apresentado um esquema referente aos métodos de dessalinização existentes, segundo o método de separação da água do sal.

Dos métodos acima apresentados, OI, DMS, DME, CV e ED são processos tecnologicamente maduros. A maioria dos seus problemas operacionais já foram resolvidos e os esforços actualmente têm sido na redução do consumo de energia, no aumento da eficiência energética, na construção de unidades mais compactas, na redução do custo de instalação e, conseqüentemente, na redução do custo final da água produzida.

Cada processo de dessalinização apresenta as suas vantagens e desvantagens, sendo que a melhor escolha depende de vários factores, a serem considerados (Fabiana Karla, 2020)

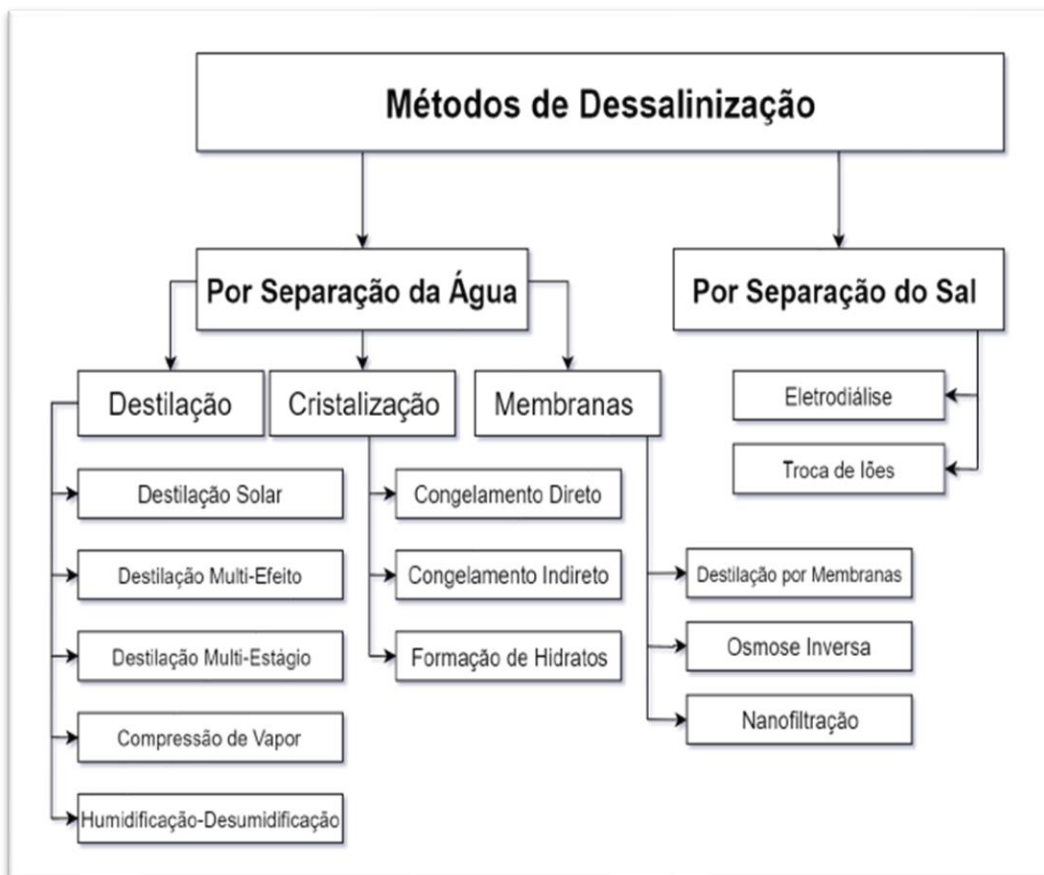


Figura 4 – Métodos de dessalinização existentes.

Fonte: (Mariano, 2019)

2.6 Destilação Solar

A destilação solar usa a energia térmica do sol para processar a dessalinização, é um processo natural e antigo com uma tecnologia possível apenas para pequenas escalas.

O processo é similar a uma parte do ciclo natural da água, na qual a água do mar é aquecida pelos raios para produzir vapor de água.

Como podemos ver na Figura 5, o desenho é semelhante a uma estufa. A água salgada encontra-se confinada dentro de um tanque, com o fundo geralmente preto para a absorção da energia de forma mais eficiente, e é coberto por um material transparente (papel de vidro ou plástico) que permita a entrada da

radiação solar. A água aquece e evapora, este vapor não contém sais. O material envolvente forma uma barreira e a acumulação de vapor no interior da cobertura leva a condensação e a água escoar para pontos de recolha (Ramos, Agosto de 2009).

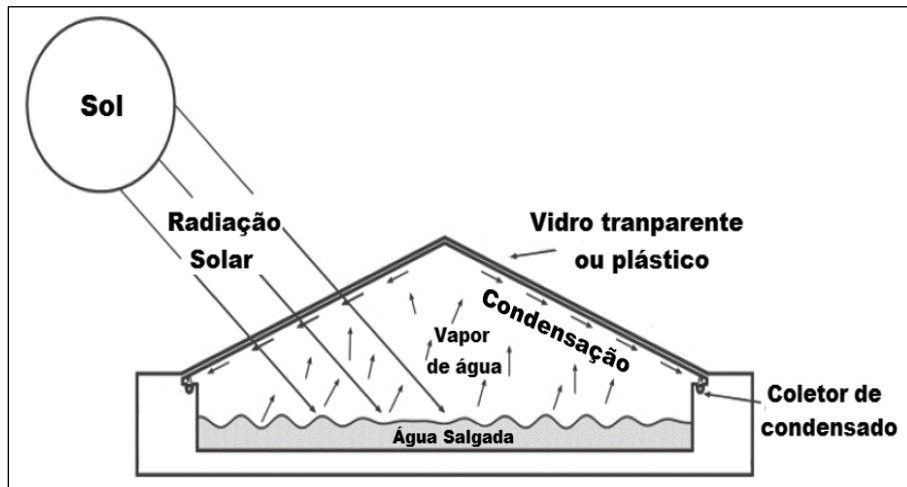


Figura 5 — esquema de um processo de destilação solar.

Fonte: (Carvalho, 2020)

Em termos energéticos, a destilação solar é um processo pouco dispendioso, no entanto, vários estudos têm sido feitos para aumentar a eficiência e a produção por unidade de área. O calor latente é normalmente desperdiçado na cobertura, sendo a eficiência do sistema relativamente baixo. Na prática, experiências mostram que 1 m² de terreno produz 3 a 4 litros de água doce por dia. Particularmente perto de cidades onde o terreno disponível é caro e escasso, esta tecnologia não é viável para a produção em larga escala, onde são necessárias grandes áreas para colectar energia solar.

Comparativamente a outros sistemas, a instalação tende a ser mais cara. Estes sistemas são também vulneráveis aos danos causados pelo tempo, o que leva a custos elevados de manutenção, para evitar incrustações e reparar perdas de vapor e danos no vidro (Ramos, Agosto de 2009).

Esta tecnologia pode ser economicamente viável em produção de pequenas escalas, para famílias e pequenas comunidades onde a energia solar é abundante e o trabalho tem um custo reduzido.

A destilação solar apresenta uma alternativa promissora para a dessalinização de água salgada, podendo suprir parcialmente as necessidades da humanidade em produzir água fresca, com recurso a tecnologias relativamente simples, podendo ser operado por indivíduos não qualificados, necessitando de pouca manutenção não apresentando, portanto, muitos problemas de operação. A destilação solar é classificada como um processo de baixa capacidade, sendo vista como o processo de dessalinização mais apropriado para regiões áridas e remotas, com elevados valores de insolação. Devido à sua baixa eficiência térmica a destilação solar é um processo que necessita maior área de instalação do que outros processos de dessalinização. No entanto, o desenvolvimento das tecnologias de destilação solar já demonstrou a sua adequabilidade para os processos de dessalinização quando as condições climatéricas são favoráveis e a procura de água fresca não é muito elevada (< 200 m³ /dia) (Carvalho, 2020).

