



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA – UEPB
PRÓ - REITORIA DE PÓS - GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
AMBIENTAL
DOUTORADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

VANESSA ROSALES CONSERVA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO DESSALINIZADOR SOLAR HÍBRIDO COM
MÓDULOS TERMOELÉTRICOS ACOPLADO AO GERADOR EÓLICO**

**CAMPINA GRANDE - PB
2022**

VANESSA ROSALES CONSERVA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO DESSALINIZADOR SOLAR HÍBRIDO COM
MÓDULOS TERMOELÉTRICOS ACOPLADO AO GERADOR EÓLICO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade
Estadual da Paraíba - UEPB, em cumprimento às
exigências para obtenção do título de Doutor em
Engenharia Ambiental.

Linha de pesquisa: Tratamento e Qualidade de Águas

ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Antônio Pereira de Lima
COORIENTADORA: Prof^ª. Dra. Keila Machado de Medeiros

**CAMPINA GRANDE - PB
2022**

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.

C755a Conserva, Vanessa Rosales.

Avaliação do desempenho do dessalinizador solar híbrido com módulos termoeletrônicos acoplado ao gerador eólico [manuscrito] / Vanessa Rosales Conserva. - 2022.

122 p. : il. colorido.

Digitado.

Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde , 2023.

"Orientação : Prof. Dr. Carlos Antonio Pereira de Lima , Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

"Coorientação: Prof. Dr. Keila Machado de Medeiros , UFRB - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia"

1. Sistema híbrido. 2. Energia renovável. 3. Escassez hídrica. I. Título

21. ed. CDD 628.167

VANESSA ROSALES CONSERVA

**AValiação DO DESEMPENHO DO DESSALINIZADOR SOLAR HÍBRIDO COM
MÓDULOS TERMOELÉTRICOS ACOPLADO AO GERADOR EÓLICO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade
Estadual da Paraíba - UEPB, em cumprimento às
exigências para obtenção do título de Doutor em
Engenharia Ambiental.

Aprovada em: 12/ 12/ 2022.

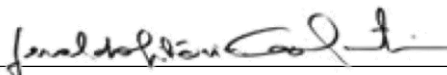
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Carlos Antônio Pereira de Lima
Orientador - DESA – UEPB



Prof^ª. Dra. Keila Machado de Medeiros
Coorientadora -
CETENS – UFRB



Prof^ª. Dra. Geralda Gilvânia Cavalcante
Examinador Interno - DESA – UEPB

Valderi Duarte Leite

Prof. Dr. Valderi Duarte Leite
Examinador Interno - DESA – UEPB



Prof. Dr. Djoille Denner Damm
Examinador Externo - CETENS – UFRB



Prof^ª. Dra. Silvanete Severino da Silva
Examinadora Externa - DECAM – UFERSA

CAMPINA GRANDE - PB

2022

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer a Deus por me dar forças e me ajudar a seguir todos os passos para a realização deste trabalho

Ao meu orientador Prof. Carlos Antônio, por todos esses anos de aprendizado ao seu lado, foi um prazer ter sua efetiva colaboração durante esse doutoramento, obrigada pela paciência e compreensão em todos os momentos.

À minha Coorientadora professora Keila Machado, sua forma dedicada e atenciosa ao longo desta jornada, contribuíram para a conclusão desta pesquisa.

Ao professor Ricardo Chacartegui pela recepção calorosa e toda aprendizagem no período de doutorado sanduíche na Universidade de Sevilha.

À Universidade Estadual da Paraíba, a Pós graduação de Ciências e Tecnologia Ambiental e ao grupo de pesquisa Grutaa em especial a Karina pelas contribuições ao trabalho realizado. Agradecimento a professora

À equipe do Proinfra-UEPB pelo suporte e atenção nos processos de montagem do gerador eólico, em especial Engenheiro Adriano.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Capes pelo apoio financeiro a pesquisa realizada.

Agradecimento em especial ao meu pai, professor da UFCG do Departamento de Engenharia elétrica Dr. Luis Rosales por me incentivar, por dar suporte, coragem e paciência para seguir em frente, meu maior exemplo de simplicidade e bondade, foi essencial nas discussões técnicas no desenvolvimento de alguns dispositivos, principalmente para o funcionamento dos equipamentos elétricos e o gerador eólico.

