



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

KARYNA STEFFANE DA SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO DE DESSALINIZADORES VIA
ENERGIA SOLAR PARA POTABILIZAÇÃO DE ÁGUAS SALOBRAS**

**CAMPINA GRANDE - PB
2021**

KARYNA STEFFANE DA SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO DE DESSALINIZADORES VIA
ENERGIA SOLAR PARA POTABILIZAÇÃO DE ÁGUAS SALOBRAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Área de concentração: Tratamento de águas.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Antônio Pereira de Lima

**CAMPINA GRANDE - PB
2021**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586a Silva, Karyna Steffane da.
Análise comparativa do desempenho de dessalinizadores via energia solar para potabilização de águas salobras [manuscrito] / Karyna Steffane da Silva. - 2021.
52 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia , 2021.

"Orientação : Prof. Dr. Carlos Antônio Pereira de Lima , Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Dessalinização. 2. Energia solar. 3. Qualidade da água.
4. Tratamento de água. I. Título

21. ed. CDD 628.167

KARYNA STEFFANE DA SILVA

ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO DE DESSALINIZADORES VIA
ENERGIA SOLAR PARA POTABILIZAÇÃO DE ÁGUAS SALOBRAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia
Sanitária e Ambiental da Universidade
Estadual da Paraíba, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Sanitária e Ambiental.

Área de concentração: Tratamento de água.

Aprovada em: 23/ 09/ 2021.

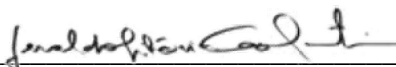
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Carlos Antônio Pereira de Lima (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dra. Keila Machado de Medeiros (Examinador Externo)
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)



Profa. Dra. Geralda Gilvânia Cavalcante (Examinador Interno)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

CAMPINA GRANDE - PB
2021

A Deus, minha família e amigos por estarem
sempre comigo, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por ter me sustentado até aqui, sendo a base da minha vida.

A meus pais Rejane e José por todo suporte durante esses anos, como também minhas irmãs Kelly e Dillyane e seu esposo, meu cunhado Alyson, por todo apoio e incentivo durante toda a minha vida pessoal e acadêmica, sendo agentes motivadores para busca de maiores sonhos e objetivos.

Ao meu namorado, Gabriel Roberto que esteve comigo durante todo esse tempo, por toda paciência e incentivo, por estar comigo em todos os momentos. Gratidão em poder encerrar essa etapa das nossas vidas juntos.

Aos meus amigos do IFPB, em especial Camila, Gabriella, Samuel, Fábio, Eliete, Jennefer e Rodrigo por todo o incentivo e amizade durante todos esses anos e por estarem presentes em minha vida até hoje. #!/bin/bash.

Aos meus amigos da turma 2016.1 do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental por toda amizade, companheirismo e compreensão, em especial Camylla, Gabriel, Allisson, Patrícia, Marcelo e Taís por toda paciência, parceria e dedicação que tivemos um com os outros, que nossa amizade perdure para além da graduação.

A minhas avós Alzira Frazão e Inácia Maria (*in memoriam*).

Aos professores do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UEPB que contribuíram ao longo desses mais de 5 anos com seus conhecimentos e profissionalismo.

Ao meu orientador, Carlos Antônio, que esteve comigo na maior parte da minha graduação se tornando um amigo, me incentivando e dando o suporte necessário nessa trajetória com toda sua paciência e conhecimento.

Ao Grupo de Pesquisa em Tratamento Avançados em Águas – GRUTAA por todo o apoio em minhas pesquisas, em especiais as grandes pesquisadoras e amigas Camylla Barbosa, Maria Karolina e Yohanna Jamila que estiveram comigo em todos os momentos de minhas pesquisas, auxiliando em todos os aspectos necessários.

“Escolhamos viver como se este fosse o nosso último momento aqui, amando com mais profundidade, sendo mais prontos a perdoar [...]” – JMS

RESUMO

A escassez hídrica é um problema que atinge o mundo todo, já que a maior parcela de água disponível é salgada e imprópria para consumo humano. Logo, caminhos para o aproveitamento desse tipo de água têm sido desenvolvidos. A dessalinização via energia solar é uma alternativa promissora para regiões com alta incidência de radiação solar, já que se trata de uma fonte energética considerada limpa. Essa tecnologia é um método antigo, mas que vem se inovando com novos modelos de dessalinizadores. Logo a presente pesquisa faz uma análise comparativa do desempenho entre modelos que possuem a mesma área de exposição solar, mas formatos diferentes, um dessalinizador passivo do tipo pirâmide e o dessalinizador passivo do tipo dupla inclinação. Para realizar o comparativo, os dessalinizadores foram operados nos mesmos dias, horários e condições climáticas. Ao passar pelo processo de dessalinização, os equipamentos apresentaram produtividades médias significativas, sendo de 2508,0 mL.m⁻².dia⁻¹ para o dessalinizador tipo pirâmide e 2329,0 mL.m⁻².dia⁻¹ para o tipo dupla inclinação. Foi verificada a qualidade físico-química da água antes e depois do processo, obtendo reduções expressivas. A alcalinidade foi reduzida em 99,60% em comparação a água bruta, 99,99% de redução no teor de cloretos e com nível máximo de redução para dureza, 100%. Para a condutividade elétrica, verificou-se redução máxima de 99,90% e turbidez de 50%. Já para o sódio, foi constatada a redução total de 100%. Portanto, ficou constatado que os dois dessalinizadores apresentaram potencial para uso, pois todos os valores dos parâmetros físico-químicos obtidos após o tratamento realizado atenderam aos padrões de potabilidade da portaria vigente em relação a qualidade da água obtida. Além disso, os modelos se apresentam como alternativas viáveis e de baixo custo para serem aplicados em pequenas comunidades das regiões do semiárido brasileiro.

Palavras-Chave: Dessalinização. Energia solar. Qualidade da água.

ABSTRACT

Water scarcity is a problem that affects the entire world, since the largest portion of available water is salty and unfit for human consumption. Therefore, ways to use this type of water have been developed. Desalination via solar energy is a promising alternative for regions with a high incidence of solar radiation, as it is an energy source considered to be clean. This technology is an old method, but one that has been innovating with new models of desalinators. Therefore, this research makes a comparative analysis of the performance between models that have the same area of sun exposure, but different formats, a pyramid-type passive desalinator and a double-slope passive desalinator. To carry out the comparison, the desalinators were operated on the same days, times and weather conditions. When going through the desalination process, the equipments presented significant average productivity, being $2508.0 \text{ mL.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$ for the pyramid-type desalinator and $2329.0 \text{ mL.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$ for the double type inclination. The physicochemical quality of the water was verified before and after the process, obtaining expressive reductions. Alkalinity was reduced by 99.60% compared to raw water, 99.99% reduction in chloride content and with maximum level of reduction for hardness, 100%. For electrical conductivity, there was a maximum reduction of 99.90% and turbidity of 50%. As for sodium, a total reduction of 100% was found. Therefore, it was found that the two desalinators had potential for use, as all the values of the physical-chemical parameters obtained after the treatment carried out met the potability standards of the current ordinance in relation to the quality of the water obtained. Furthermore, the models are presented as viable and low-cost alternatives to be applied in regions of the Brazilian semiarid region.

Keywords: Desalination. Solar energy. Water quality.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Disponibilidade hídrica no mundo..... | 14 |
| Figura 2 - Região semiárida..... | 16 |
| Figura 3 - Polígono das secas. | 17 |
| Figura 4 - Irradiação solar. | 17 |
| Figura 5 - Esquema do princípio da dessalinização da água. | 19 |
| Figura 6 - Destilação solar..... | 21 |
| Figura 7 - Dessalinizador passivo tipo dupla inclinação e dimensões. | 25 |
| Figura 8 - Dessalinizador passivo tipo dupla inclinação. | 26 |
| Figura 9 - Dessalinizador passivo tipo pirâmide e dimensões..... | 26 |
| Figura 10 - Dessalinizador passivo tipo pirâmide. | 27 |
| Figura 11 – Termopares..... | 28 |
| Figura 12 – Radiômetro..... | 28 |
| Figura 13 - Sistema experimental de dessalinização. | 29 |
| Figura 14 - Perfis de temperatura em função da radiação solar para o dia 26 de novembro.... | 31 |
| Figura 15 - Perfis de temperatura em função da radiação solar para o dia 27 de novembro.... | 32 |
| Figura 16 - Perfis de temperatura em função da radiação solar para o dia 28 de novembro.... | 32 |
| Figura 17 - Perfis de temperatura em função da radiação solar para o dia 02 de dezembro | 33 |
| Figura 18 - Produção instantânea de água para o dia 26 de novembro | 34 |
| Figura 19 - Produção instantânea de água para o dia 27 de novembro | 35 |
| Figura 20 - Produção instantânea de água para o dia 28 de novembro | 35 |
| Figura 21 - Produção instantânea de água para o dia 02 de dezembro..... | 35 |
| Figura 22 - Produção acumulada de água para o dia 26 de novembro | 36 |
| Figura 23 - Produção acumulada de água para o dia 27 de novembro | 37 |
| Figura 24 - Produção acumulada de água para o dia 28 de novembro | 37 |
| Figura 25 - Produção acumulada de água para o dia 02 de dezembro | 38 |
| Figura 26 - Perfis de temperatura e água dessalinizada – Dupla inclinação 26 de novembro . | 50 |
| Figura 27 - Perfis de temperatura e água dessalinizada – Pirâmide 26 de novembro | 50 |
| Figura 28 - Perfis de temperatura e água dessalinizada – Dupla inclinação 27 de novembro . | 50 |
| Figura 29 - Perfis de temperatura e água dessalinizada – Pirâmide 27 de novembro | 51 |
| Figura 30 - Perfis de temperatura e água dessalinizada – Dupla inclinação 28 de novembro . | 51 |
| Figura 31 - Perfis de temperatura e água dessalinizada – Pirâmide 28 de novembro | 51 |
| Figura 32 - Perfis de temperatura e água dessalinizada – Dupla inclinação 02 de dezembro.. | 52 |
| Figura 33 - Perfis de temperatura e água dessalinizada – Pirâmide 02 de dezembro..... | 52 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Produtividade e radiação média. | 38 |
| Tabela 2 - Parâmetros analisados para o dia 26/11. | 39 |
| Tabela 3 - Parâmetros analisados para o dia 27/11. | 40 |
| Tabela 4 - Parâmetros analisados para o dia 28/11. | 40 |
| Tabela 5 - Parâmetros analisados para o dia 02/12. | 41 |

Sumário

| | | |
|---------|---|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 11 |
| 2. | OBJETIVOS | 13 |
| 2.1 | Objetivo geral | 13 |
| 2.2 | Objetivos específicos | 13 |
| 3. | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 14 |
| 3.1 | Recursos Hídricos – Panorama no Brasil e no Mundo | 14 |
| 3.2 | Seca no Brasil | 15 |
| 3.3 | Energia e Radiação Solar | 17 |
| 3.4 | Dessalinização | 18 |
| 3.4.1 | Processos Térmicos | 20 |
| 3.4.1.1 | Destilação Solar | 20 |
| 3.5 | Fatores que Afetam o Processo de Dessalinização Solar | 21 |
| 3.6 | Qualidade da Água | 22 |
| 4. | METODOLOGIA | 24 |
| 4.1 | Construção e Descrição do Dessalinizador | 24 |
| 4.2 | Dessalinizador 1 – Dessalinizador Passivo Tipo Dupla Inclinação | 25 |
| 4.3 | Dessalinizador 2 – Dessalinizador Passivo Tipo Pirâmide. | 26 |
| 4.4 | Teste de Desempenho | 27 |
| 4.5 | Operação dos Equipamentos | 27 |
| 4.6 | Análise térmica nos dessalinizadores | 29 |
| 4.7 | Cálculo do Percentual de Redução dos Parâmetros Físico-Químicos | 29 |
| 5. | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 31 |
| 5.1 | Intensidade de Radiação Solar e Perfis de Temperatura | 31 |
| 5.2 | Produção Instantânea de Água Dessalinizada | 33 |
| 5.3 | Produção Acumulada de Água Dessalinizada | 36 |
| 5.4 | Avaliação da Qualidade do Destilado – Análise Físico-Química | 39 |
| 6. | CONCLUSÕES | 44 |
| | REFERÊNCIAS | 45 |
| | APÊNDICE A – Figuras referentes a associação dos perfis de temperatura e água dessalinizada e instantânea para os dessalinizadores estudados. | 50 |

1. INTRODUÇÃO

O ser humano faz uso e exploração de diversos elementos naturais fornecidos muitas vezes facilmente pelo planeta e um desses elementos é a água que é uma peça fundamental do dia a dia do ser humano para sua manutenção e sobrevivência. A água é um recurso natural vital e a sua adequada gestão é um componente fundamental da política ambiental (JACOBI; GRANDISOLI, 2017). A água é imprescindível à saúde das populações e constitui um fator determinante do saneamento básico (BRITO et al., 2020).

Contudo, apesar de toda a importância que a água representa para o ser humano, a sua escassez tem sido um problema debatido e crescente com o passar dos anos, sendo essa carência ligada a diversos fatores, desde as características regionais até as atividades antrópicas. Com isso tomar consciência sobre a importância da água e dos recursos hídricos para o planeta e, acima de tudo, sobre a condição em que estes se encontram hoje, apresenta-se como um evento necessário e inadiável para toda a sociedade (JANNUZZI et al., 2020).