Como pode ser observado na Figura 6, um destilador solar convencional é constituído por:

- Bacia;
- Revestimento selectivo;
- Cobertura transparente;
- Calha de recolha do condensado;
- Estrutura de apoio;
- Vedante/ adesivo;
- Circuito de drenagem.

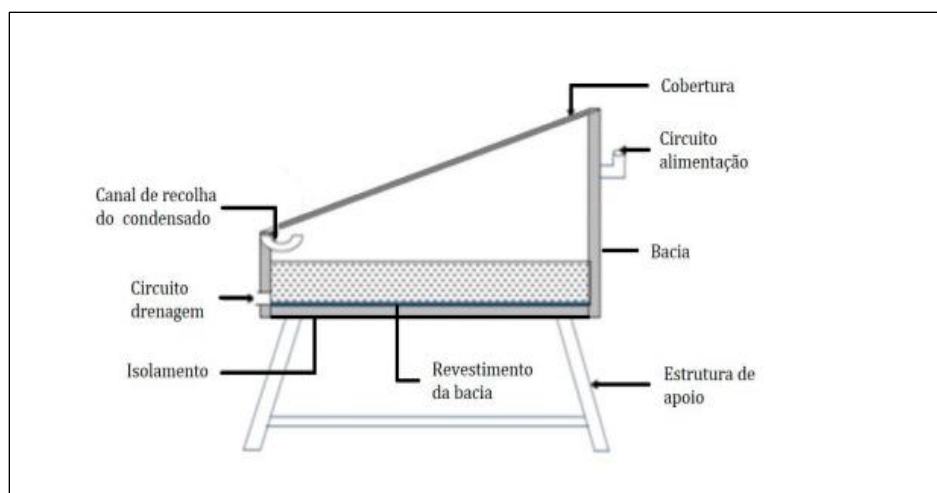


Figura 6 — esquema de um destilador solar.

Fonte: (Mariano, 2019)

2.7 Classificação dos Destiladores Solares

De acordo com algumas modificações e modos de operação, os destiladores solares convencionais podem ser classificados de diferentes formas.

A Figura 7 apresenta o esquema geral dos diferentes sistemas de destiladores solar.

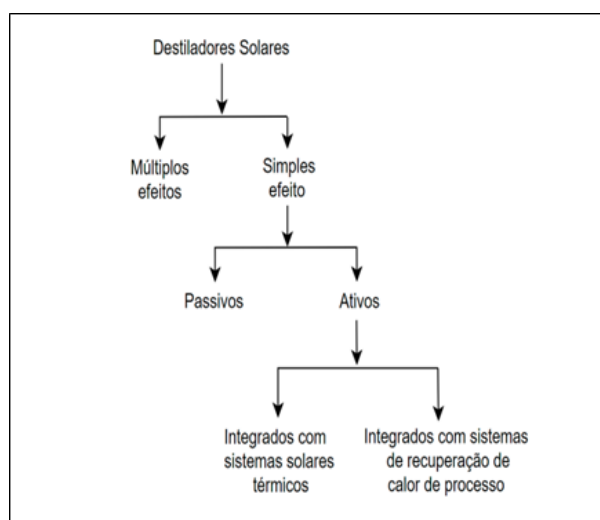


Figura 7 — Esquema geral dos diferentes sistemas de destiladores solares.

Fonte: (Mariano, 2019)

Tipos de Destilador Solar

Existem basicamente dois tipos de alambiques solares que se baseiam no efeito, e estes são alambiques solares de efeito único e multe efeito. Esses dois tipos de alambiques solares são ainda mais subdivididos em alambiques activos e passivos que são categorizados com base na fonte de calor fornecido para realizar a evaporação da água. Em um tipo, a evaporação de água ocorre directamente, mas em outro tipo é necessário um meio externo como calor trocador ou colectador solar para realizar a evaporação da água.

2.7.1 Classificação dos Tipos de Dessalinizadores Solar.



Figura 1 — Esquema da classificação de dessalinizadores tipo bandeja.

Fonte: (Bezerra V. R., 2021)

2.7.2 Destilador Solar de Efeito Único

A origem do desenvolvimento do destilador solar é o destilador solar de efeito único. Também é chamado de alambique solar original. É o mais simples de todos os alambiques solares. Neste tipo de alambique solar, há apenas uma camada de vidro presente sobre a superfície da água, devido à presença de única camada de vidro, grande quantidade de perda de calor ocorre, reduzindo assim sua eficiência. Essa perda de calor ocorre na forma de condução. Assim, a eficiência deste tipo

de solar ainda é cerca de 30-40%. Este tipo de destilador solar também é conhecido como *single-slope*. Muitos experimentos e estudos foram feitos para melhorar sua eficiência (Anirshu DevRoy, 2019).

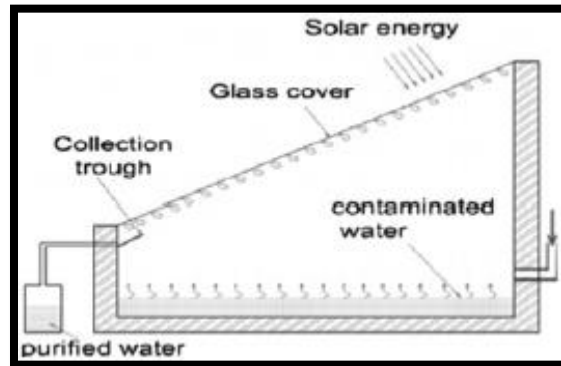


Figura 2 — Destilador solar de efeito único.

Fonte: (Anirshu DevRoy, 2019).

2.7.3 Destilador Solar com Cobertura Piramidal

O destilador solar com cobertura piramidal é caracterizado por possuir a possibilidade de captar a energia solar através de quatro faces, se diferenciando assim dos modelos citados anteriormente. O facto de possuir quatro vidros possibilita a absorção da radiação por todos os lados, trazendo versatilidade ao equipamento, visto que não sofrerá perda de rendimento devido ao posicionamento do sol.

O funcionamento do referido destilador é semelhante ao do tipo convencional, pois a água salobra fica armazenada em uma bacia rectangular no interior do equipamento, onde a radiação solar aquece e evapora a água, condensando no tecto piramidal que possui uma angulação pré-definida, onde facilita o escoamento da água destilada para o reservatório final. A Figura 11 mostra um destilador solar com cobertura piramidal (Oliveira, 2020).

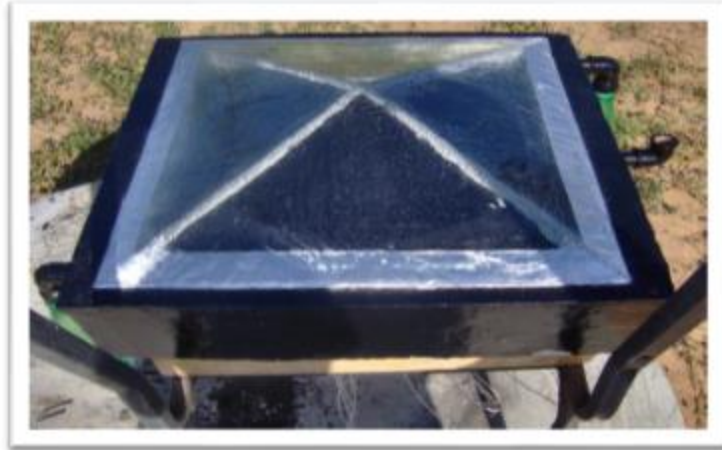


Figura 3 — Destilador solar piramidal

Fonte: (Mathu Manokar, 2019).