À minha mãe Edilene, minha rainha e maior mestra, minha terapeuta emocional, obrigada por todas palavras de carinho, motivação e afeto, obrigada por sempre lutar por mim.

Ao meu esposo Kenyeryk por contribuir na construção dos dessalinizadores e gerador eólico, principalmente nas medições elétricas, pelo apoio incondicional e por sempre está ao meu lado, vibrando pelo meu sucesso.

Às minhas filhas Luisa e Kyara que me apoiaram, com os gestos e atitudes mais simples e verdadeiras, sempre tiveram compreensão da minha ausência nos momentos de construção desta tese, não deixando de lado meus irmãos Berman e Priscila, obrigado pelos incentivos e toda energia positiva.

À minha prima Nathalia Ellen, personal trainer e psicóloga, que me escutou nos momentos de aflição e com palavras de carinho e conforto acalmou meu coração, dividimos confidências acadêmicas ao longo dessa trajetória. Não menos importante, minha tia Jana (in memoriam) e meu tio Beto, que sempre me encorajaram e torceram por mim em todos os momentos.

RESUMO

A escassez de água no mundo é agravada em virtude do crescimento populacional, a urbanização, e ao aceleração das indústrias, o que provoca a redução de disponibilidade hídrica, e conseqüentemente desigualdade social. Por sua vez as águas subterrâneas do semiárido brasileiro apresenta características salobras o que dificulta seu aproveitamento para consumo humano. Essa tese aborda a temática referente à tecnologia de tratamento térmico de água salobra. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho térmico de três dessalinizadores solar do tipo pirâmide assimétrico, aprimorando o sistema proposto com energia eólica e módulos termoeletrônicos, com intuito de aumentar a produtividade de água dos dessalinizadores. A pesquisa experimental foi realizada sob condições climáticas na cidade de Campina Grande-PB, na Universidade Estadual da Paraíba (latitude $7^{\circ} 13' 50''$, longitude de $35^{\circ} 52' 52''$), e a água salobra foi utilizada de um poço artesiano localizado na zona rural do município de Barra de Santana-PB. Três dessalinizadores tipo pirâmide assimétrico foram projetados e construídos, sendo (Modelo DP) como modelo referencial dessalinizador passivo, um dessalinizador ativo com coletor solar espiral (Modelo DA) e um dessalinizador híbrido com módulos termoeletrônicos acoplados ao gerador eólico (Modelo DH). Os resultados experimentais constataram que a temperatura máxima da água do dessalinizador híbrido atingiu 78°C , o dessalinizador ativo foi $67,9^{\circ}\text{C}$, enquanto o dessalinizador passivo foi 65°C , quando a radiação solar média foi 972 W.m^{-2} . Contudo, a produtividade de água dessalinizada foi $2153,84\text{ mL.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$, $3076,92\text{ mL.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ e $7615,38\text{ mL.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ para os modelos DP, DA e DH, respectivamente. Para o DH a produtividade no período diurno somado ao período noturno foi $12410,25\text{ mL.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$. Esses dados se correlacionam com um aumento de 30% para o dessalinizador ativo e 576% para o dessalinizador híbrido comparado ao dessalinizador passivo inerente a produtividade de água. Constatou-se que a taxa de produção de água dessalinizada foi proporcional ao aumento da temperatura ambiente e intensidade de radiação solar. No que refere-se a avaliação da qualidade da água salobra e destilada, houve redução significativa dos parâmetros físico-químicos avaliados, principalmente o sódio e condutividade elétrica da água destilada, com diminuição de 100% e 98,8%, respectivamente. Comparando os resultados do desempenho térmico dos dessalinizadores ativo e híbrido com estudos anteriores, demonstraram viabilidade técnica da presente pesquisa, conclui-se que o modelo de dessalinizador pirâmide assimétrico híbrido acoplado ao gerador eólico, pode contribuir para problemas relacionados a escassez hídrica no semiárido, trazendo alternativa sustentável.

Palavras-chave: Sistema híbrido; energia renovável; potabilidade; semiárido; escassez hídrica.