O aumento populacional tem sido um fator relevante a ser considerado no consumo de água, visto todos os habitantes que já se tem no planeta e o crescimento que se pode chegar, é ponderado o aumento expressivo nas demandas de água e energia para suprir as necessidades de toda essa população. Ao longo dos últimos anos, foi constatado que o consumo de água cresceu duas vezes mais do que a população e a estimativa é de que a demanda ainda se eleve para 55% até 2050 (JACOBI; GRANDISOLI, 2017). Além disso, há o desafio de se obter água em áreas remotas que tem sido considerado um dos fatores mais críticos a ser enfrentados pelo consumo humano e pelas necessidades da agricultura (CARDOSO et al., 2020).

O planeta apresenta um volume aproximado de 1,4 bilhões de quilômetros cúbicos de água e de acordo com Tundisi (2003) 97,5% desse volume é encontrado nos mares, sendo caracterizada como salgada e conseqüentemente não adequada para o consumo humano. Do volume restante dessa parcela ainda se tem as águas subterrâneas que em sua maioria também se apresentam inadequadas para consumo por seu teor elevado de sais dissolvidos. Visto que na natureza tem-se um volume de água salgada em abundância, cada vez mais faz-se necessário raciocinar sobre melhores maneiras e técnicas de transformar esse tipo de água em uma água doce (SILVA; QUIRINO, 2020).

Das regiões que sofrem com a falta de recursos hídricos no Brasil um dos locais mais expressivo para tal é a região Nordeste, que tem como característica cerca de 50% de seu solo

e subsolo o predomínio de rochas cristalinas, com muito desses solos sendo rasos, pedregosos, apresentando baixos valores de porosidade e com baixa permeabilidade, acarretando em uma circulação mais lenta dos fluídos tendo com resultado um maior tempo de permanência das águas em contato com corpo cristalino que por sua vez é rico em sais, fazendo com que haja uma maior salinização das águas locais, afetando por fim as águas dos poços perfurados nessa região por apresentar altos índices de sais minerais (PESSOA et. al, 2019).

Logo, há o aproveitamento dessas águas através dos processos de dessalinização que podem ser naturalmente, por meio do ciclo hidrológico, mecânicos ou por meio de sistemas implantados. A dessalinização vem como uma fonte expressiva de crescimento para obtenção de água e de acordo com Katz (2021), em 2018 o número de usinas de dessalinização já passava de 20.000 em mais de 150 países.

Outro recurso disponível, mas abundante, é a energia solar. O semiárido brasileiro é o mais chuvoso do planeta, com pluviosidade média de 750 mm.ano^{-1} (CARDOSO et. al, 2020). Essa região tem como característica uma incidência de radiação solar predominante na maioria do ano, com climas quentes, secos e prolongados, além de altas temperaturas, baixas amplitudes térmicas, altas taxas de evapotranspiração e baixas taxas de precipitação pluviométricas, o que leva a baixa disponibilidade de água de rios (CAVALCANTE, et. al., 2019; ANA, 2015).

Considerando esses fatores, a dessalinização via energia solar vem como grande aliado dessas regiões com as características mencionadas. Essa técnica já é conhecida e propagada em lugares oportunos, sendo melhorada no decorrer dos anos com a criação de novos modelos para que haja um melhor aproveitamento. Esse processo visa reduzir ou remover a concentração de sais dissolvidos em águas salobras e salgadas inicialmente, transformando-a em uma água doce e potável.

Conhecendo a importância da implantação dessa tecnologia, o presente trabalho apresenta os resultados dos estudos de dessalinizadores via energia solar de mesma área, mas com formatos diferentes, analisando seu comportamento considerando os vários fatores de influência nas condições climáticas características do semiárido brasileiro.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho apresenta a construção e análise comparativa do desempenho de sistemas de dessalinização solar do tipo passivo com áreas iguais e formatos diferentes.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Montagem dos sistemas de dessalinização de água, um do tipo pirâmide e outro do tipo telhado;
- ✓ Verificar a influência dos parâmetros construtivos no rendimento dos dessalinizadores;
- ✓ Avaliar a eficiência térmica dos dessalinizadores solar propostos na produção de água potável.
- ✓ Analisar a qualidade físico-química da água antes e após o processo de dessalinização.

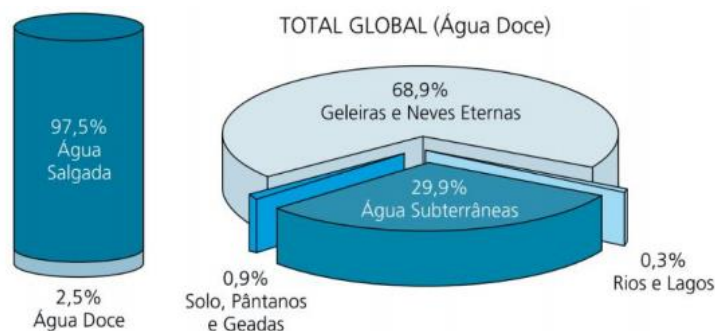
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Recursos Hídricos – Panorama no Brasil e no Mundo

Não é de hoje que a disponibilidade de recursos hídricos no planeta tem sido fator de preocupação em diversos contextos avaliados. A escassez de água tem atingido todo mundo e um dos fatores ligado a essa questão que deve ser considerada na gestão do consumo de água é o crescimento populacional, pois de acordo com as Organizações das Nações Unidas (ONU) a população global, que chegou a 7,7 bilhões de habitantes em 2019 ainda pode crescer para cerca de 8,8 bilhões em 2030, podendo crescer ainda para 9,7 bilhões em 2050 e atingindo a marca de 10,9 bilhões de habitantes no ano de 2100 (ONU, 2019). Considerando essas estimativas e o que já é contabilizado, os aumentos nas demandas de água e energia vem se tornando evidente, sendo necessário estratégias viáveis para suprir essas necessidades.

Mas o planeta contém recursos naturais poucos explorados que poderiam auxiliar na manutenção e bem estar do ser humano e um deles é justamente a água, pois é conhecido que há 1,4 bilhões de quilômetros cúbicos de água no planeta o que cobre 71% da superfície da Terra, correspondendo a $\frac{3}{4}$ da terra (VERIATO et al., 2015). Sendo a maioria desse volume constituído de água salgada, cerca de 97,5%, e imprópria para o consumo, a quantidade remanescente gira em torno de cerca de 2,5% corresponde a 24 milhões e 115 mil km³ e é enquadrada como doce, mas dessa porcentagem ainda se tem 68,9% de águas presas em geleiras e calotas polares. Desse percentual, o volume que resta é dividido entre águas subterrâneas, que corresponde a 29,9% ou 10 milhões e 465 mil km³, umidade do solo e pântanos com porcentagem de 0,9% e por fim 0,3% encontrados em rios e lagos, conforme ilustrado na Figura 1 (TUNDISI, 2003; VERIATO et. al., 2015; GAIO, 2016).

Figura 1 - Disponibilidade hídrica no mundo.



Fonte: GAIO, 2016.

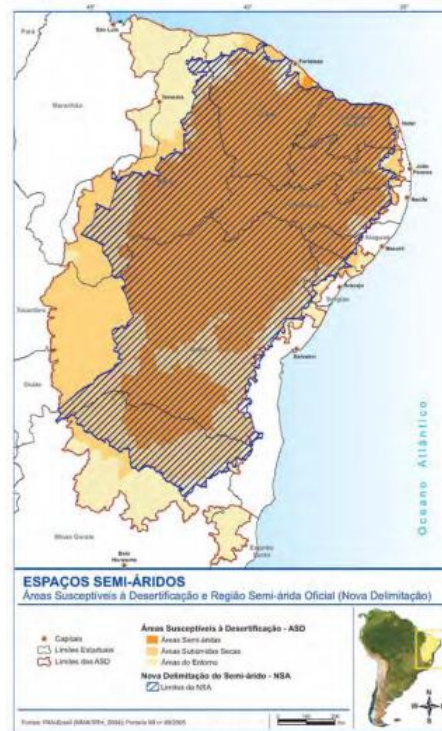
O Brasil possui cerca de 12% da água doce do mundo e ela não é distribuída de forma uniforme (CALDAS; CAMBOIM, 2017). A divisão desses recursos hídricos está fragmentada com sua maior parte localizada no Norte contendo 68,7% de águas, em seguida tem-se o Centro-Oeste com 15,7%, 12,5% para Sul e Sudeste e restando apenas 3,3% para a região Nordeste (ANA, 2010).

Essa parcela do recurso hídrico acessível ainda sofre influências negativas devido às consequências das ações antropogênicas, degenerações causadas por eventos climáticos extremos e outros fatores. A disponibilidade de água per capita tem diminuído constantemente em diversos locais do mundo (CARDOSO et al., 2020). Em decorrência desses diversos fatores que interferem no acesso igualitário à água, o Relatório Mundial de Desenvolvimento da Água da ONU indica que em 2010 cerca de 1,9 bilhão de pessoas, o que representa 27% da população mundial, estava em áreas com potencial de ser acometida pela escassez hídrica. Levando em consideração esses dados, esse número pode aumentar chegando a 5,7 bilhões de pessoas em 2050 afetadas pela falta de recursos hídricos (WWAP, 2018).

3.2 Seca no Brasil

Apesar do Brasil estar em uma posição privilegiada quanto a disponibilidade dos recursos hídricos algumas regiões ainda sofrem com a escassez hídrica como a região Nordeste, onde existem áreas em que a disponibilidade de água por habitante/ano é menor que 2.000 litros, volume mínimo recomendado pela ONU, a exemplo do estado de Pernambuco em que essa disponibilidade é de apenas 1067 litros de água por habitante/ano (SILVEIRA et al., 2015). O autor ainda enfatiza o fato de que a disponibilidade hídrica depende em boa parte do clima e as projeções apontam um declínio nas chuvas dessa região em até 20% no final do século XXI (VENANCIO et al., 2015). Com esses fatores o semiárido sofre a tendência de se tornar cada vez mais árido, como ilustra a Figura 2.

Figura 2 - Região semiárida.



Fonte: MMA (2007).

A falta dos recursos hídricos devido à baixa pluviométrica em locais mais secos e no Nordeste é muito presente, onde os estados dessa região são acometidos por essa condição e estas regiões afetadas, que compreende os estados de Alagoas, Bahia, Maranhão, Sergipe, Pernambuco, Ceará, Piauí, Rio Grande do Norte, Paraíba e o norte de Minas Gerais, em consonância com a Lei n.º 175/36 (revisada pela Lei 1.348 de 1951), foram delimitados como os limites da área denominada como Polígono das Secas como ilustrado na Figura 3 (SANTOS; SANTOS, 2018).

Ao aliar as evidências do esgotamento das fontes de água doce e os altos índices de radiação solar, fontes alternativas para a obtenção e aproveitamento das águas vem sendo desenvolvidas e uma delas é a dessalinização de águas onde através dessa tecnologia simples é possível obter uma água potável a partir de águas que antes se apresentam com índices de sais dissolvidos elevados.

Figura 3 - Polígono das secas.

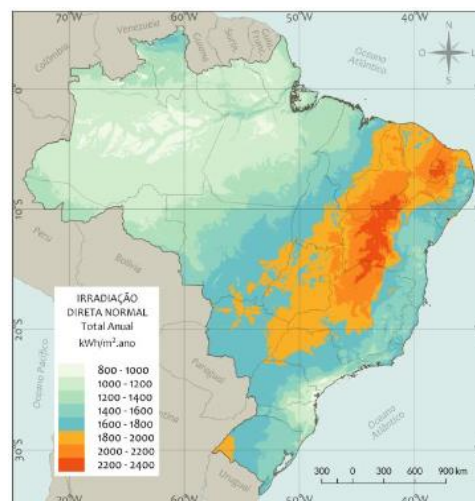


Fonte: SANTOS; SANTOS, 2018.

3.3 Energia e Radiação Solar

A região Nordeste e consequentemente o Polígono das Secas ainda é caracterizado pelos seus altos índices de incidência de radiação solar durante todo o ano, fazendo com que tais localidades sejam potenciais de grandes investimentos para tecnologias que utilizam como força motriz a energia solar. Na Figura 4 é possível observar os índices de irradiação direta nesta região.

Figura 4 - Irradiação solar.



Fonte: SANTOS; SANTOS, 2018.

A radiação solar pode ser aproveitada por meio da geração de energia térmica ou fotovoltaica, que de acordo com Eloy (2009) trata-se de uma fonte inesgotável, livre e não poluente. A radiação solar e sua consequente energia vem do sol, que se trata de uma enorme esfera gasosa em que o interior se apresenta com temperaturas da ordem de 15 milhões de graus centígrados em um estado físico do tipo plasma onde acontecem diferentes reações nucleares de fusão que acabam por libertar uma grande quantidade de energia que finaliza seu trajeto chegando à Terra na forma de radiação eletromagnética (VASCONCELOS, 2017).

A incidência de radiação solar tem destaque no Nordeste pois apresenta um dos melhores índices do mundo, recebendo anualmente valores na faixa entre 1700 e 2100 kWh.m⁻² (PINHO; GALDINO, 2014). Esses valores ainda se destacam ao serem comparados com radiações incidentes em países como a Alemanha que investe em energia solar e recebe um valor máximo de 1000 kWh.m⁻² (CARNAÚBA, 2020).

Atualmente a utilização da energia solar principalmente na região semiárida tem sido incentivada e tem contribuído com o desenvolvimento de diversas localidades com a utilização dessa fonte alternativa de energia. Uma das maneiras de utilização da energia solar é na destilação, de maneira a proporcionar meios de se obter água potável.