2.7.4 Balanço Energético, Produção e Eficiência da Dessalinização solar

O estudo do balanço energético de um destilador solar é fundamental para a análise da eficiência energética desse equipamento, visando à otimização do mesmo (com a diminuição das perdas térmicas).

Segundo Incopera (2003), transferência de calor é a energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperaturas no espaço.

A condutividade térmica é uma propriedade física dos materiais que descreve a sua capacidade de conduzir calor. Equivale à quantidade de calor Q transmitida através de uma espessura L , numa direcção normal à superfície de área A , devido ao gradiente de temperatura ΔT , sob condições de estado fixo e quando a transferência de calor é dependente apenas do gradiente de temperatura. (LUNA, 2016)

A quantidade de calor que atravessa, por exemplo, uma parede por segundo depende dos seguintes factores:

- É directamente proporcional à área da parede (A);

- É directamente proporcional à diferença de temperaturas entre o interior da habitação (T_2) e o exterior (T_1);
- Inversamente proporcional à espessura (L) da parede.

$$(Q/\Delta T) = K \times A \times (\Delta T/L) \quad (1)$$

$(Q / \Delta T)$ = energia transferida, como calor, por segundo (J/s)

K = condutividade térmica (W/m.K)

A = área (m^2)

ΔT = diferença de temperatura (K)

L = espessura (m)

O coeficiente de conductividade térmica é uma característica do material. Corresponde à quantidade de energia, sob a forma de calor, que passa, num segundo, através de $1 m^2$ de superfície, quando a diferença de temperatura entre o interior e o exterior é de $1^\circ C$.

$$(Q / \Delta T) = U \times A \times \Delta T \quad (2)$$

$(Q / \Delta T)$ = energia transferida, como calor, por segundo (J/s)

U = coeficiente de conductividade térmica

A = área (m^2)

ΔT = diferencia de temperaturas (K)

Segundo Silva (2014), os mecanismos internos e externos da destilação solar originam-se da transferência de calor, que consistem em radiação, convecção e condução. Apontam-se, também, outros fenómenos importantes neste processo, como a evaporação e a condensação.

No processo da dessalinização solar, o agente de separação é o calor proveniente da radiação solar, captada por colector e/ou concentradores, sendo a obtenção da água purificada baseada na evaporação da água salobra (ou salgada) por meio de aquecimento, sem necessariamente provocar sua ebulição.

O comportamento do destilador solar é caracterizado pelas diferentes transferências de massa e calor que ocorrem no seu interior. Os principais fenómenos que ocorrem são a transferência de calor e de massa entre a água e o vidro do destilador solar. A transferência de massa deve-se aos processos físicos de evaporação da água existentes nas coberturas do destilador. O vapor de água vai incorporando o ar do interior do destilador, aumentando sua concentração. A condensação se produz quando o ar próximo à cobertura de vidro alcança a saturação e a temperatura do vidro.

A eficiência com que a energia solar é utilizada pode ser estimada pelo cálculo da razão entre o calor necessário para a formação de vapor e o calor equivalente da radiação solar e produz um aumento exponencial na pressão de vapor no interior do involucro. Esta pressão mais elevada é acompanhada por mais evaporação por unidade de entrada de calor, aumentando assim a eficiência.

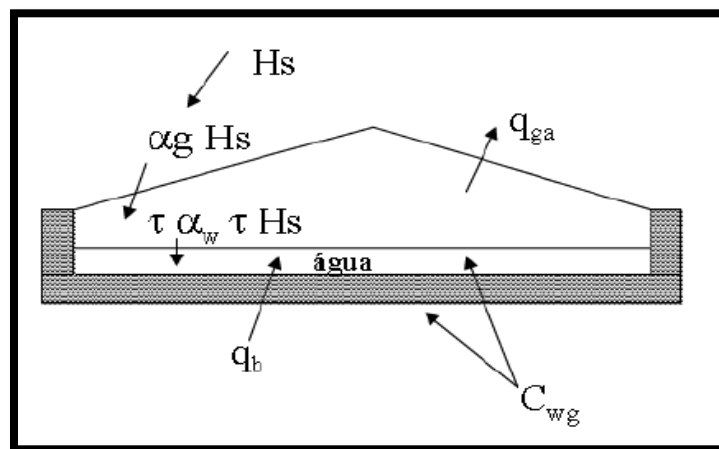


Figura 4 — Balanço energético do destilador solar (MARIANO, 2019).

As perdas através das paredes e base do destilador são expressas pela equação (3)

$$Q_b = K_b (T_w - T_a) \quad (3)$$

Onde K_b é a condutividade térmica do material; T_w é a temperatura da água (interna) e T_a é a temperatura ambiente (externa).

O rendimento η de um destilador pode ser calculado pela equação (4)

$$P = \frac{\eta \times H_s}{\lambda} \quad (4)$$

Sendo:

P: produção de água destilada ($1/m^2$ dia);

H_s : valor da radiação solar ($kcal/m^2$);

λ : calor latente de evaporação da água ($kcal/kg$).

2.7.5 Estimativa da radiação solar

A radiação solar global é definida como a quantidade total de energia solar recebida pela superfície terrestre. A radiação solar é estimada usando a equação de Hargreaves e Samani (1982, 1985). Esta equação estima a radiação solar em função da diferença entre as temperaturas diárias máximas e mínimas com um coeficiente de ajuste de 0,16. Além disso, usa Julian day, latitude e elevação para estimar a posição do sol em relação ao ponto de interesse na superfície terrestre (Abdullahi ayegba & Joshua, 2017).

A equação é dada por:

$$R_s = K_{RS} (T_{max} - T_{min})^2 R_a \quad (5)$$

Onde:

R_s = radiação solar estimada em [$MJ m^{-2} dia^{-1}$],

R_a = radiação extraterrestre [$MJ m^{-2} day^{-1}$],

T_{max} = temperatura máxima diária do ar (°C)

T_{min} = temperatura mínima diária do ar (°C)

K_{RS} = coeficiente de ajuste = 0,16

Sempre que é projectado um destilador, visa-se maximizar o q_e , calor que está relacionado ao transporte do vapor de água do tanque até a superfície a superfície inferior da cobertura, onde é condensado. A energia de evaporação (q_e) é directamente proporcional à produtividade do destilador.

O rendimento dos destiladores solares se expressa normalmente pela quantidade de água produzida por unidade de área, por dia. Essa quantidade varia segundo a configuração do destilador, a insolação e as condições climáticas. Uma vez que um destilador está construído e instalada, ele tem uma configuração geométrica permanente pelo qual seu rendimento será função exclusivamente da insolação e das condições ambientais.

A produção de água potável por meio da destilação solar depende drasticamente da intensidade da radiação solar. Por esta razão, muitos países localizados em regiões áridas e semiáridas vem adoptando a destilação solar para supera o problema da escassez de água potável.

2.7.6 Vantagens e Desvantagens da Dessalinização solar

As vantagens da destilação solar são muito maiores que as desvantagens

Tabela 3 – Vantagem e Desvantagem da Dessalinização Solar (VASCONCELOS, 2015).