ABSTRACT

Currently, there is a massive water shortage of fresh water, so the need for potable water becomes indispensable. Groundwater in most of the Brazilian semiarid region has brackish characteristics, making it difficult to use it for human consumption. This research project addresses the issue of heat treatment technology for brackish water. The objective of this work was to evaluate the thermal performance of three asymmetric pyramid solar desalinators, improving the proposed system with wind energy and thermoelectric modules, in order to increase the production of drinking water. solar. The experimental research was carried out under climatic conditions in the city of Campina Grande-PB, at the State University of Paraíba (latitude $7^{\circ} 13' 50''$, longitude $35^{\circ} 52' 52''$), and brackish water was used from an artesian well. located in the rural area of the municipality of Barra de Santana-PB. Three asymmetric pyramid desalinators were designed and built, the experiments were carried out simultaneously, being (DP Model) as a reference model a passive desalinator, an active desalinator with spiral solar collector (Model DA) and a hybrid desalinator with thermoelectric modules coupled to the wind generator (Model DH). The results found that the maximum water temperature of the hybrid desalinator reached 78°C , the active desalinator was 67.9°C , while the passive desalinator was 65°C , when the average solar radiation was $972 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. However, the productivity of desalinated water was $2153.84 \text{ mL}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, $3076.92 \text{ mL}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ and $7615.38 \text{ mL}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ for the DP, DA and DH models, respectively. For DH, the productivity at night was $4794.87 \text{ mL}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. These data correlate with an increase of 39.35% for the active desalinator and 576% for the hybrid desalinator compared to the passive desalinator inherent in water productivity. It was found that the rate of production of desalinated water was proportional to the increase in ambient temperature and intensity of solar radiation. Regarding the evaluation of the quality of brackish and distilled water, there was a significant reduction in the physical-chemical parameters evaluated, mainly sodium and electrical conductivity of the distilled water, with a decrease of 100% and 99.6%, respectively. Comparing the results of the thermal performance of the active and hybrid desalinators with previous studies, demonstrating the technical feasibility of the present research, it is concluded that the hybrid asymmetric pyramid desalinator model coupled to the wind generator can contribute to problems related to water scarcity in the semiarid region, bringing sustainable alternative.

Keywords: Hybrid system; renewable energy; potability; semiarido

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Processos de interação da radiação solar com os principais constituintes atmosféricos.....	19
Figura 02: Espectro da radiação solar incluindo um detalhamento da faixa visível humana.....	20
Figura 03: Mapa de irradiação solar direta normal do Brasil.....	21
Figura 04: Índice de irradiação média anual da região nordeste.....	22
Figura 05: Média de insolação diária do estado da Paraíba.....	23
Figura 06: Dessalinizador solar simples.....	30
Figura 07: Dessalinizador solar com ventilador na cobertura piramidal, esquemático (esquerda) e configuração experimental (direita).....	32
Figura 08: Arranjo experimental do dessalinizador com aspersor (esquerda) e ventilador (direita).....	33
Figura 09: Sistema de dessalinização multi estágio com coletor solar.....	33
Figura 10: Dessalinizador solar no Seridó –PB.....	34
Figura 11: Dessalinizador solar do tipo bandeja.....	35
Figura 12: Dessalinizador solar com refletores de radiação integrados.....	36
Figura 13: Potencial Eólico Anual a 150 m de altura.....	40
Figura 14: Produtividade de água potável de dois tipos de dessalinizadores.....	42
Figura 15: Componentes do dessalinizador híbrido.....	43
Figura 16: modelos de turbina eólica horizontal e vertical (a) vista da instalação no telhado (b)turbina de cobertura (c) extremidade do telhado (d) entre edifício aerodinâmico.....	44
Figura 17: Modelo experimental de destilação termoelétrica.....	45
Figura 18: Configuração do dessalinizador solar com módulo termoelétrico.....	47
Figura 19: Coletor solar em espiral, plano e tubular para aquecimento de água.....	48
Figura 20: Balanço de energia do dessalinizador com módulo termoelétrico.....	49
Figura 21: Balanço de energia da cobertura de vidro do dessalinizador.....	50
Figura 22: Balanço de energia para a água do dessalinizador.....	52
Figura 23: Balanço de energia para a bandeja do dessalinizador.....	53
Figura 24: Balanço de energia para o isolante do dessalinizador.....	54