A intensidade da radiação solar tem um efeito importante no desempenho de dessalinizadores solares (RABADIA, 2015). A radiação solar que incide no dessalinizador é o parâmetro que causa a variação de temperatura dentro do equipamento ao longo da sua operação, logo quanto maior a incidência de radiação solar no dessalinizador maior será a temperatura verificada nele como um todo, principalmente em seu interior. Do mesmo modo, se a incidência for baixa a temperatura não irá se elevar, o que prejudica na produção de água dessalinizada.

Assim, a radiação solar está diretamente ligada às temperaturas verificadas no dessalinizador, sejam elas baixas ou altas, influenciando consequentemente no volume produzido de água. Como a radiação varia durante o dia, as temperaturas também variam, com isso a água do dessalinizador experimenta alterações em suas temperaturas e em seus estados, o que faz parte do processo.

3.4 Dessalinização

Desde a antiguidade coletar vapor úmido proveniente de águas salgadas, resfriar e usar para saciamento da sede é uma prática presente na humanidade, visto que também é um

fenômeno natural que faz parte do ciclo hidrológico quando acontece a evaporação da água salgada dos mares e oceanos para depois suceder a precipitação sobre a Terra e tem-se a reposição da água doce nos rios, lagos e aquíferos subterrâneos (SILVEIRA et al., 2015).

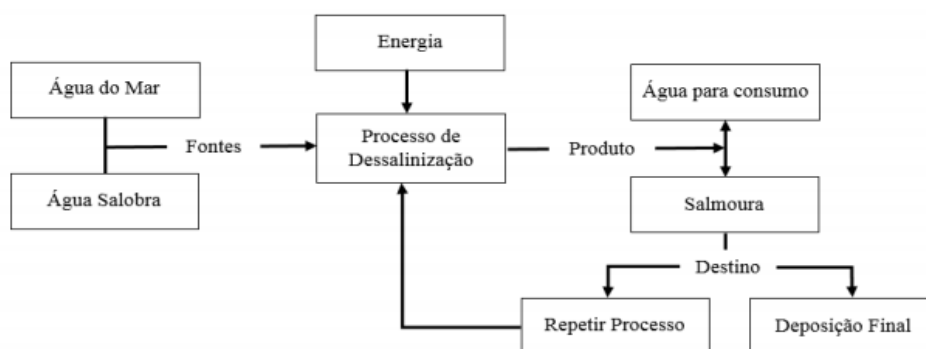
A tecnologia da dessalinização teve início de uso datado por volta do início do século XX e de acordo com alguns autores em 1914 houve a primeira planta de dessalinização no Kuwait, um dos países mais pobres em relação aos recursos hídricos com menos de $10 \text{ m}^3 \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (SILVEIRA et al., 2015).

Alguns países ainda se destacam pela implantação dessa tecnologia e um deles é Israel sendo considerado um pioneiro nessa área. A população do país consome quase o dobro da quantidade de chuva que precipita na região, mas apesar disso, os residentes dos locais recebem água 24 horas graças a técnica da dessalinização que é responsável por 70% da água doméstica utilizada (CANTÍDIO et al., 2018).

Atualmente o processo tem sido muito implantado e difundido, mas afinal o que é a dessalinização? De acordo com Gaio (2016) esse processo refere-se à obtenção de água doce e para consumo por meio da remoção ou redução da concentração de sais e sólidos dissolvidos presentes na água salgada. Além disso, com a aplicação desse método deve eliminar elementos químicos, biológicos e orgânicos. Essa técnica utiliza processos físico-químicos na retirada de sais e outros minerais da água (SILVA, 2020).

O princípio da dessalinização consiste na aplicação de uma força motriz, podendo ser ela eletricidade e/ou pressão que irá fazer com que sejam separadas as impurezas da água, sejam elas sais ou sólidos, para a obtenção da água doce. Ao final do processo tem-se a obtenção da água para consumo como também o concentrado ou rejeito. A Figura 5 ilustra a esquematização desse princípio da dessalinização.

Figura 5 - Esquema do princípio da dessalinização da água.



Fonte: GAIO, 2016.

Com o passar dos anos as técnicas de dessalinização foram avançando. Atualmente os processos de dessalinização são classificados de acordo com a fonte de energia que utilizam para realizar o processo, como também de acordo com o uso ou não das membranas para obtenção da água, esses processos podem também ser denominados como processos térmicos e processos através de membranas.

3.4.1 Processos Térmicos

De acordo com Elsaid et al. (2020) os processos térmicos de dessalinização baseiam-se na mudança de fase da água que imita o ciclo natural da água, onde ocorre a evaporação da água que mais tarde é condensado, resultando na mudança de fase de líquido para o vapor e posteriormente de volta para líquido como o produto final.

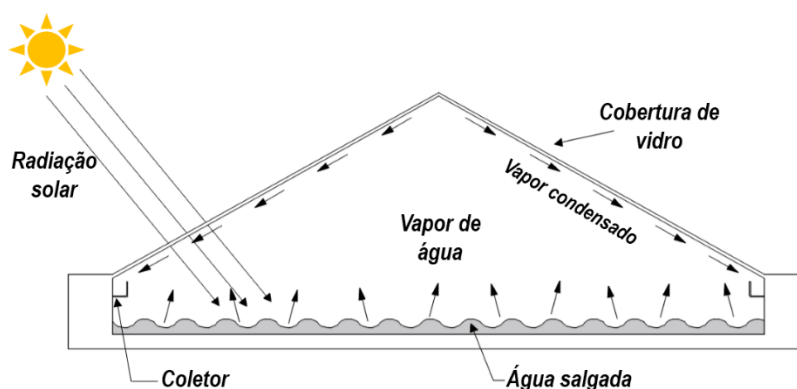
Dentre os processos térmicos, destacam-se os processos a seguir, onde neste trabalho será dado ênfase a destilação solar:

- Destilação múltiplo estágio - *Multi-Stage Flash* (MSF);
- Destilação múltiplo efeito – *Multi-effect distillation* (MED);
- Destilação por compressão de vapor – VC;
- Destilação solar.

3.4.1.1 Destilação Solar

A destilação solar reproduz o ciclo natural da água no planeta, onde em um tanque com uma lâmina rasa de água, coberto com um vidro ou certo material transparente, faz com que a luz solar atravesse o vidro transmitindo a radiação de baixo comprimento de onda e por consequência refletindo a radiação de grandes comprimentos de onda criando dentro do dessalinizador um efeito estufa. Essa ação provoca aquecimento da água, gerando vapores que, ao se condensarem na parte interna do vidro que apresenta uma temperatura mais baixa para tal, retornam ao estado líquido escoando as gotículas de água por gravidade ao longo da cobertura para um sistema de coleta e armazenamento (BRITO et. al., 2020; ABUJAZAR; FATIHAH; KABEEL, 2017). O que fica retido na bandeja ou tanque são impurezas e sais que de início estavam presentes na água bruta (CHEN, et. al., 2019). A Figura 9 representa ilustrativamente como acontece o processo de dessalinização.

Figura 6 - Destilação solar.



Fonte: Autor, 2020.

3.5 Fatores que Afetam o Processo de Dessalinização Solar

No processo de dessalinização solar é necessário avaliar todos os fatores que podem afetar a realização dessa técnica para obtenção de água de qualidade. Com isso, deve-se suceder com o levantamento de todas as condições que o dessalinizador pode ser submetido para examinar seus principais fatores que podem afetar por fim no rendimento do dessalinizador. Um dessalinizador solar é constituído basicamente por um tanque e uma cobertura de material transparente.

Ao se referir ao tanque, para sua construção é necessário selecionar materiais adequados, que deve ser à prova d'água, com sua superfície lisa para facilitar a limpeza e pintado de uma cor escura, proporcionando uma melhor absorção da radiação solar e transformando-a em calor (MALUF, 2005).

Para a cobertura também é necessário a escolha de materiais adequados, pois trata-se de parte fundamental do processo refletindo diretamente no rendimento e nesse caso é indicado a utilização de material transparente, sendo o mais apropriado o vidro temperado. Ainda de acordo com os autores, a escolha de um vidro com 3 mm de espessura obtém um aumento de 16,5% na produção se comparado com vidros de 6 mm. Essa cobertura deve ficar inclinada, com valores de inclinação entre 10° e 15° para evitar que as gotas de água condensadas desprendem do vidro e volte para o tanque, além de ser posicionado no sentido leste oeste com a finalidade de maximizar os ganhos solares no dessalinizador (MALUF, 2005).

Carvalho e Guerra (2019) ainda enfatizam que no processo de dessalinização pode ocorrer algumas perdas em decorrência da composição química do material, além disso cerca de 10% da radiação solar é refletida, como também há perdas por convecção de cerca 12,2% e condução de 16%.

Maluf (2005) menciona a velocidade do vento (efeito Bernoulli) e as diferenças de temperatura podem colaborar com o vazamento de valor que diminui o rendimento dos dessalinizadores, logo a eficiência máxima atingida não passa de 60%, ficando na faixa de 38% a 43%.

A área de dessalinização também se torna um fator de influência na dessalinização, pois quanto maior essa área de evaporação, maior será a produção diária de água dessalinizada (LUNA, 2016).

Pode-se ainda citar ainda fatores que afetam o processo de dessalinização a temperatura de entrada de água e a profundidade da lâmina de água. A radiação solar vem como a fonte energética desse processo, onde quando há o aumento da radiação solar tem-se um maior rendimento no dessalinizador (BEZERRA, 2021)

3.6 Qualidade da Água

Para se conhecer as propriedades de uma determinada água é necessário realizar sua caracterização, conhecendo suas características químicas, físicas e biológicas e para tal são definidos alguns parâmetros que representam esses aspectos. Tais medidas são referências utilizadas como indicadores da qualidade da água que ao atingirem valores superiores aos estabelecidos pela portaria vigente para determinado uso, são configuradas impurezas.

A água deve atender alguns requisitos básicos para ser considerada potável e passível de consumo humano e nesse caso existem algumas portarias, normas e resoluções que classificam e norteiam o uso da água e suas características.

De acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente n° 357 de 2005 (CONAMA, 2005) é definido os limites de salinidade para cada classe, onde:

- Águas doces: água com salinidade igual ou inferior a 0,5%;
- Águas salobras: águas com salinidade entre 0,5% e 30%;
- Águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30%.

Em alguns locais do mundo as águas de oceanos e mares conseguem atingir a faixa de níveis de sais dissolvidos que ultrapassam os 30%, sendo caracterizadas como águas salinas. Já as águas subterrâneas em alguns casos podem ser definidas como água salobra por apresentarem salinidades entre 0,5% e 30%.

Atualmente a portaria que delimita os padrões de valores máximos permissíveis aceitáveis para uma água ser considerável potável é a Portaria n° 888 de 4 de maio de 2021,

que dá fundamentação para o controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2021). Na portaria são presentes os valores dos parâmetros físicos e químicos necessários para se ter conhecimento da capacidade de potabilidade de uma água que podem ser provenientes de soluções alternativas de abastecimento de água, como no caso da dessalinização de águas. Essas águas devem seguir diretrizes básicas como, não possuir gosto e odor, não apresentar cor e turbidez elevados a ponto de ultrapassar os valores estabelecidos, não conter substâncias consideradas nocivas ou tóxicas, além de não haver a presença de microrganismos patogênicos.

4. METODOLOGIA

Inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico em relação a dessalinização, identificando quais os melhores parâmetros a serem analisados, alterados e utilizados. A instalação e operação dos experimentos foram realizados no Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais (LAPECA) no Centro de Ciências e Tecnologias (CCT), onde tem-se o Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA), alocados no Campus I da Universidade Estadual da Paraíba localizada no município de Campina Grande com coordenadas geográficas de 7° 13' 51" para a latitude, 35° 52' 54" para longitude e 551 metros de altitude.

Os dessalinizadores foram alimentados com água salobra de um poço do Sítio Poço de Pedra localizado na cidade de Juazeirinho – PB que tem como característica geográfica estar posicionada em região de semiárido no Brasil. Tal localidade tem como particularidade a baixa precipitação pluviométrica e altos índices de radiação solar durante todo o ano. No caso do poço escolhido trata-se de uma fonte de abastecimento hídrico para a comunidade circunvizinha do mesmo.

4.1 Construção e Descrição do Dessalinizador

Feitos os estudos que verificaram quais os melhores materiais deveriam ser utilizados que propiciam o objetivo proposto de um maior volume de destilado, foi realizada a construção dos dois modelos de dessalinizadores. Os dois protótipos tratam-se de dessalinizadores solar tipo passivo construídos para possuir a mesma área de exposição ao sol, com os mesmos materiais diferindo apenas em seus formatos.

Para a confecção dos dessalinizadores, inicialmente foi escolhida a lâmina de alumínio de 1,0 mm de espessura para a bandeja, com seus interiores pintados de preto fosco para uma melhor absorção da radiação solar onde a água salobra fica acomodada durante o processo. Esses protótipos foram cobertos com lâminas de vidros de 4,0 mm, apresentando ainda em suas laterais internas calhas para o recolhimento da água condensada no vidro. Nas laterais externas e na base dos dessalinizadores, tem-se a fibra de vidro com 10,0 mm de espessura utilizada como um isolamento para evitar perdas de calor para o ambiente.