Vantagens	Desvantagens
A energia solar é livre de custos	Possui eficiência típica menor que 50%

<p>A manutenção é livre de custos e não requer mão de obra especializada</p>	<p>Produção pequena, com rendimento variado de 3,0 a 5,0 L/m²*dia, tornando-se uma tecnologia cara comparando com o valor investido por litro de água produzida</p>
<p>A operação é simples</p>	<p>Demanda de grandes áreas para instalação</p>
<p>Alta eficiência na remoção de poluentes, superiores a 90%</p>	<p>Necessidade de limpeza periódica para remoção dos resíduos gerados no fundo do destilador</p>
<p>Destiladores de tamanho pequeno e portateis, são de fácil fabricação e podem ser usados em situações catastróficas</p>	<p>Custo capital para a construção é elevado</p>
<p>Se construído com um bom isolamento térmico, a produção de água destilada ocorre também no período noturno devido ao calor armazenado na massa de água</p>	<p>Pequenas falhas na vedação, pode proporcionar vazamento de calor diminuindo significativamente a produção do destilador</p>
<p>Não produz efluente líquido com alta concentração salina que dificulta a sua deposição</p>	<p>-----</p>

2.8 Caracterização da Área do Estudo

2.8.1 Localização Geográfica

O rio Matola, localizado no oeste de Maputo, é um rio perene com cerca de 60 km de extensão, que corre de norte para sul, para desaguar no estuário do Espírito Santo, junto às cidades de Maputo e Matola. As águas deste rio, apresentam-se com alto nível de salinidade, bem como a maior parte dos lençõs freáticos nas suas proximidades, que vão do município da Matola até uma parte do município de Boane.

Os pontos de amostragem foram tirados de um furo localizado no bairro de malhapsene, nas proximidades do Rio Matola, entrada de Mulotana.

Este furo foi feito com objectivo de fornecer a água à população daquela região, mas o projecto foi um fracasso devido a alto nível de salinidade que este apresenta.

A Figura 13 mostra a localização dos pontos de amostragem assim como das suas coordenadas.

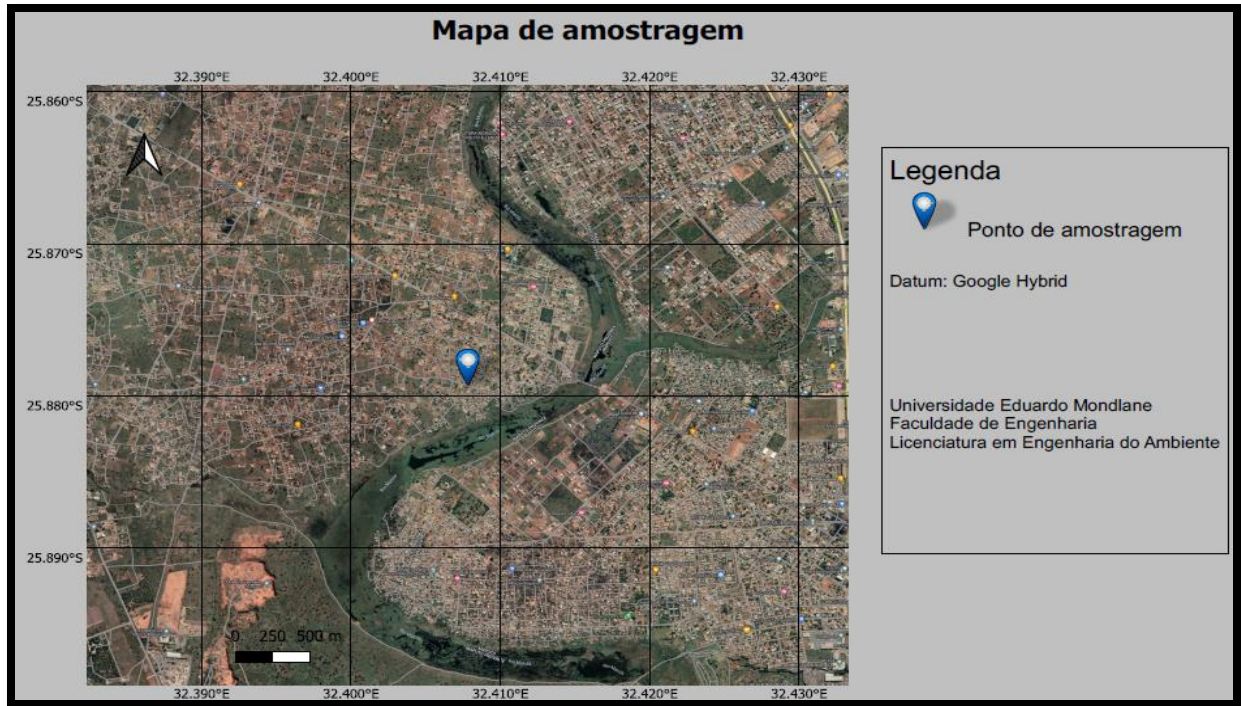


Figura 5 — Localização dos pontos de amostragem.

3 Procedimentos Experimentais

3.1 Sequência do Procedimento do Ensaio

Os procedimentos dos ensaios e tratamento da água salobra, foram realizados na Faculdade de Engenharia obedecendo o seguinte fluxograma:

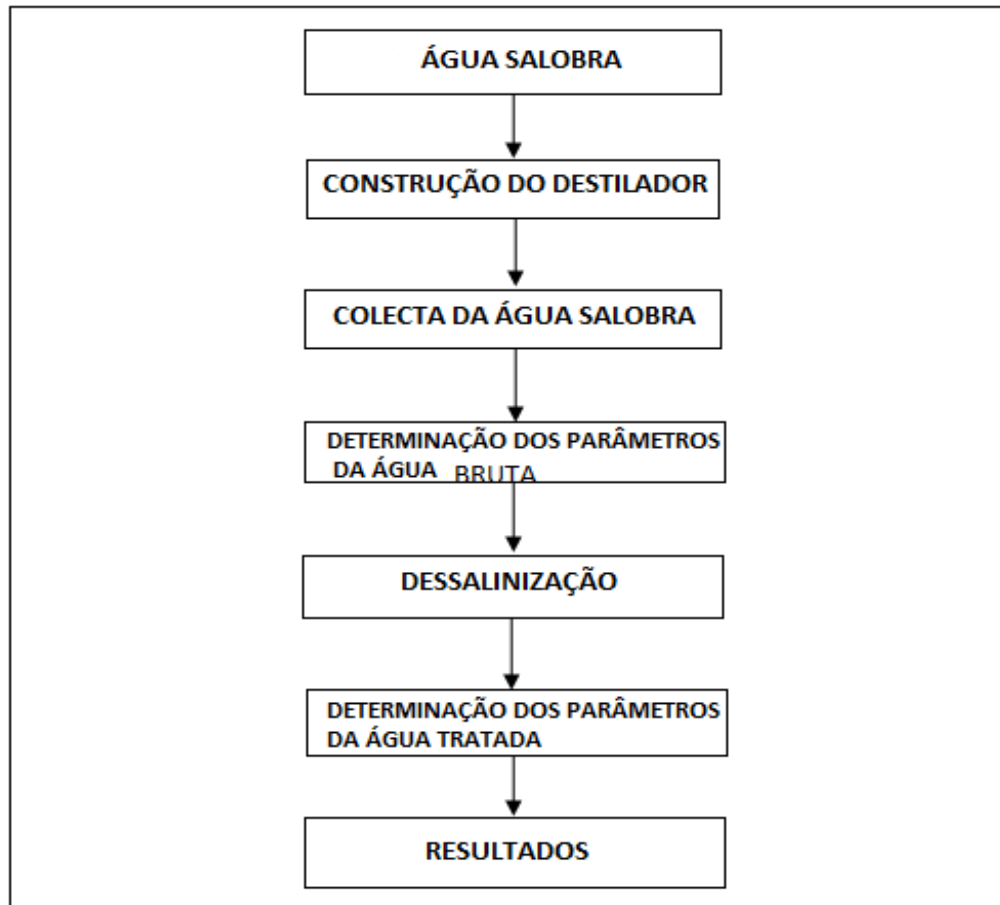


Figura 6 — Fluxograma referente à sequência do trabalho.