Os modelos construídos trata-se de um dessalinizador solar passivo do tipo dupla inclinação e um dessalinizador solar passivo do tipo pirâmide. Em estudos anteriormente realizados, Viana et al. (2018) menciona estudos que revelam usos de angulações entre 20° e

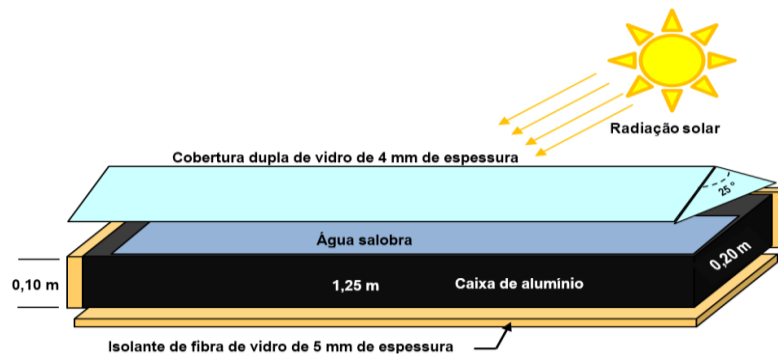
30° na região da *Solar belt* que se refere a locais com melhores taxas de irradiação solar dos locais estudados. No estudo realizado pelo autor foi constatado que a melhor angulação para uma captação de energia solar foi a de 25°. Desse modo, esse ângulo também foi adotado no presente estudo para os dois dessalinizadores.

O destilado produzido durante o processo de dessalinização, que nada mais é que a água condensada no vidro, é coletada pelas calhas laterais internas, acumulando seu volume em uma proveta para que haja sua mensuração ao fim de cada experimento.

4.2 Dessalinizador 1 – Dessalinizador Passivo Tipo Dupla Inclinação

O dessalinizador em questão foi construído com as dimensões de 0,20 m de largura por 1,25 m de comprimento e 0,10 m de altura, obtendo um formato retangular totalmente isolado para impedir as perdas de calor por convecção com o ambiente. Com essas medidas, representadas na Figura 7 tem-se uma área útil para dessalinização de 0,25 m² e na Figura 8 é apresentado o protótipo finalizado.

Figura 7 - Dessalinizador passivo tipo dupla inclinação e dimensões.



Fonte: Autor, 2020.

Figura 8 - Dessalinizador passivo tipo dupla inclinação.

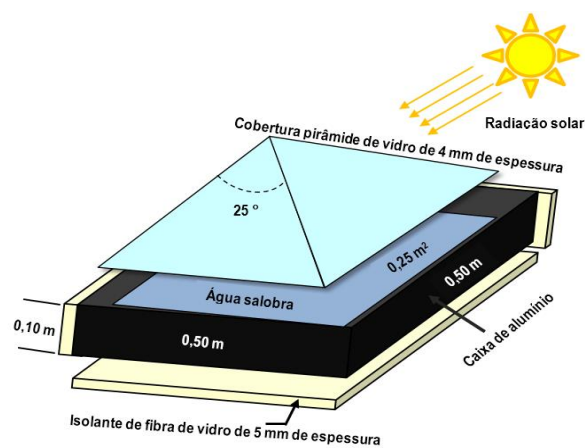


Fonte: Autor, 2020.

4.3 Dessalinizador 2 – Dessalinizador Passivo Tipo Pirâmide.

O segundo dessalinizador trata-se de um modelo conhecido que foi construído com os mesmos materiais do protótipo anterior, mas apresentando em suas configurações dimensões diferentes, sendo elas de 0,50 m de comprimento, 0,50 de largura e 0,10 m de altura. Tais medidas, ilustradas na Figura 9 também resultam em uma área útil para dessalinização de 0,25 m². Na Figura 10 é apresentado o resultado desse modelo ao fim da construção.

Figura 9 - Dessalinizador passivo tipo pirâmide e dimensões.



Fonte: Autor, 2020.

Figura 10 - Dessalinizador passivo tipo pirâmide.



Fonte: Autor, 2020.

4.4 Teste de Desempenho

Depois de montados, foi necessário que os equipamentos passassem por testes para verificação de sua adaptação de melhor forma as condições operacionais aos quais seriam sujeitas, sendo realizados assim testes preliminares de desempenho. Esses testes constataram, por exemplo, a necessidade de isolamento com material de condutividade mais baixa, a fim de manter a temperatura elevada dentro do dessalinizador, já que o alumínio, material utilizado para a bandeja, apresenta uma alta condutividade térmica, provocando a redução na produção de destilado, mesmo em dias favoráveis para a operação.

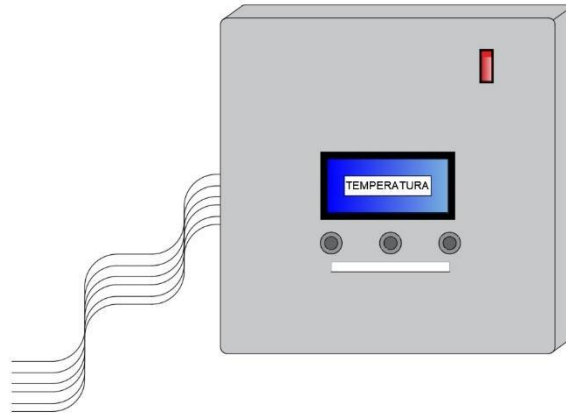
4.5 Operação dos Equipamentos

A fim de realizar o comparativo entre os dois modelos de dessalinizadores, foi iniciado a operação dos equipamentos no mesmo horário, a partir das 07:00 horas da manhã, sendo os protótipos submetidos às mesmas condições climáticas e encerrando às 17:00 horas. Durante esse intervalo de tempo no decorrer dos experimentos alguns parâmetros foram aferidos como temperaturas, índices de radiação solar, velocidade do vento e volume de água doce, sendo eles verificados pontualmente a cada 30 minutos desde o início da operação. Ao final do experimento o volume de água doce foi acumulado e medido no recipiente coletor.

As temperaturas foram medidas em vários pontos dos dessalinizadores (água, vidro e na bandeja), como também a medida da temperatura ambiente, sendo todas essas temperaturas aferidas utilizando Termopares do tipo PT-100 de ligas metálicas, conforme ilustra a Figura 11. A radiação solar incidente nos dessalinizadores também foi medido, sendo esse parâmetro verificado através do radiômetro SL 200 17957 da marca KIMO, como representado na Figura 12, com leitura contínua. O volume do destilado foi medido com a utilização de uma proveta

graduada. O esquema do sistema experimental operacional dos dessalinizadores estão ilustrados na Figura 13 demonstrando cada aspecto mencionado. Os experimentos foram realizados nos dias 26, 27, 28 de novembro e 02 de dezembro de 2019.

Figura 11 – Termopares.



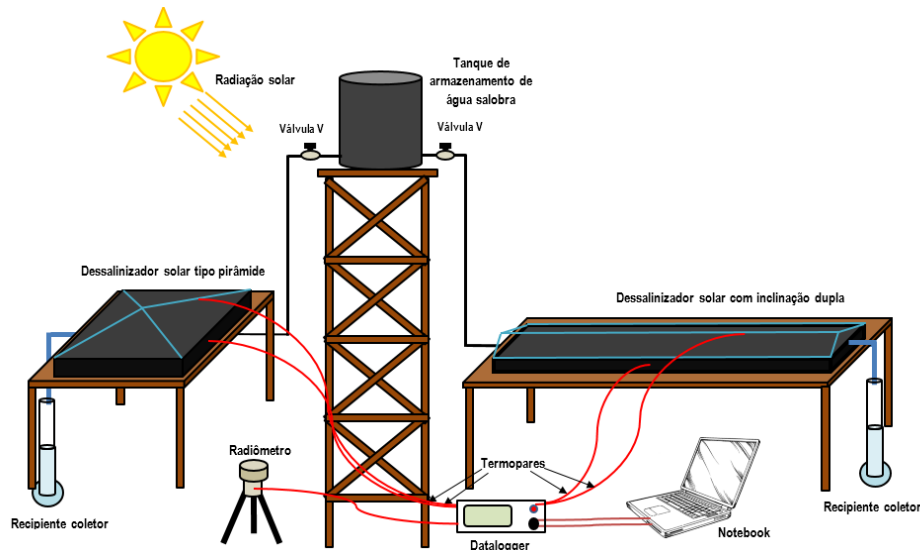
Fonte: Autor, 2021.

Figura 12 – Radiômetro.



Fonte: Direct Industry, 2021.

Figura 13 - Sistema experimental de dessalinização.



Fonte: Autor, 2020.

4.6 Análise térmica nos dessalinizadores

Os níveis de incidência de radiação solar foram medidos através do radiômetro posicionado de modo que captasse os níveis de radiação solar que os dessalinizadores recebem ao longo dos dias de operações que foram realizados. No período de realização dos experimentos, os dias se mostram propícios à realização dos testes, apresentando níveis de radiação solar favoráveis ao processo de dessalinização.

Em todos esses dias também é possível observar que existe uma faixa de horário em que a incidência de radiação solar é maior e normalmente essa faixa é entre as 10h30min e 13 horas, passando de 1000 W.m^{-2} , sendo observado consequentemente que nesse horário a produção pontual de água é maior.

4.7 Cálculo do Percentual de Redução dos Parâmetros Físico-Químicos

Antes de iniciar os experimentos, é feita a análise físico-química nas águas salobras para se conhecer as características da mesma determinando as concentrações de sais, a fim de que seja feito o comparativo com esses mesmos aspectos depois que a água passa pelo processo de dessalinização, visto que a redução desses parâmetros é o objetivo da dessalinização. Os níveis de redução dos sais após a dessalinização são calculados através da Equação 01.

$$\%R = \frac{C_i - C}{C_i} * 100 \quad (01)$$

Onde:

$%R$ – Percentual de redução das concentrações;

C_i – Concentração inicial;

C – Concentração final.

4.7 Caracterização e Análise da Água Salobra.

A água apresenta vários componentes provenientes do próprio ambiente natural ou introduzidas por atividades antrópicas. Considerando o objetivo da construção dos protótipos elaborados, dessalinização de águas salobras, é necessário realizar as análises de parâmetros de qualidade da água antes e depois do processo.

Com isso alguns parâmetros físico-químicos são escolhidos para avaliar a qualidade da água, dados como referência para verificação da diminuição de aspectos importantes nesse tipo de processo, como a redução de sais dissolvidos. Os parâmetros escolhidos estão ilustrados no Quadro 1, sendo as metodologias de análises adotados a partir do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (BAIRD et al., 2017) que permitem o estabelecimento dos valores dos parâmetros estabelecidos.

Quadro 1 - Parâmetros e metodologias.

| Parâmetros físico-químicos | Unidades | Métodos |
|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| Alcalinidade | mg CaCO ₃ .L ⁻¹ | Titulométrico com indicador |
| Condutividade elétrica | μS.cm ⁻¹ | Condutivímetro |
| Cloretos | mg Cl ⁻ .L ⁻¹ | Mohr |
| Dureza | mg CaCO ₃ .L ⁻¹ | Titulométrico - EDTA |
| pH | adimensional | Potenciométrico |
| Sódio | mg Na.L ⁻¹ | Fotometria de chama |
| Turbidez | NTU | Nefelométrica |
| Temperatura | °C | Termopar |

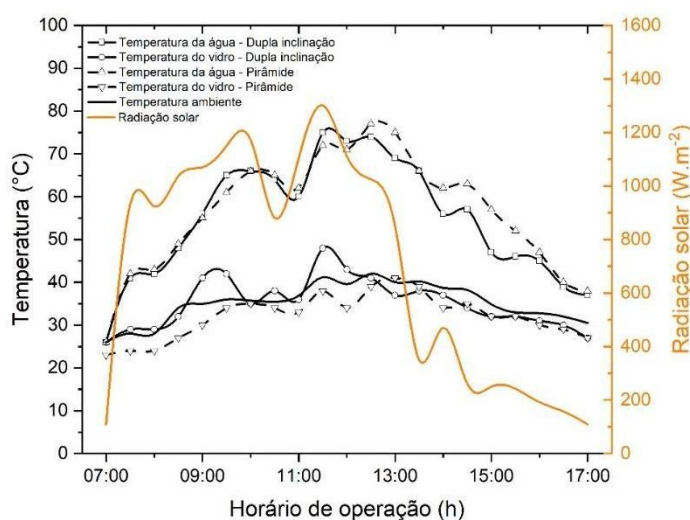
Fonte: Autor, 2021.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Intensidade de Radiação Solar e Perfis de Temperatura

As variações de temperatura da cobertura de vidro, da água e ambiente estão ligadas a radiação solar incidente nos dessalinizadores do tipo dupla inclinação e do tipo pirâmide, analisadas para a lâmina de água de 1,0 cm, estudadas para o dia 26 de novembro. A variação da intensidade solar no experimento para o dessalinizador tipo pirâmide pode ser visto através da curva de intensidade de radiação solar que tem uma distribuição que acompanha as condições climática do momento da medição e a irradiação máxima é recebida em torno das 11:30 horas com um valor de $1301,0 \text{ W.m}^{-2}$. Ao longo do experimento, a temperatura da água salobra sofreu variações, onde se iniciou com $26,0 \text{ }^\circ\text{C}$ às 07:00 horas e atingiu o maior valor às 12:30 horas, alcançando $77 \text{ }^\circ\text{C}$, uma hora após o momento de maior incidência de radiação solar. Nesse dia de experimento, não foram registrados ventos fortes, assim todo o processo de dessalinização aconteceu normalmente e sem processos de convecção. Um comportamento análogo foi verificado para o dessalinizador tipo dupla inclinação, em que a temperatura da água salobra passou por mudanças, onde se iniciou às 07:00 horas também com $26,0 \text{ }^\circ\text{C}$ e atingiu o seu maior valor às 11:30 horas alcançando a temperatura de 75°C , no momento de maior incidência de radiação solar. Esses perfis de temperatura e incidência de radiação são ilustrados na Figura 14.