3.2 Dimensionamento do Destilador Solar

Após o estudo das etapas necessárias para se construir o destilador solar, bem como análises de diversos materiais que se podem adquirir à essa construção, foi possível, projectar o dessalinizador solar. O projecto teve como objectivo avaliar a eficiência e potabilidade da água tratada. A eficiência é importante devido a sua viabilidade, e a potabilidade agrega a possibilidade de aplicar o sistema em diversas comunidades rurais e suburbanos com crise de água.

Na construção do dessalinizador solar, foi priorizada a utilização de materiais de baixo custo, de fácil aquisição no mercado local. Os ensaios do destilador solar foram realizados no terraço do edifício do departamento da Engenharia eléctrica

da Universidade Eduardo Mondlane (UEM-FENG). O local escolhido facilitou o experimento, visto que a incidência solar é alta durante as horas do sol (10:00h às 16:00 h), e o facto de decorrer dentro da faculdade viabilizou os equipamentos para realizar as medições, assim como permitiu um monitoramento mais intenso da prática.

3.2.1 Caixa do Colector

A caixa do colector é o elemento estrutural do mesmo e pode ser construída de materiais a seguir: fibra de vidro; chapa de ferro galvanizado; plástico rígido; fibrocimento; chapa ou perfil de alumínio; alvenaria de cimento; madeira. Dentre esses materiais, a escolha depende do custo, da disponibilidade e a preferência deve ser dada àqueles materiais com baixa condutividade termica, o que ajuda a reduzir as perdas termicas para o meio.



Figura 7 — Destilador solar.

3.2.2 Tanque

O tanque do destilador solar, onde foi depositada a água salobra, foi construído de metal com 4 mm de espessura e o seu interior pintado de tinta preta. O reservatório desenvolvido com uma área efectiva de dessalinização é de 0,18 m²

(0,45*0,40 m) e altura de 0,050m, totalizando um volume de 0,009 m³. A Figura 19 apresenta o reservatório do destilador construído.



Figura 8 — Prato metálico preto.

3.2.3 Cobertura

A cobertura, foi construída utilizando o vidro comum de 4 mm de espessura. Esse material apresenta melhor relação custo benefício para essa utilização.

O ângulo de inclinação da cobertura, tem influência na quantidade de radiação solar. Quanto mais ortogonal à superfície do vidro for esse ângulo de incidência, melhor, ou seja, quanto menor o ângulo de inclinação, mais radiação é transmitida pelo vidro. Baseando-se em Bezerra (2004), escolheu-se o ângulo de 20° como ideal em termos energéticos, já que permite uma boa transmissão de radiação solar, o que equivale à altas taxas de evaporação (a perda por reflexão é menor). Maior ângulo de inclinação provoca aumento na condensação devido ao aumento da área da cobertura, mas apresentam maior perda por convecção do ar presente, além de menor eficiência energética. Não é necessário haver uma inclinação muito grande do vidro para que a água escorra: com o vidro limpo, uma inclinação de apenas 1° é necessária para que isso ocorra.



Figura 9 — Estrutura de cobertura

3.2.4 Isolamento

O isolamento térmico tem como função conter o máximo de energia térmica possível dentro do reservatório, evitando perdas para o ambiente externo.

O projecto de isolamento térmico do destilador solar foi baseada em papel de alumínio de 0,2 mm de espessura. Este material possui tolerância térmica, pois suporta altas temperaturas. É um condutor de eletricidade e calor (a parte fosca é a que retém o calor, enquanto a parte brilhante o rejeita), é impermeável: não permite a passagem de água ou humidade.



Figura 10 — Isolamento térmico de alumínio.

3.3 Procedimento Experimental

3.3.1 Matérias usados

- ✓ Copo de precipitação de 500 ml;
- ✓ Medidor multi-parâmetros (Conductímetro HQ40d)

Medição dos parâmetros TDS, CE, Salinidade, OD e Temperatura, antes do tratamento da água:

Para a determinação dos parâmetros TDS, T, CE, OD e Salinidade, primeiro lavou-se o copo de precipitação de 500 ml com água destilada e de seguida mediu-se um volume de 500 ml para o copo de precipitação.

Para a determinação dos parâmetros, usou-se um medidor de multi parâmetros, onde primeiro calibrou-se o equipamento com a solução padrão e de seguida lavou-se as duas sondas com água destilada, e introduziram-se os eléctrodos no copo de precipitação, e fez-se a leitura dos diferentes parâmetros em análise, visto que o equipamento usado para a análise é multi parâmetros.

O mesmo procedimento foi feito para a determinação dos mesmos parâmetros após o tratamento de água com recurso ao Destilados Solar.

Os ensaios foram feitos na Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane- Departamento de Engenharia Química. Todas as análises foram feitas com recurso à conductímetro, que é um medidor portátil HQ40D, kit de campo, para controle médio ambiental. Este equipamento está ilustrado na Figura 19.



Figura 19 — Representação do potenciômetro (Conductímetro).

4 Resultados e Discussão

Nos primeiros dias dos ensaios, analisou-se o comportamento do destilador e possíveis melhorias, onde foi observado que havia muitas perdas de calor, bem como a água tratada que esta escoria pelo vidro cobertor e não chegava ao colector. Assim, aumentou-se o insolamento do sistema, o tamanho do colector e a sua inclinação. Após os arranjos, o sistema começou a apresentar resultados positivos e satisfatórios.

Os resultados das composições fisico-química de cada parâmetro da água bruta e da água tratada, estão apresentados abaixo onde é possível verificar as variações dos parâmetros TDS, Conductividade Electrica, Salinidade, OXigenio Dissolvido e Temperatura medidos antes e depois da dessalinização.

4.1 Solidos dissolvidos totais

De acordo com (Gaio S. S., 2016), a água com concentração de STD, situados no intervalo de 5000-15000 mg/L é classificada como sendo água moderadamente salubre. A água bruta em tratamento apresenta-se no mesmo intervalo, sendo esta no valor 9240-9440 [mg/L], assim sendo, a água em estudo é moderadamente salubre.

De acordo com o decreto nº 180/2004 de 15 de setembro, que rege sobre a qualidade da água para o consumo humano, o limite máximo dos Sólidos Totais Dissolvidos admissível é de 1000 mg/L. A Tabela 4 abaixo da água tratada, mostra o limite médio em 110,70 mg/L o que mostra estar dentro dos padrões estabelecidos.

Tabela 4 — Representação dos diferentes valores dos parâmetros da água bruta e a tratada.

	19.08.22	19.08.22	23.08.22	25.08.22	29.08.22	29.08.22	06.09.22
Parâmetros	Bruta	Tratada	Tratada	Tratada	Bruta	Tratada	Tratada
Salinidade (%)	9,79	0,20	0,8	0,11	9,57	0,10	0,07
TDS (mg/L)	9440,00	191,60	81,4	107,80	9240,0	99,8	73,0
EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	16680,00	416,00	175,0	226,00	16350	209,6	105,4
DO (mg/L)	8,46	8,44	9,12	6,79	8,0	7,61	5,3
T. da água ($^{\circ}\text{C}$)	23,90	23,20	23,9	30,2	-----	29,9	24,5

4.2 Conductividade Eléctrica

De acordo com o decreto nº 180/2004 de 15 de setembro, que rege sobre a qualidade da água para o consumo humano, o limite máximo da C.E admissível está no intervalo de 50-2000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ e a Tabela 4 da água tratada está com o valor médio de 226,4 [$\mu\text{s}/\text{cm}$], e este valor encontra-se dentro dos limites recomendados.

4.2.1 Salinidade

A classificação das águas doce, salobra e salinas é essencial à defesa de seus níveis de qualidade, trazendo seus limites de salinidade de cada classe.

A água doce, para merecer tal nome, não deve ter mais do que 0,5% de sal, segundo a Organização Mundial de Saúde. Se ultrapassar essa marca, passa a chamar-se “salobra”, e se for além de 30%, “salina. A água bruta em análise, possui uma salinidade de 9,57 a 9,79%, o que de acordo com essa informação

acima, a torna em água salobra por estar acima dos 5%. Quanto a água tratada, esta situa-se 0,07 a 0,11, o que a torna doce.

4.2.2 Oxigénio Dissolvido

O valor mínimo de oxigénio dissolvido (OD) para a preservação da vida aquática, estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 é de 5,0 mg/L, mas existe uma variação na tolerância de espécie para espécie, e a OMS recomenda valores de 6,5-8 mg/L. No caso em análise, a água tratada apresenta o valor de OD médio de 7,4 mg/L, acima do mínimo exigido pelos organismos reguladores.

As variações dos valores de OD na água, devem-se a variação da temperatura e da material poluidora.

4.2.3 Percentagem de Reduções

A Tabela 5, mostra as reduções em termos percentuais dos valores dos parâmetros da água bruta para tratada, em cada fase. As reduções são referente aos parâmetros que interferem na salinidade da água onde mostram a eficiência do destilador solar numa média de 99%, o que é muito satisfatório.

Como ilustra a Tabela 5, na primeira amostra tratada, os parâmetros Salinidade, TDS e CE, foram reduzidos os seus teores até 98%. Na segunda amostra de água tratada foram reduzidos até 92% e os demais teores foram reduzidos em 99% em todas fases de tratamento.

Tabela 5 – Reduções em termos percentuais dos valores parâmetros da água bruta para tratada.

	Tratada 1	Tratada 2	Tratada 3	Tratada 4	Tratada 5
Salinidade (%)	98	92	99	99	99
TDS (%)	98	99	99	99	99
C.E (%)	98	99	99	99	99

4.3 Representação Gráfica em Amostras de Água Salubre e Água Tratada.

O Gráfico 4 mostra a representação dos teores de salinidade da água bruta e da tratada em percentagem, onde a água bruta encontra se próximo à 10% e a tratada no intervalo de 0,07% a 0,8%.

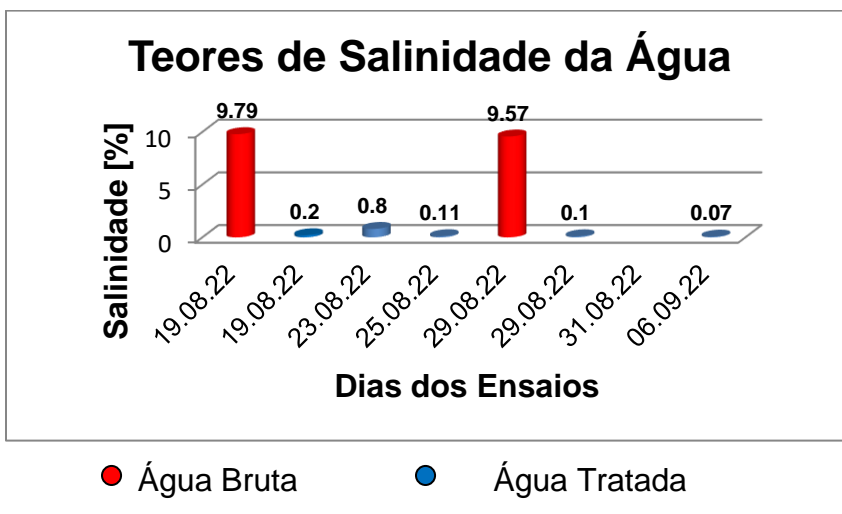
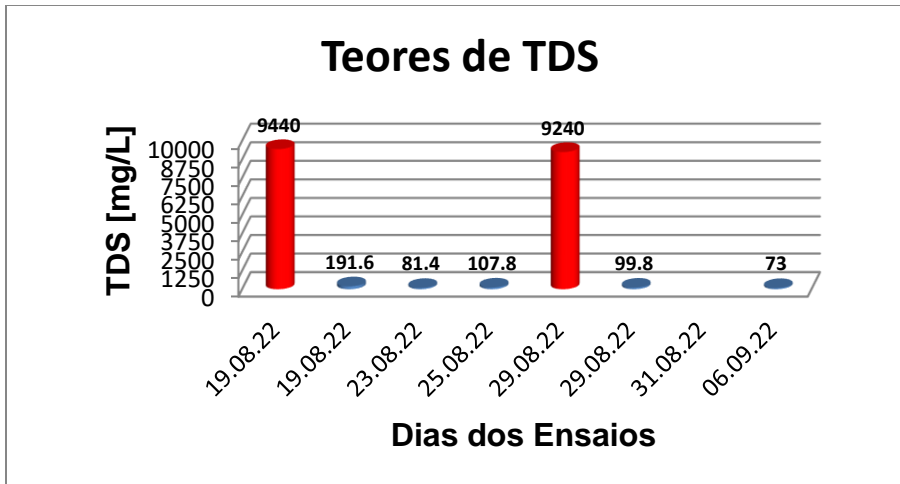


Gráfico 4 – Representação dos teores de salinidade.

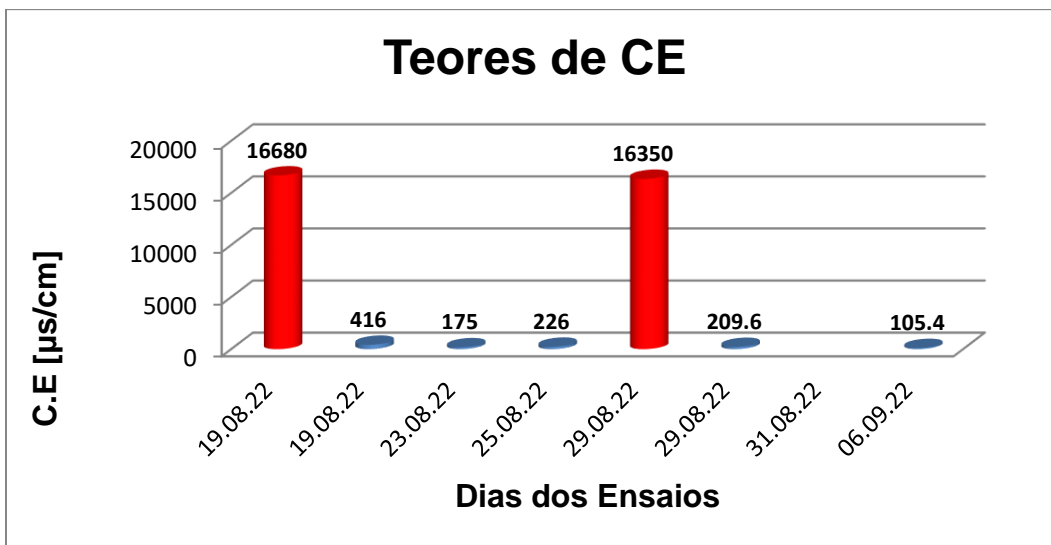
No Gráfico 5 estão representados os valores dos TDS, que ilustram claramente a variação após tratamento da água.



● Água Bruta ● Água Tratada

Grafico 5 — Representação dos teores de STD.

O Gráfico 6 ilustra a variação dos valores da condutividade eléctrica antes e depois da sua dessalinização. Os valores da condutividade eléctrica na água bruta como ilustra o gráfico, estão acima dos 16000 $\mu\text{s/cm}$ e da água tratada estão abaixo de 200 $\mu\text{s/cm}$, o que mostra a grande eficiência do destilador solar.



● Água Bruta ● Água Tratada

Grafico 6 — Variação dos valores da condutividade eléctrica antes e depois da dessalinização.

O Gráfico 7, mostra os teores do OD na água bruta, bem como na água tratada, e elas não apresentam muita variação, isto é, todos os valores estão situados acima de 5 mg/L que é o mínimo recomendado.