Figura 14 - Perfis de temperatura em função da radiação solar para o dia 26 de novembro.



Para o dia 27 de novembro, os dessalinizadores apresentam comportamentos semelhantes em relação às suas temperaturas relacionadas à incidência de radiação solar. Nesse caso, o dessalinizador do tipo dupla inclinação apresentou sua temperatura máxima na

água de 72°C no horário das 12:00 horas, o que aconteceu do mesmo modo para o dessalinizador do tipo pirâmide. O maior nível de incidência solar registrado nesse dia, ocorreu às 10:30 horas chegando a 1230 W.m^{-2} , valor esse que auxiliou no aumento da temperatura da água até chegar a seu valor máximo. Já no dia 28 de novembro, temos um comportamento dos dessalinizadores ao relacionar a temperatura da água com incidência de radiação solar também análogos, visto que as temperaturas máximas registradas para esse parâmetro foi de 76°C às 12:30 horas para os dois equipamentos. O maior valor para incidência de radiação solar foi de 1172 W.m^{-2} sendo registrado às 11:30 horas. As Figuras 15 e 16 apresentam as relações dos perfis de temperatura e radiação solar para os dias 27 e 28 de novembro.

Figura 15 - Perfis de temperatura em função da radiação solar para o dia 27 de novembro.

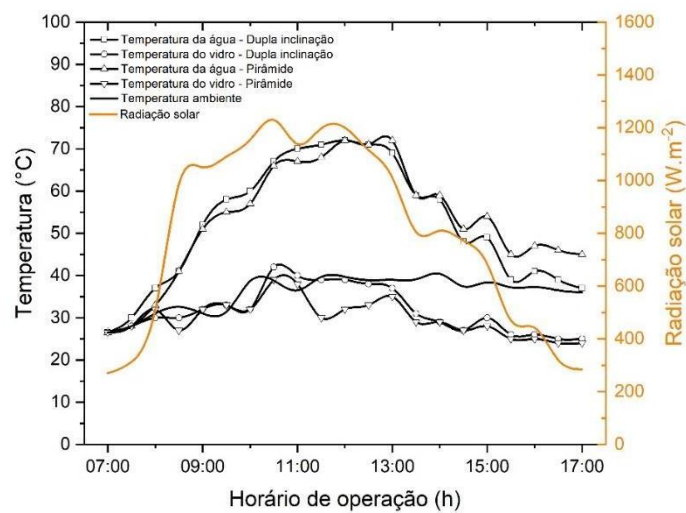
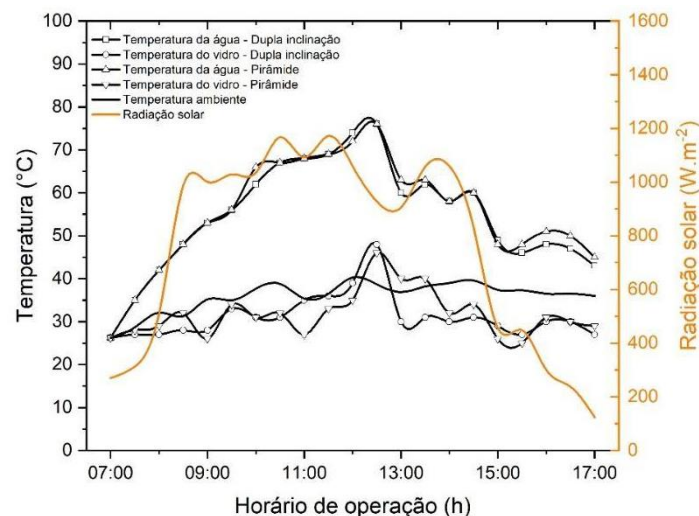


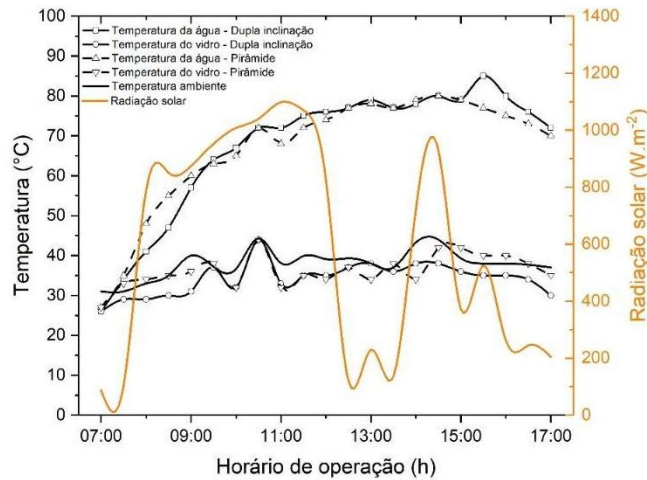
Figura 16 - Perfis de temperatura em função da radiação solar para o dia 28 de novembro



O último dia de experimento, realizado no dia 02 de dezembro, teve sua maior temperatura na água foi de 85°C às 15:30 horas para o dessalinizador do tipo dupla inclinação

e 80 °C às 14:30 horas para o do tipo pirâmide. Nesse dia o maior nível de incidência registrado foi de 1099 W.m⁻² às 11:00 horas. Esses índices são esboçados na Figura 17.

Figura 17 - Perfis de temperatura em função da radiação solar para o dia 02 de dezembro



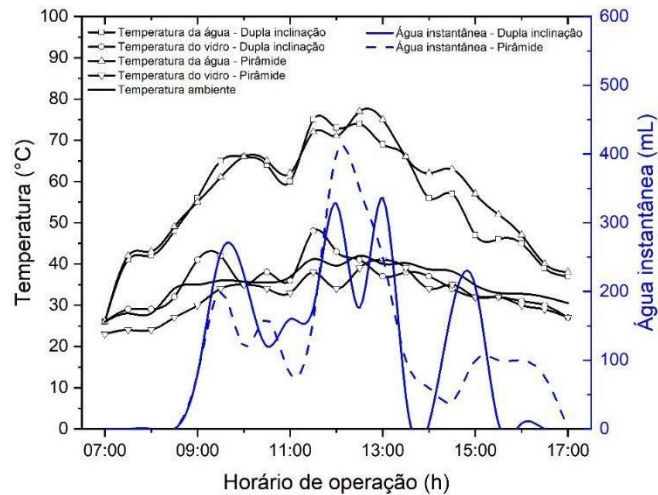
Os níveis de incidência de radiação solar é um dos parâmetros mais oscilantes dessa pesquisa, logo esses níveis podem variar de forma brusca e em seguida ser elevada rapidamente. Desse modo, a variação da incidência de radiação é relacionada com a temperatura, pois essa incidência causa um determinado efeito cumulativo na temperatura já que à medida que um aumenta o outro também cresce, tendo uma relação diretamente proporcional.

5.2 Produção Instantânea de Água Dessalinizada

A produção instantânea de água dessalinizada nos dessalinizadores tipo pirâmide e tipo dupla inclinação, para o dia 26/11/2019 é ilustrada pela Figura 18, com uma radiação solar média de 699,85 W.m⁻².dia⁻¹ auxiliando no aumento das temperaturas que propiciam na produção instantânea de água. No início do experimento, no período da manhã a radiação foi aumentando progressivamente, obtendo o seu pico máximo às 11:30 horas e consequentemente foram também obtidas as maiores temperaturas. Para o dessalinizador do tipo pirâmide a produção máxima de 375 mL.m⁻² ocorreu às 12:00 horas, essa diferença de tempo com relação a radiação provavelmente foi devido ao atraso do tempo de resposta do sistema (KHECHEKHOUCHE, et al., 2020). O dessalinizador do tipo dupla inclinação apresentou um comportamento similar, com produção máxima de 336 mL.m⁻² que ocorreu às 12:30 horas. Para os dois casos é interessante notar que a produção de água dessalinizada tem o mesmo perfil da radiação solar e similares temperaturas em seus pontos medidos. Al-Hinai

et al. (2002) estudando um dessalinizador do tipo dupla inclinação obteve o mesmo comportamento para a produtividade de água com relação à radiação solar.

Figura 18 - Produção instantânea de água para o dia 26 de novembro



Nos dias seguintes de experimentos essa produção de água instantânea se apresentou de maneira análoga entre si. Para o dia 27 de novembro, o dessalinizador do tipo dupla inclinação teve uma produção máxima instantânea de 200 mL.m^{-2} às 10:00 horas e para o tipo pirâmide de 260 mL.m^{-2} também às 10:00 horas, como demonstrados na Figura 19. Já para o dia 28 de novembro, esses valores variaram entre 312 mL.m^{-2} verificado às 12:00 horas e 320 mL.m^{-2} às 10:30 horas, no dessalinizador do tipo dupla inclinação e tipo pirâmide respectivamente, como é possível observar na Figura 20. No dia 02 de dezembro, o dessalinizador do tipo dupla inclinação apresentou um valor de destilado instantâneo de 424 mL.m^{-2} e o dessalinizador do tipo pirâmide obteve seu valor de destilado um pouco maior, chegando a 580 mL.m^{-2} , sendo o mesmo horário para os dois modelos, às 11:00 horas, como ilustra a Figura 21. Essa produção de água instantânea acompanha os níveis de incidência de radiação solar e temperatura, onde quanto maiores esses fatores, maiores os potenciais de produção de destilado instantâneo e acumulado, como relacionado nas Figuras 19, 20 e 21.

Figura 19 - Produção instantânea de água para o dia 27 de novembro

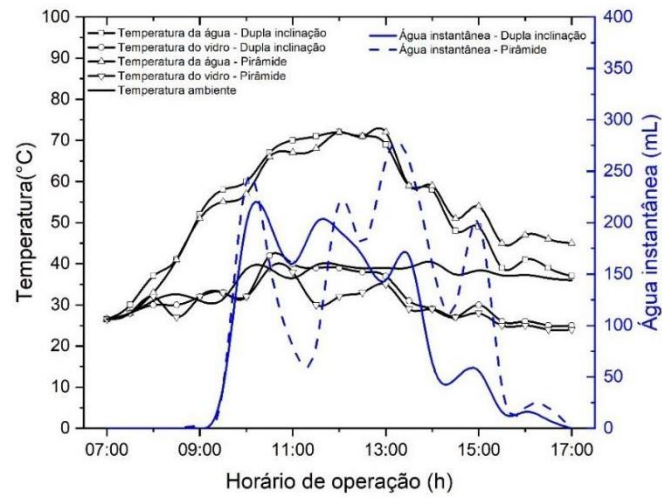


Figura 20 - Produção instantânea de água para o dia 28 de novembro

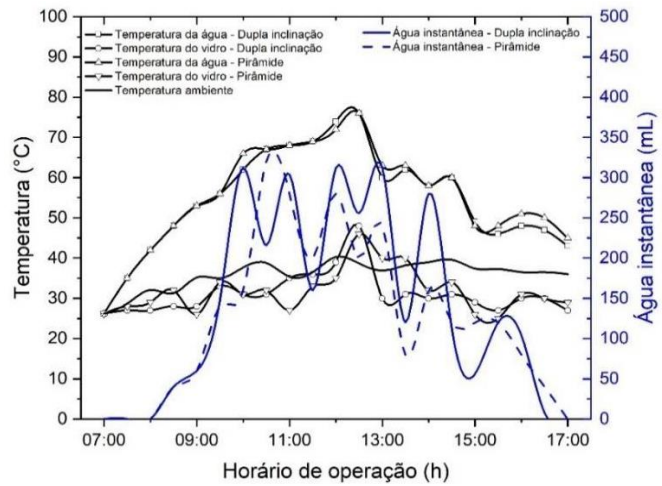
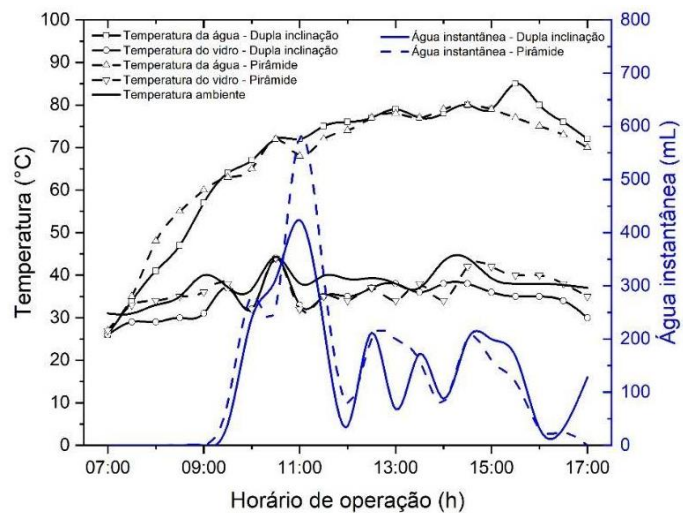


Figura 21 - Produção instantânea de água para o dia 02 de dezembro

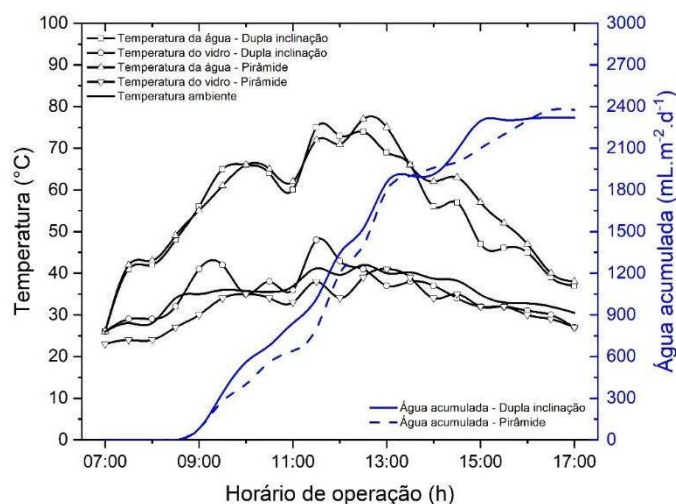


5.3 Produção Acumulada de Água Dessalinizada

Ao fim de cada experimento faz-se o cálculo da produção de água dessalinizada acumulada, a fim de verificar a eficiência dos equipamentos quanto a sua produtividade. Para o dia 26 de novembro a produção acumulada de água por área de unidade de dessalinização foi registrada no encerramento do experimento, às 17:00 horas obtendo o valor de 2376,0 mL.m⁻² para o dessalinizador do tipo pirâmide. No início da operação, o sistema de dessalinização se encontra em regime permanente com a temperatura em 26° C e à medida que o tempo passa a água vai aquecendo e as 12:30 horas é registrado sua temperatura máxima de 77 °C para o dessalinizador tipo pirâmide.