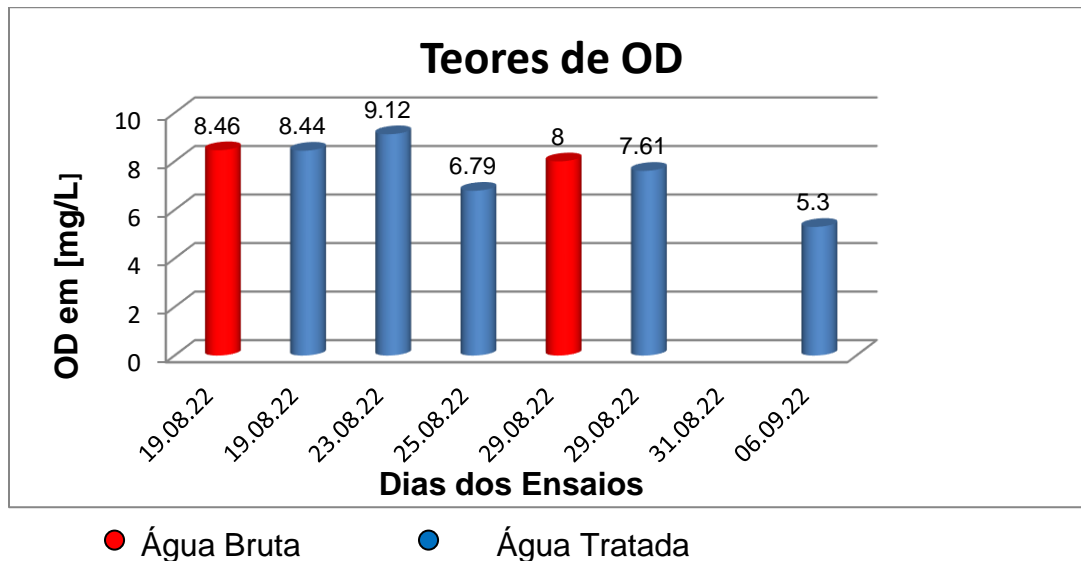


Grafico 7 – Representação do od na água bruta n a dessalinizada.

4.4 Rendimento Volumétrico da Água Tratada

A média diária de água tratada foi de 74,2 ml/dia, numa área de um destilador de 0,18 m², o que corresponde a 0.41 L/m²*dia.

Segundo (Soares, 2004), num dia com uma temperatura ambiente de 30°C, um destilador com bom isolamento produz 3 a 4 L/m²-dia de água tratada. Neste contexto, o rendimento volumétrico diário produzido foi baixo, mas este pode ser melhorado, porque o destilador usado não aproveitava a radiação solar na maior parte do dia, apenas conseguia boa produção da água destilada no intervalo das 10 horas até 16 horas e o período noturna pode-se considerar um período quase morto na produção de água destilada. Esse cenário todo pode ser melhorado com a construção dum destilador piramidal ou cônico, na qual pode-se aproveitar a radiação solar em todos ângulo de inclinação desde o nascer do sol até o final do dia.

Embora a quantidade de água produzida não seja muito satisfatória, a água tratada foi de boa qualidade.

Os dados das temperaturas do ambiente estão expostos na Tabela 6, que ilustra a variação média de temperatura ao longo dos dias dos ensaios da dessalinização solar.

A Tabela 6 apresenta diferentes volumes da água produzida a cada 48 horas, durante 12 dias, a água foi produzida (dessalinizada) durante 12 dias e a tempo inteiro, a diferentes temperaturas, tendo como volume máximo 210 mL durante 48 horas, e como mínimo 10 mL durante 48 horas.

A variação brusca no volume de 10 mL, deveu-se a uma queda brusca de temperatura, tendo registado dois dias de baixa temperatura.

Tabela 6 — Temperaturas da água durante o processo de destilação

Dia	Temp.Médi a ambiente (°C)	Produção de água (mL/48h)	Médi a diária	Condições climáticas
19.08.22	24	130	82,5	Céu limpo
23.08.22	23	200		Céu parcialmente limpo
25.08.22	22	200	85	Céu limpo com ventos fortes
29.08.22	25	140		Céu parcialmente limpo
31.08.22	18	10	55	Céu completamente nublado, com baixa temperatura
06.09.22	26	210		Céu limpo, vento moderado com Humidade de 56%

5 Conclusões e recomendações

5.1 Conclusão

De acordo com os parâmetros analisados após a dessalinização, conclui-se que o método de dessalinização utilizando destilador solar é eficiente para o tratamento da água para o consumo Humano, e que a água apresenta-se dentro dos limites estabelecidos pelo decreto nº 180/2004 de 15 de Setembro, MISAU e OMS. As análises físico-químicas dos parâmetros, apresentam uma redução dos teores de TDS, Salinidade, condutividade eléctrica, no valor de aproximadamente 99 %.

Os sólidos totais dissolvidos na água consistem de sais inorgânicos e materiais dissolvidos que geralmente compõem 95% ou mais do peso de sólidos totais na água. Em águas naturais, os sais são compostos químicos compreendidos entre ânions, tais como os carbonatos, cloretos, sulfatos e nitratos e, cátions tais como o sódio, o potássio, o cálcio e o magnésio (Sampaio, 2016). Devido a essa relação, e por essa técnica de dessalinização solar demonstrar a remoção dos TDS em 99%, pode-se concluir que os demais sólidos relacionados com TDS foram removidos na mesma proporção.

A média diária da água tratada foi de 74,2 ml/ dia, numa área de um destilador de 0,18 m², o que corresponde a 0.41L/m²*dia. Esses resultados mostram que o rendimento do destilador foi muito baixo, comparado com outros estudos anteriores que mostram que um bom destilador com um bom isolamento produz 3 a 4 L/m²*dia de água tratada. Mas este rendimento pode ser melhorado, porque o destilador usado não aproveitava a radiação solar em todos ângulos e em todas horas do dia, apenas foi aproveitada a radiação solar num único ângulo e era maximizada no intervalo das 10 horas às 16 horas e as horas nocturnas podem ser consideradas mortas.

5.2 Recomendações

Para futuros trabalhos visando dar continuidade e ou melhoramento a este trabalho de licenciatura ou outros similares recomenda-se:

- O uso do destilador solar de duplo efeito (dupla inclinação) e/ou piramidal, para maximizar o aproveitamento da radiação solar em todos ângulos;
- O estudo da eficiência dos dessalinizadores solares, de modo a avaliar sua viabilidade;
- Construção do dessalinizador com materiais diferentes dos materiais estudados neste trabalho, com o objectivos de avaliar as perdas de calor.

6 Bibliografia

1. Abdullahi ayegba, M. A., & Joshua, a. A. (2017). *Impacts Of Relative Humidity and Mean Air Temperature on Global Solar Radiatis of Ikeja*. Lagos- Nigeria.
2. Anirshu DevRoy, O. p. (2019). *Aplication of Software in Pridicting Thermal Behaviours of Solar Stills*. Jalpaiguri, India.
3. Araujo, P. A. (2011). *Dessalinizacao de aguas:o cenario atual brasileiro e suas projecoes*. Minas Gerais-Brasil.
4. Barbosa, C. N. (2018). *Dessalinizacao por membranas*. Minas Gerais.
5. Barbosa, C. N. (2018). *Dessalinizacao por membranas*. Minas Gerais.
6. Bezerra, M. A. (2004). *Desenvolvimento de um Destilador Solar para Tratamento de Agua de Producao de Petroleo na Agricultura e Geracao de Vapor*. Natal.
7. Bezerra, V. R. (2021). *Analse dos parametros construtivos no desempenho de dessalinizador solar*. Universidade Estadual da Paraiba , Brasil.
8. Carvalho, B. S. (11 de Setembro de 2020). *Dessalinizador solar com cobertura piramidal: aperfeicoamento e analse termica*.
9. Desal, S. (2015). *Dessalinizacao de agua salobra e/ou salgada*. Porto Alegre: Julio Betina Torri.
10. Fabiana Karla, P. V. (2020). *Dessalinizador Solar Protatel Para Aplicacao em comunidades no Rio Grande do Norte*. Brasil.
11. Fernandes, R. d. (2012). *Padroes de Potabilidade de Agua e Estacao de Tratamento de Agua*. Portugal: Universidade Regional do Cariri-URCA.
12. Gaio, S. S. (2016). *Producao de agua potavel por dessalinizacao: tecnologias, mercado e analse de viabilidade economica*. Lisboa.
13. Gaio, S. S. (2016). *Producao de agua potavel por dessalinizacao: tecnologias,mercado e analse de viabilidade economica*. Lisboa.
14. Guerreiro. (2009).
15. Guerreiro, M. L. (Julho de 2009). *Dessalinizacao para producao de agua potavel*. Porto.
16. Guevara, A. J. (2019). *Sustentabilidade de Agua Potavel e Saneamento* . São Paulo: Ponteficia Universidade Catolica de São Paulo.

17. Henthorne. (2009).
18. intelligence, G. w. (2007).
19. LUNA, F. M. (2016). *Desenvolvimento e testes de um dessalinizador solar com pre-aquecimento de agua. paraiba.*
20. MARIANO, H. Q. (2019). *Estudo de sistema de producao de agua potavel atraves do processo de destilacao solar.* Cabo-Verde: Instituto Superior de Engenharia do Porto.
21. Mariano, H. S. (2019). *Estudo de sistema de producao de agua potavel atraves do processo de destilacao solar.* Cabo Verde: Instituto Superior de Engenharia do Porto.
22. Mathu Manokar, M. W. (2019). *Effect of Insulation on Energy and Exergy Effectiveness of a Solar Photovoltaic Painel Incorporated Inclined Solar Still- An Experimental Investigation.* Chennai-India.
23. Miquidade, A. A. (2018). *Morfologia Urbana da Matola: Tendencias de crescimento da cidade.* Porto: Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
24. Oliveira, P. V. (2020). *Dessalinizacao solar portatil para aplicacao em comunidades rurais no rio grande do norte.* Porto Alegre: Universidade Federal rural do Semiardo.
25. Ramos, R. E. (Agosto de 2009). *Desenvolvimento de um Sistema Hibrido de Destilacao Solar para Tratamento de agua Produzida.* Natal.
26. Sampaio, C. M. (2016). *Dessalinizacao da agua atraves de paineis solares fotovoltaicos.*
27. Saùde, M. (2006). *Vigilancia e Controle da Qualidade da Agua para Consumo.* Brasil.
28. Saùde, F. N. (2014). *Controle da Qualide da agua para Tecnicos que trabalham em ETAS.* Brasil: Ministerio de Saude.
29. Silva, S. A. (2015). *Dessalinizacao: um dos metodos de se obter agua potavel.* Goiania: universidade Federal de Goias.
30. Silveira, A. P. (2015). *Dessalinizacao de aguas .* São Paulo.
31. Soares, C. (2004). *Tratamento De Agua Unifamiliar Atraves da Destilacao Solar Natural Utilizando Agua Salgada, Salobra e Doce Contaminada.* Brasil.

32. Torri, J. B. (2015). *Dessalinizacão de água salubre e / ou salgada: métodos, custos e aplicação*. Porto Alegre.
33. Torri, J. B. (2015). *Dessalinizacão de água salobra e / ou salgada: métodos, custos e aplicações*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
34. Torri, J. B. (2015). *Dessalinizacão de água salobra e /ou salgada: métodos, custos e aplicações*. Porto Alegre.
35. Torri, J. B. (Julho de 2015). *Dessalinizacão da água salubre e/ ou salgada: métodos, custos e aplicações*. Porto Alegre.
36. Uamusse, A. J. (2015). *Estudo da qualidade de água dos poços e furos para fins domésticos no distrito de Chigubo, província de Gaza*. Maputo.
37. Vale-Moçambique. (27 de Junho de 2014). *Dessalinizadora no projecto Corredor Nacala- iniciativa Vale*.
38. Vasconcelos, A. B. (2015). *Utilização de um Destilador Solar convencional para o tratamento de efluente de uma Agoindustria*. Madeira.
39. Water, G. (2007). *Global water intelligence*.

7 Anexos

Anexo 1 – Cálculo Estatístico da Salinidade.

		19.08.22	23.08.22	25.08.22		29.08.22	06.09.22	
		Bruta	Tratada	Tratada	Tratada	Bruta	Tratada	Tratada
Salinidade	1	9.8	0.2	0.8	0.1	9.57	0.1	0.07
	2	9.79	0.21	0.8	0.11	9.59	0.11	0.08
	3	9.79	0.19	0.8	0.1	9.56	0.11	0.07
Media		9.79	0.2	0.8	0.10	9.57	0.11	0.07
Desvio padrão		0.01	0.01	1.36*E-16	0.01	0.02	0.07	0.01

Anexo 2 – Cálculo Estatístico dos TDS.

		19.08.22	23.08.22	25.08.22		29.08.22	06.09.22	
		Bruta	Tratada	Tratada	Tratada	Bruta	Tratada	Tratada
TDS	1	9440	191.61	81.4	107.82	9240	99.7	73
	2	9443	191.59	81.4	107.8	9240	99.9	73
	3	9437	191.59	81.5	107.79	9241	99.9	73.1
Media		9440	191.60	81.43	107.80	9240.33	99.83	73.03
Desvio padrão		3	0.01	0.058	0.02	0.58	0.12	0.06

Anexo 3 — Cálculo Estatístico do CE.

Dias dos Ensaio		19.08.22	19.08.22	25.08.22	23.08.22	29.08.22	29.08.22	06.09.22
Amostras de água		Bruta	Tratada	Tratada	Tratada	Bruta	Tratada	Tratada
DO	1	8.46	8.44	9.11	6.78	8.0	7.6	24.5
	2	8.46	8.45	9.11	6.75	8.0	7.61	24.5
	3	8.47	8.44	9.13	6.79	7.9	6.61	24.6
Media		8.46	8.44	9.12	6.77	8.0	7.61	24.53
Desvio padrão		0.01	0.01	0.01	0.02	0.006	0.01	0.06

Anexo 4 — Cálculo Estatístico do DO

Dias dos Ensaio		19.08.22	19.08.22	23.08.22	25.08.22	29.08.22	06.08.22	06.09.22
Amostras de água		Bruta	Tratada	Tratada	Tratada	Bruta	Tratada	Tratada
CE	1	16991	415	175	226	16351	209.4	105.3
	2	16680	415	175	225	16350	209.5	105.2
	3	16680	418	174	227	16350	209.8	105.6
Media		16783.67	416	174.67	226	16350.33	209.57	105.37
Desvio padrão		179.56	1.73	0.58	1	0.58	0.21	0.21

Anexo 5 — Cálculo Estatístico da Temperatura.

Dias dos Ensaio		19.08.22	19.08.22	23.08.22	25.08.22	29.08.22	29.08.22	06.09.22
Amostras de água		Bruta	Tratada	Tratada	Tratada	Bruta	Tratada	Tratada
TEMPERATURA	1	23.9	23.2	23.9	30.2	29.9	29.9	24.4
	2	23.9	23.2	23.8	30.1	29.8	29.9	24.5
	3	23.3	23.2	23.9	30.2	29.9	29.8	24.5
Media		23.7	23.2	23.87	30.17	29.9	29.87	24.47
Desvio padrão		0.35	0.00	0.006	0.06	0.06	0.006	0.06