Já para o dessalinizador do tipo dupla inclinação, é registrado 2320,0 mL.m⁻² na evolução da produção de água dessalinizada acumulada por área de unidade de dessalinização no horário das 17:00 horas. Esse sistema de dessalinização também se encontra em regime permanente com temperatura em 26 °C, sendo elevada gradualmente à medida que o tempo passa e sendo registrado no horário das 11:30 horas a temperatura máxima deste dia de 75 °C. Para os dois sistemas, foi notado que a partir das 08:30 horas dá-se início a produção de água dessalinizada que vai aumentando na proporção que a temperatura se eleva sendo contínua até as 17:00 horas. Esses resultados são ilustrados na Figura 22.

Figura 22 - Produção acumulada de água para o dia 26 de novembro



No dia seguinte de experimento, 27 de novembro, o dessalinizador do tipo pirâmide foi finalizado com o registro de 2080 mL.m⁻².dia⁻¹ e para o do tipo dupla inclinação foi de 1780 mL.m⁻².dia⁻¹ onde os dois equipamentos coincidiram em registrar suas temperaturas máximas de 72 °C às 12:00 horas, com temperaturas iniciais de 26,5 °C para ambos os

dessalinizadores, resultados expressos na Figura 23. Para o terceiro dia de experimento, realizado no dia 28 de novembro, tem-se um volume total de $2800 \text{ mL.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ resultante do experimento no dessalinizador do tipo dupla inclinação e $2640 \text{ mL.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ para o do tipo pirâmide, registrando suas temperaturas máximas de $76 \text{ }^\circ\text{C}$ às 12:30 horas e iniciais de $26,2 \text{ }^\circ\text{C}$ para os dois dessalinizadores, como observa-se na Figura 24. O último dia de experimento foi o dia 02 de dezembro, onde nesse dia o dessalinizador do tipo pirâmide chegou ao volume de $2776 \text{ mL.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e para o tipo dupla inclinação $2576 \text{ mL.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, com temperaturas iniciais de $27 \text{ }^\circ\text{C}$ e $26 \text{ }^\circ\text{C}$ respectivamente e com temperaturas máximas iguais no mesmo horário, sendo eles de $80 \text{ }^\circ\text{C}$ às 14:30 horas como vistos na Figura 25.

Figura 23 - Produção acumulada de água para o dia 27 de novembro

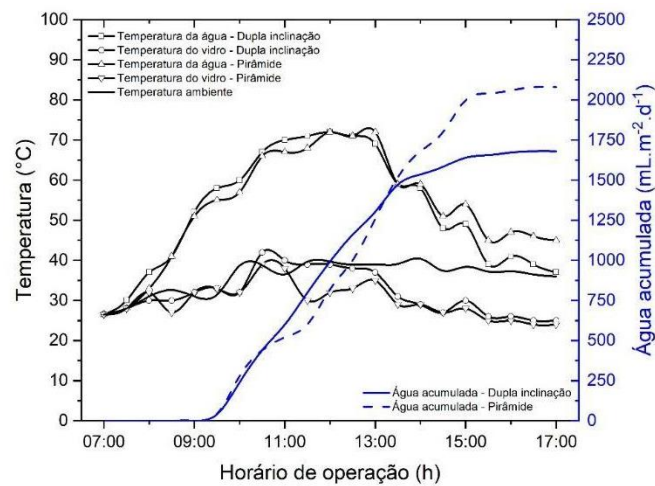


Figura 24 - Produção acumulada de água para o dia 28 de novembro

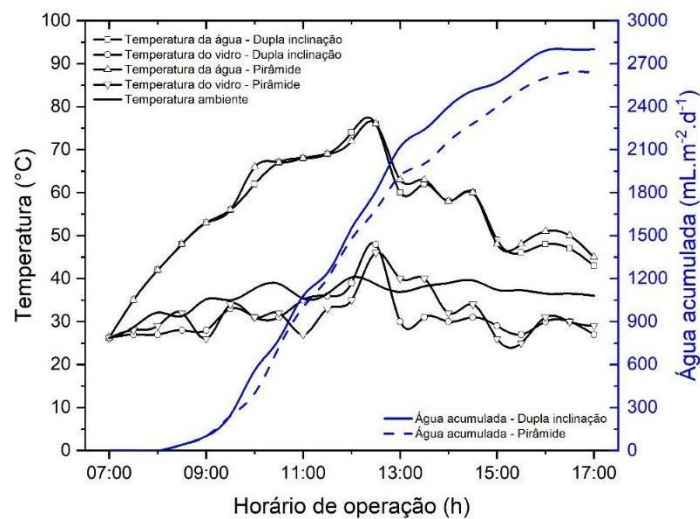
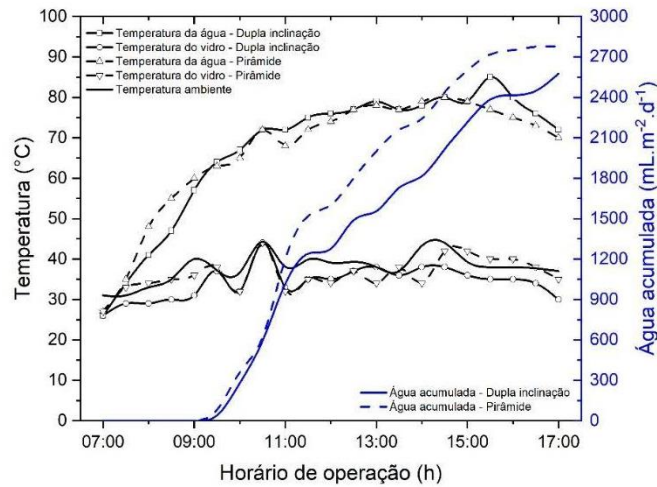


Figura 25 - Produção acumulada de água para o dia 02 de dezembro



Com esses resultados, foi possível observar que o dessalinizador do tipo pirâmide teve uma produção um pouco maior se comparado ao dessalinizador tipo dupla inclinação em relação ao volume de destilado, com percentuais de 2,35% (dia 26/11), 19,23% (dia 27/11) e 7,2% (dia 02/12) maiores nos experimentos realizados, sendo observado a exceção para o dia 28/11 em que o dessalinizador tipo dupla inclinação apresentou uma produção de destilado 5,7% superior ao do tipo pirâmide. Essa produtividade maior do dessalinizador tipo pirâmide pode ser atribuído ao fato do equipamento receber raios solares extras já que o mesmo possui quatro lado em sua cobertura de vidro, o que permite que mais radiação solar penetre e fique presa dentro do dessalinizador durante o dia. A Tabela 1 faz um resumo dos experimentos referentes à produtividade dos dessalinizadores. No Apêndice A é representado os resultados dos dias de experimentos relacionando os fatores de perfis de temperatura e água dessalinizada acumulada e instantânea para cada tipo de dessalinizador estudado.

Tabela 1 - Produtividade e radiação média.

| Datas | Radiação média (W.m ⁻²) | Produtividade (mL.m ⁻² .dia ⁻¹) | |
|--------------|--|--|--------------------------|
| | | Tipo pirâmide | Tipo dupla inclinação |
| 26/11 | 699,85 | 2376,0 | 2320,0 |
| 27/11 | 592,47 | 2080,0 | 1780,0 |
| 28/11 | 761,09 | 2640,0 | 2800,0 |
| 02/12 | 802,61 | 2776,0 | 2576,0 |
| Média | 714,01 | 2468,0 | 2369,0 |

5.4 Avaliação da Qualidade do Destilado – Análise Físico-Química

Ao fim de cada experimento faz-se necessário a realização das análises físico-químicas para que seja verificada a qualidade do destilado obtido, examinando as propriedades investigadas e sua capacidade em ser considerada potável para consumo humano de acordo com a portaria vigente. Os parâmetros escolhidos para analisar a qualidade da água, tem seus resultados expressos nas tabelas 2, 3, 4, e 5, onde os mesmos expressam os valores medidos para a água bruta e para água depois de passar pelo processo de dessalinização solar, onde fazendo um comparativo entre esses valores têm-se seus percentuais de redução para cada dia de experimento. Esses valores de redução ainda são comparados com as médias fornecidas pela portaria vigente, que são a base para avaliar se a água dessalinizada se apresenta nos padrões de qualidade estabelecidos para o consumo humano.

Tabela 2 - Parâmetros analisados para o dia 26/11.

| Parâmetros | A.B. | A.D.1¹ | R (%)² | A.D.2¹ | R (%)² | V.M.P. |
|--|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------|
| Alcalinidade (mg CaCO₃.L⁻¹) | 531,0 | 2,4 | 99,54 | 5,0 | 99,05 | - |
| Cloreto (mg Cl.L⁻¹) | 5.538,0 | 0,6 | 99,99 | 0,6 | 99,99 | 250,0 |
| Dureza (mg CaCO₃.L⁻¹) | 375,0 | 0,4 | 99,89 | 0,2 | 99,94 | 300,0 |
| Condutividade elétrica (µS.cm⁻¹) | 11.160,0 | 29,3 | 99,74 | 55,1 | 99,50 | - |
| pH | 7,7 | 6,15 | 20,13 | 6,1 | 20,77 | 6,0-9,0 |
| Sódio (mg. L⁻¹) | 1200,0 | 1,0 | 99,92 | 2,0 | 99,83 | 200,0 |
| Turbidez (uT) | 4,0 | 3,0 | 25,00 | 7,0 | - | 5,0 |

A.B.= Água bruta Sítio Poço de Pedra;

A.D.1¹= Água dessalinizada - Dupla inclinação; A.D.2¹ = Água dessalinizada – Pirâmide;

R²=Redução;

V.M.P.= Valores máximos permissíveis (Portaria n°888, de 04 de maio de 2021, ANEXO 11);

Tabela 3 - Parâmetros analisados para o dia 27/11.

| Parâmetros | A.B. | A.D.1 ¹ | R (%) ² | A.D.2 ¹ | R (%) ² | V.M.P. |
|---|----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|
| Alcalinidade (mg CaCO ₃ .L ⁻¹) | 531,0 | 3,9 | 99,26 | 3,0 | 99,43 | - |
| Cloreto (mg Cl.L ⁻¹) | 5.538,0 | 0,6 | 99,99 | 0,5 | 99,99 | 250 |
| Dureza (mg CaCO ₃ .L ⁻¹) | 375,0 | 1,2 | 99,68 | 0,8 | 99,79 | 300 |
| Condutividade elétrica (µS.cm ⁻¹) | 11.160,0 | 12,9 | 99,88 | 29,1 | 99,74 | - |
| pH | 7,7 | 6,2 | 18,31 | 6,1 | 20,00 | 6,0-9,0 |
| Sódio (mg. L ⁻¹) | 1200,0 | 0,0 | 100,00 | 0,0 | 100,00 | 200 |
| Turbidez (uT) | 4,0 | 2,0 | 50,00 | 7,0 | - | 5 |

A.B.= Água bruta Sítio Poço de Pedra;

A.D.1¹= Água dessalinizada - Dupla inclinação; A.D.2¹ = Água dessalinizada – Pirâmide;

R²=Redução;

V.M.P.= Valores máximos permissíveis (Portaria n°888, de 04 de maio de 2021, ANEXO 11);

Tabela 4 - Parâmetros analisados para o dia 28/11.

| Parâmetros | A.B. | A.D.1 ¹ | R (%) ² | A.D.2 ¹ | R (%) ² | V.M.P. |
|---|----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|
| Alcalinidade (mg CaCO ₃ .L ⁻¹) | 531,0 | 2,1 | 99,60 | 3 | 99,43 | - |
| Cloreto (mg Cl.L ⁻¹) | 5.538,0 | 0,5 | 99,99 | 0,5 | 99,99 | 250 |
| Dureza (mg CaCO ₃ .L ⁻¹) | 375,0 | 0,9 | 99,76 | 0,6 | 99,84 | 300 |
| Condutividade elétrica (µS.cm ⁻¹) | 11.160,0 | 10,8 | 99,90 | 25,27 | 99,77 | - |
| pH | 7,7 | 6,2 | 19,48 | 6,14 | 20,26 | 6,0-9,0 |
| Sódio (mg. L ⁻¹) | 1200,0 | 0,0 | 100,00 | 0 | 100,00 | 200 |
| Turbidez (uT) | 4,0 | 2,0 | 50,00 | 5 | - | 5 |

A.B.= Água bruta Sítio Poço de Pedra;

A.D.1¹= Água dessalinizada - Dupla inclinação; A.D.2¹ = Água dessalinizada – Pirâmide;

R²=Redução;

V.M.P.= Valores máximos permissíveis (Portaria n°888, de 04 de maio de 2021, ANEXO 11);

Tabela 5 - Parâmetros analisados para o dia 02/12.

| Parâmetros | A.B. | A.D.1 ¹ | R (%) ² | A.D.2 ¹ | R (%) ² | V.M.P. |
|---|----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|
| Alcalinidade (mg CaCO ₃ .L ⁻¹) | 531,0 | 2,6 | 99,51 | 3,4 | 99,36 | - |
| Cloreto (mg Cl ⁻ .L ⁻¹) | 5.538,0 | 0,45 | 99,99 | 0,4 | 99,99 | 250 |
| Dureza (mg CaCO ₃ .L ⁻¹) | 375,0 | 0,0 | 100,0 | 0,5 | 99,87 | 300 |
| Condutividade elétrica (µS.cm ⁻¹) | 11.160,0 | 22,2 | 99,90 | 21,37 | 99,81 | - |
| pH | 7,7 | 6,1 | 20,65 | 6,13 | 20,39 | 6,0-9,0 |
| Sódio (mg. L ⁻¹) | 1200,0 | 0,0 | 100,0 | 0,0 | 100,0 | 200 |
| Turbidez (uT) | 4,0 | 2,0 | 50,0 | 3,0 | 25,0 | 5 |

A.B.= Água bruta Sítio Poço de Pedra;

A.D.1¹= Água dessalinizada - Dupla inclinação; A.D.2¹ = Água dessalinizada – Pirâmide;

R²=Redução;

V.M.P.= Valores máximos permissíveis (Portaria n°888, de 04 de maio de 2021, ANEXO 11);

Referente aos parâmetros analisados, atualmente tem-se a Portaria n° 888 de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde, onde no Art 42, inciso 2 é estabelecido que sistemas e soluções alternativas coletivas de abastecimento de água para consumo humano, supridos por manancial subterrâneo devem realizar análise de alguns parâmetros, sendo alguns deles a turbidez, pH e condutividade (BRASIL, 2021). Tal portaria estabelece as normas referentes ao monitoramento e vigilância para a qualidade da água futuramente usada para abastecimento e uso da população, fornecendo base para equiparar as amostras analisadas, verificando assim se estão dentro dos padrões estabelecidos pelas portarias vigentes. Ao relacionar os valores das amostras após o processo de dessalinização com a resolução e a portaria mencionada, essas amostras mostraram valores abaixo a 0,5%, sendo assim classificado como água doce.

A condutividade elétrica está relacionada com a capacidade que a água apresenta em conduzir corrente elétrica em decorrência da fração de sais dissolvidos e no caso da amostra bruta coletada que foi de 11.160,0 µS.cm⁻¹ chegou a apresentar redução máxima de 99,90% no dessalinizador tipo dupla inclinação e 99,81% para o tipo pirâmide, alcançando um valor mínimo de até 10,87 µS.cm⁻¹, onde tais valores são reduções bem significativas, apesar de não se ter padrão de valor máximo permitido para esse parâmetro na portaria.

Ao se referir ao potencial hidrogeniônico (pH), que indica se determinada água tem características ácidas, básicas ou neutra devido a sua concentração de íons de hidrogênio presentes na água, a amostra bruta, com valor de 7,7 se encaixou na faixa permitida pelos padrões estabelecidos se enquadrando na região de neutralidade e após o processo de

dessalinização permaneceu nessa faixa dos valores máximos permissíveis que é entre 6,0 a 9,0, apresentando ainda reduções de até 20,77% em relação ao seu valor inicial.

Para os valores de turbidez, que se refere a presença de materiais sólidos em suspensão ocasionados pela presença de algas, matéria orgânica e outras substâncias que acabam por restringir em partes a transparência da água. No dessalinizador do tipo dupla inclinação a água se manteve dentro dos limites máximos estabelecidos pela portaria, sendo de 5 uT, alcançando ainda uma redução máxima de 50%. Já no dessalinizador do tipo pirâmide foi verificado que houve um determinado tipo de contaminação em relação aos materiais sólidos em suspensão, visto que o valor da turbidez após o processo de dessalinização sofreu uma alteração causando a elevação desse valor em relação à água bruta. Desse modo foi constatado que possivelmente o dessalinizador ainda apresentava materiais que provavelmente foram advindos da sua fase de construção, que posteriormente foram aderidos pela água durante o processo de dessalinização. Ao verificar esse contratempo, o dessalinizador passou novamente pelo processo de limpeza, conseguindo posteriormente a redução em 25% desse valor.

O teor de cloreto presente na água representa a dissolução de minerais nas águas subterrâneas, podendo ser encontradas na forma de cloretos de sódio, cálcio e magnésio (FUNASA, 2013). Esse aspecto também obteve diminuição de valores satisfatórios, onde o valor verificado antes do processo, que era de $5.538 \text{ mg Cl}^- \cdot \text{L}^{-1}$, sofreu reduções após a dessalinização da água, chegando a uma redução de 99,99% passando a apresentar valores mínimos de até $0,4 \text{ mg Cl}^- \cdot \text{L}^{-1}$ para os dois tipos de dessalinizadores em todos os dias de experimentos, se estabelecendo dentro dos padrões de potabilidade que permite até $250 \text{ mg Cl}^- \cdot \text{L}^{-1}$.

Na análise da dureza total, que verifica a soma dos níveis de sais de íons cálcio e magnésio presentes na água, foi constatado a diminuição desses elementos chegando a uma redução percentual máximo de 100% para o dessalinizador tipo dupla inclinação, saindo de um valor de $375 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ da água bruta, para depois ser zerado e de 99,94% para o dessalinizador tipo pirâmide, atingindo o valor mínimo de $0,2 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$. A redução desse parâmetro se mostra relevante, pois a presença de uma dureza elevada na água traz consigo desvantagens como sabor desagradável e efeito laxativo, consequência também encontrada com valores elevados de cloretos, além de apresentar o potencial de reduzir a formação de espuma de sabão, provocando incrustações (FUNASA, 2013).

A alcalinidade, que sinaliza a capacidade da água de neutralizar ácidos (NOLASCO et al., 2020) é formada a partir do somatório das formas de alcalinidade que podem ser

encontradas na água analisadas em concentrações de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos e é expressa em carbonato de cálcio por litro (FUNASA, 2013). Tal parâmetro também apresentou reduções expressivas, apesar de também não apresentarem valores máximos permissíveis pela portaria, chegando a um valor máximo de redução de 99,60% em relação à concentração inicial de $531 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ no dessalinizador do tipo dupla inclinação, alcançando o seu valor mínimo de $2,6 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ e 99,43% para o dessalinizador do tipo pirâmide, com seu mínimo de $3 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$.

Já para os níveis de sódio nas amostras analisadas, considerado um dos parâmetros mais relevantes da pesquisa por se trabalhar com águas apontadas com alto teor de salinidade que afeta a qualidade e uso da água para determinados fins, onde seu valor para água bruta foi de $1200 \text{ mg Na}^+ \cdot \text{L}^{-1}$, o seu percentual de redução foi um dos mais significativos, já que sua atenuação em comparação a concentração inicial chegou a 100% de redução nos dois modelos de dessalinizadores em todos os dias de experimentos após passar pelo processo de dessalinização.

Para que haja o controle do padrão de qualidade de água, principalmente no quesito que se trata do consumo humano, existem algumas portarias e resoluções que delimitam os valores máximos permissíveis e que são utilizados como padrões para verificar se determinada água pode ser consumida sem riscos à vida. Logo, ao finalizar os experimentos e com os resultados obtidos foi notório a eficiência do tratamento de águas salobras utilizando os modelos propostos de dessalinizadores via energia solar por apresentarem resultados que se enquadram nos padrões estabelecidos.

6. CONCLUSÕES

A pesquisa realizada para uma análise comparativa entre os dois dessalinizadores do tipo passivo com a mesma área de exposição solar, mas com formatos diferentes, apresentou resultados que verificam se esse aspecto influencia nos perfis de temperatura e na produtividade de água dessalinizada. Os perfis de temperatura nos dois dessalinizadores acompanharam a incidência de radiação solar registrada, tendo uma radiação média máxima de $761,09 \text{ W.m}^{-2}$. Ao se referir a produção instantânea de água, observou-se que sua distribuição acompanhou as condições climáticas do momento da medição, sendo proporcionais a intensidade de radiação solar e temperaturas nos dois dessalinizadores.

O dessalinizador do tipo pirâmide apresentou uma produção média de $2468,0 \text{ mL.m}^{-2}$ e o tipo dupla inclinação uma média de $2369,0 \text{ mL.m}^{-2}$, exibindo assim um rendimento um pouco superior por parte do dessalinizador tipo pirâmide para os experimentos realizados. Essa diferença entre a produtividade dos dessalinizadores, foi atribuída a um maior volume médio ao do tipo pirâmide que pode ser conferido ao fato do mesmo receber raios solares extras já que possui quatro lados iguais, o que permite que mais radiação solar penetre e fique presa dentro do dessalinizador durante todo o dia.

Já ao se referir a qualidade da água dessalinizada, foi constatado que houve reduções dos valores dos parâmetros físico-químicos analisados em relação a água bruta, chegando a valores que se encaixam dentro dos padrões de qualidade estabelecidos pelas normas da legislação vigente para o consumo humano. Após a realização dos experimentos, obteve-se reduções máximas de até 99,60% para alcalinidade, 99,99% para o cloreto e dureza com remoção total de 100%. Já para a condutividade elétrica, teve-se redução máxima de 99,90% e para o pH redução de 20,77%. Para o sódio a redução chegou a ser de 100% e para a turbidez 50% de redução.

Desse modo, os dessalinizadores solar se apresentam como alternativas viáveis para regiões como o semiárido brasileiro, sendo um caminho promissor para a obtenção de água doce e potável levando em consideração que esses equipamentos apresentam resultados eficazes. Os equipamentos estudados são de fácil montagem e aquisição, mas precisam de manutenção, como limpeza simples do vidro e bandeja, e realizar o acompanhamento para verificar a qualidade da água obtida no decorrer dos experimentos.

REFERÊNCIAS

- ABUJAZAR, M. S. S.; FATIHAH, S.; KABEEL, A.E. Seawater desalination using inclined stepped solar still with copper trays in a wet tropical climate. **Desalination**, v. 423, p. 141-148, 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional (Vol. 1)**. Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape. Brasília:ANA: Engecorps/ Cobrape, 2010.
- AL-HINAI, H. H.; AL-NASSRI, M.S.; JUBRAN, B. A. Effect of climatic, design and operational parameters on the yield of a simple solar still. **Energy Conversion and Management** 43, p. 1639–1650, 2002.
- ANA - Agência Nacional de Águas. **Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil** — Informe 2014 — Encarte Especial sobre a Crise Hídrica; ANA: Brasília, Brasil, 2015; Volume 30.
- BAIRD, R. B.; EATON, A. D.; RICE, E. W. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 1496 p. 23th edition. Washington, USA: American Public Health Association, 2017.
- BEZERRA, V. R.; BRITO, Y. J. V.; SARMENTO, K. K. F.; OLIVEIRA, C. S.; MEDEIROS, K. M.; LIMA, C. A. P. Análise de parâmetros construtivos no desempenho térmico de alambiques solares: Revisão. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 6, p. e24010615472, 2021.
- BRASIL, DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. Ministério da Saúde/Gabinete do Ministro. 4 DE MAIO DE 2021. **Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021**, Brasil, p. 127. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 28 jul. 2021.
- BRITO, Y. J. V.; CARDOSO, M. K. B.; SILVA, K. S.; SILVA, C. B.; MEDEIROS, K. M.; LIMA, C. A. P. Estudo experimental de um dessalinizador solar do tipo bandeja com dupla inclinação para potabilização de água no semiárido paraibano. **Águas Subterrâneas**, v. 34, n.2, p. 156–165, 2020.

CALDAS, J.; CAMBOIM, W. Aproveitamento da água dos aparelhos condicionadores de ar para fins não potáveis: avaliação da viabilidade de implantação em um bloco do Unipê. **Revista InterScientia**, v. 5, n. 1, p. 166-188, 2017.

CANTÍDIO, M. C. M.; MOREIRA, M. D. D. M.; SCUDELARI, A. C.; MEDEIROS, I. B. B. G. M.; COSTA, R. F. C. Estudo da viabilidade de implantação da dessalinização de água em município do semiárido nordestino. **XXVIII Congresso Latinoamericano de Hidráulica**, Buenos Aires - Argentina, p. 1-2, 2018.

CARDOSO, M. K. B.; BRITO, Y. J. V.; SILVA, K. S.; SILVA, C. B.; LIMA, C. A. P.; MEDEIROS, K. M. Dessalinizador solar do tipo cascata aplicado em poços artesianos no interior da Paraíba. **Águas Subterrâneas**, v. 34, n. 2, p. 135-142, 2020.

CARNAÚBA, R. M. F.; ROGÉRIO, J. P.; NASCIMENTO, A. R. Z. Análise do custo de produção da energia solar em Maceió. **Ciências exatas e tecnológicas**, v. 6, n. 1, p. 43-52, 2020.

CARVALHO, B. S.; GUERRA, F. K. O. M. V. Dessalinizador solar com cobertura piramidal: aperfeiçoamento e análise térmica. **Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica**, v. 2, n. 1, p. 134-143, 2020.

CAVALCANTE JR, R. G.; FREITAS, M. A. V.; SILVA, N. F.; AZEVEDO FILHO, F. R. Sustainable Groundwater Exploitation Aiming at the Reduction of Water Vulnerability in the Brazilian, Semi-Arid Region, **Energies**, v. 12, n. 5, p. 904, 2019.

CHEN, C.; KUANG, Y; HU1, L. Review Challenges and Opportunities for Solar Evaporation, **Joule** v. 3, n. 3, p.683–718, 2019.

CONAMA, **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Publicada no DOU em 18 de março, 2005.

DIRECTINDUSTRY. **Piranômetro portátil SL 200**. Disponível em: <https://www.directindustry.com/pt/prod/kimo/product-11846-380433.html>. Acesso em: 30 ago. 2021.

ELOY, A. **Energias Sem-fim – Contrariando as Alterações Climáticas**. Lisboa: Edições Colibri. 2009.

ELSAID, K.; KAMIL, M.; SAYED, E. T.; ABDELKAREEM, M. A.; WILBERFORCE, T.; OLABI, A. Environmental impact of desalination technologies: a review. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 748, 2020. Elsevier BV.

FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (Brasil). Ministério da Saúde. **Manual Prático de Análise de Água**. 4. ed. Brasília: p.150, 2013.

GAIO, S. S. M. **Produção de água potável por dessalinização: tecnologias, mercado e análise de viabilidade econômica**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016.

JACOBI, P. R.; GRANDISOLI, J. **Água e Sustentabilidade desafios, perspectivas e soluções**. 1. ed. São Paulo – SP: IEE USP e Reconnectta, p. 110, 2017.

JANNUZZI, C. A. S. C.; SUGAHARA, C. R.; FERREIRA, D. H. L.; FALSARELLA, O. M.; MARIOSA, D. F. Olhar interdisciplinar da sustentabilidade na busca de fontes de informação sobre a água no Brasil. **Sustentabilidade: Diálogos Interdisciplinares**, v. 1, p. 1-15, 2020.

KATZ, D. Desalination and hydrodiplomacy: refreshing transboundary water negotiations or adding salt to the wounds?. **Environmental Science & Policy**, v. 116, p. 171-180, 2021. Elsevier BV.

KHECHEKHOUCHE, A.; B.B. HAOUA, B.B.; KABEEL, A. E.; ATTIA, M.E.H.; EL-MAGHLANY, W.M. Improvement of Solar Distiller Productivity by a Black Metallic Plate of Zinc as a Thermal Storage Material, **Journal of Testing and Evaluation**, v. 27, p. 18-56, 2020.

LUNA, F.M. Desenvolvimento e testes de um dessalinizador solar com pré-aquecimento de água. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, p. 101, 2016.

MALUF, A. P. **Destiladores solares no Brasil**. Monografia do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras do curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Fontes Alternativas de Energia. UFLA, Minas Gerais, 2005.

NOLASCO, G. M.; GAMA, E. M.; REIS, B. M.; REIS, A. C. P.; GOMES, F. J. S.; MATOS, R. P. Análise da alcalinidade, cloretos, dureza, temperatura e condutividade em amostras de água do município de Almenara/MG. **Recital - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG**, v. 2, n. 2, p. 52–64, 2020.

ONU – UNITED NATIONS. **World Population Prospects 2019**. New York, 17 jun. 2019. Disponível em: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf. Acesso em: 29 jul. 2021.

PESSOA, L. G. M.; FREIRE, M. B. G. S.; FILHO, J. C. A.; SANTOS, P. R.; MIRANDA, M. F. A.; FREIRE, F.J. Characterization and Classification of Halomorphic Soils in the Semiarid Region of Northeastern Brazil, **Journal of Agricultural Science**, v. 11, p. 405-418, 2019.

PINHO, J.; GALDINO, M. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CEPTEL-CRESESB, 2014.

RABADIA, C. Factors Influencing the Productivity of Solar Still, **International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology**, 3, p. 313-322, 2015.

SANTOS, W. P. R.; SANTOS, W. S. Evidências da viabilidade da ampliação de sistemas fotovoltaicos no Polígono das Secas. **ANAIS - VII Congresso Brasileiro de Energia Solar - 2018**, [S. l.], p. 1-9, 2018.

SILVA, F. P.; QUIRINO, J. M. Dessalinização por osmose reversa. **Tecnológica da Universidade Santa Úrsula**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 2, p. 16-32, 2020.

SILVEIRA, A. P. P.; NUVOLARI, A.; DEGASPERI, F. T.; FIRSOFF, W. **Dessalinização de águas**. São Paulo – SP: Oficina de Textos, p. 288, 2015.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RiMa/IIIE, p. 247, 2003.

VASCONCELOS, H. C. Sol... Em vez de petróleo! Materiais semicondutores para produção de eletricidade por efeito fotovoltaico. Açoriano Oriental, Açores Magazine, UAciência, p. 28-29, 2017.

VENANCIO, D. F. V.; SANTOS, R. M.; CASSARO, S.; PIERRO, P. C. C. A crise hídrica e sua contextualização mundial. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 22, p. 1-13, 2015.

VERIATO, M. K. L.; BARROS, H. M. M.; SOUZA, L. P.; CHICÓ, L. R.; BAROSI, K. X. L. Água: Escassez, crise e perspectivas para 2050. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 5, p. 17-22, 2015.

VIANA, M. G.; SANTOS, P. F.; ALVES JUNIOR, I. S.; SCARAMUSSA, S. A. L.; SANTOS JUNIOR, J. V.; ARAUJO, P. M. M. Estudo de um dessalinizador solar de água visando

aplicações na área de tecnologia social. **Anais do X Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe** , São Cristóvão - SE, p. 578-586, 2018.

WWAP, The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-based Solutions, UNESCO, Paris, 2018.

APÊNDICE A – Figuras referentes a associação dos perfis de temperatura e água dessalinizada e instantânea para os dessalinizadores estudados.

Figura 26 - Perfis de temperatura e água dessalinizada – Dupla inclinação 26 de novembro

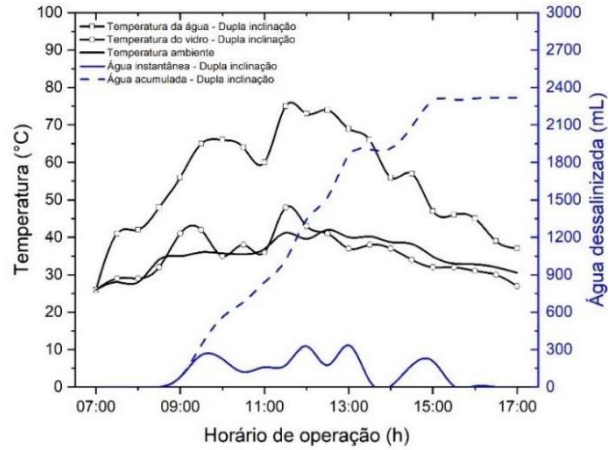


Figura 27 - Perfis de temperatura e água dessalinizada – Pirâmide 26 de novembro

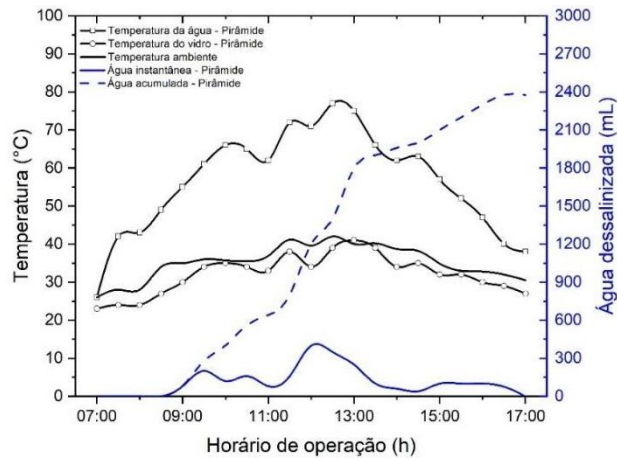


Figura 28 - Perfis de temperatura e água dessalinizada – Dupla inclinação 27 de novembro

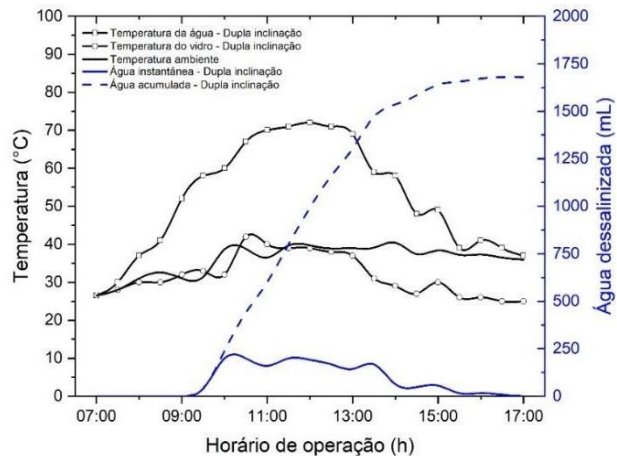


Figura 29 - Perfis de temperatura e água dessalinizada – Pirâmide 27 de novembro

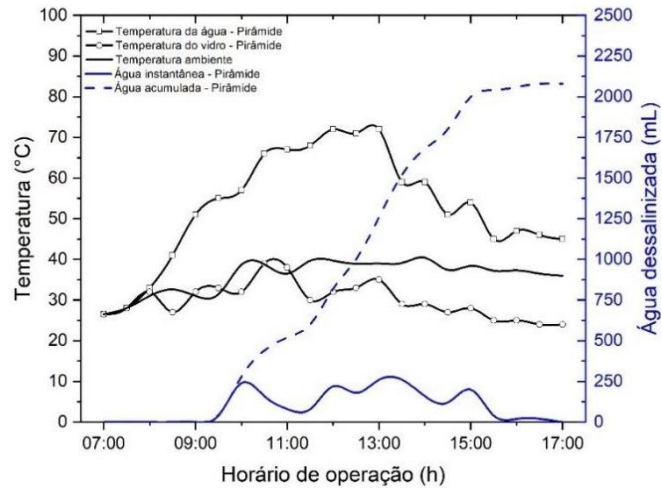


Figura 30 - Perfis de temperatura e água dessalinizada – Dupla inclinação 28 de novembro

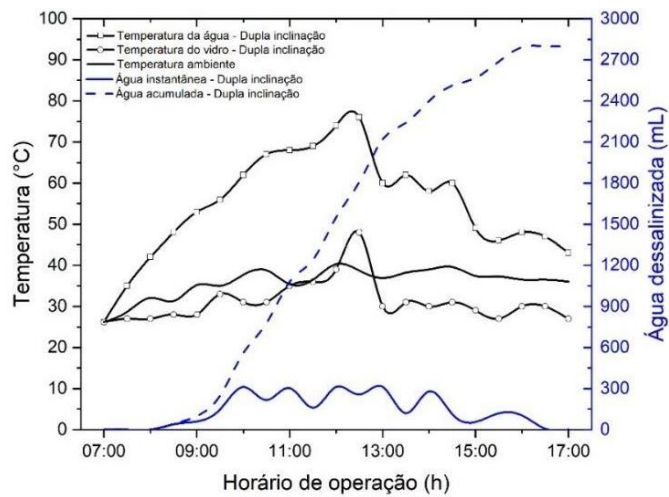


Figura 31 - Perfis de temperatura e água dessalinizada – Pirâmide 28 de novembro

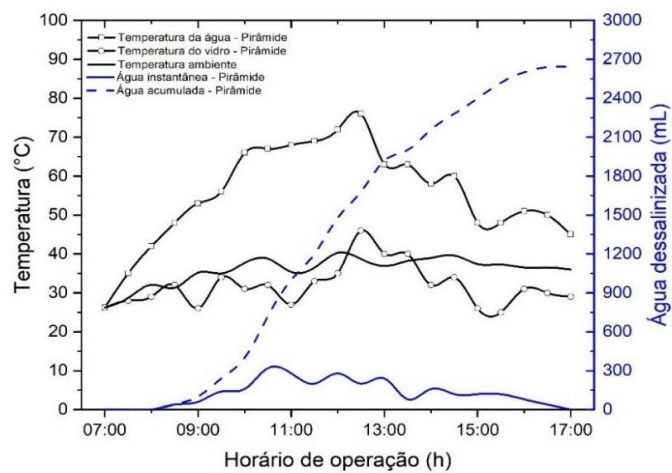


Figura 32 - Perfis de temperatura e água dessalinizada – Dupla inclinação 02 de dezembro

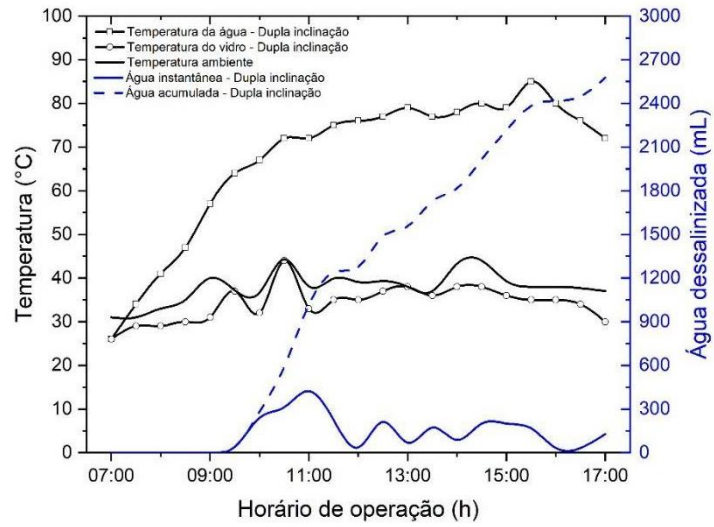


Figura 33 - Perfis de temperatura e água dessalinizada – Pirâmide 02 de dezembro