Figura 25: Configuração do sistema de dessalinização.....	57
Figura 26: Sistema estrutural do dessalinizador.....	58
Figura 27: Etapas da construção do sistema de dessalinização experimental.....	59
Figura 28: Coletor solar espiral.....	60
Figura 29: Bandeja com dispositivos elétricos.....	61
Figura 30: Sistema de dessalinização experimental	62
Figura31: Sistema completo de medição (a) painel de comando (b).....	64
Figura 32: Instalação do gerador eólico.....	67
Figura 32: Medidor digital(a), transformador elétrico(b), amperímetro(c).....	67
Figura 33: Perfil de temperatura do dessalinizador solar D1.....	68
Figura 34: Perfil de temperatura do dessalinizador solar D2.....	69
Figura 35: Perfil de temperatura do dessalinizador solar D3.....	70
Figura 36: Produtividade dos dessalinizadores solar em modo passivo.....	70
Figura 37: Ensaio experimental coletor solar.....	72
Figura 38: Perfil de temperatura do coletor solar espiral com vidro.....	72
Figura 39: Perfil de produtividade e curva de variação da radiação solar.....	74
Figura 40: Perfil de produtividade de água DH e DP no período diurno.....	77
Figura 41: Perfil de temperatura do DH em função do gerador eólico.....	78
Figura 42: Perfil de produtividade do DH no período noturno.....	79
Figura 43: Perfil de temperatura e produtividade de água do DH no período noturno.....	81
Figura 44: Perfil de temperatura da água e radiação solar.....	84
Figura 45: Perfil de temperatura do vidro interno e radiação solar.....	84

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Comparação de diversos dessalinizadores solar de acordo com as mudanças nos parâmetros de projeto.....	28
Quadro 02: Especificação técnica do gerador eólico.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Estudos sobre o desempenho de turbina eólica de pequena escala.....	51
Tabela 02: Parâmetros construtivos e operacionais do dessalinizador	57
Tabela 03: Propriedades elétricas do módulo termoeletrico.....	62
Tabela 04: Parâmetros para caracterização da água.....	63
Tabela 05: Precisão e mensuração dos instrumentos.....	66
Tabela 06: Variação de temperatura entre a entrada e saída do coletor solar.....	67
Tabela 07: Produtividade dos dessalinizadores ativo e passivo.....	75
Tabela 08: Variação dos dados elétricos dos módulos termoeletricos em laboratório...	76
Tabela 09: Comparação entre dessalinizador híbrido período noturno e diurno.....	82
Tabela 10: Comparação da produtividade de água entre o presente trabalho e outros em diferentes locais.....	87
Tabela 11: Comparação da água bruta, água destilada e os valores padrões de potabilidade exigidos pelo ministério da saúde.....	90

LISTA DE SÍMBOLOS

I	Irradiação solar
A_a	Área da água
A_v	Área do vidro
A_b	Área da bandeja
A_{iso}	Área do isolante
C_b	Capacidade calorífica da bandeja
C_a	Calor específico da água
C_v	Calor específico do vidro
$h_{c\ v-amb}$	Transferência de calor por convecção entre vidro e ambiente
hc	Transferência de calor por convecção
hev	Transferência de calor por evaporação
h_{rad}	Transferência de calor por radiação
$h_{c\ a-v}$	Transferência de calor por convecção entre a água e o vidro
$h_{rad\ a-v}$	Transferência de calor de radiação entre a água e o vidro
h_{v-amb}	Coefficiente de transferência de calor do vidro e ambiente
h_{b-amb}	Transferência de calor entre a bandeja e o ambiente
$h_{ev\ a-v}$	Transferência de calor por evaporação de água e vidro
$h_{ev\ a-v}$	Transferência de calor por evaporação de água e vidro
L	Calor latente
m	Produtividade de água diária
m_b	Massa da bandeja
m_v	Massa do vidro
m_a	Massa da água
P_a	Pressão da água
P_v	Pressão do vidro
q	Taxa de transferência de calor
q_r	Fluxo de calor por radiação
t	Tempo

T_{iso}	Temperatura do isolante
T_b	Temperatura bandeja
v	Velocidade do vento
a_v	Absorvidade do vidro
σ	Constante Boltzman
ρ	Densidade da água
ε	Emissividade
τ_{al}	Transmissividade do Alumínio
τ_v	Transmissividade do vidro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	Objetivo Geral.....	17
2.2	Objetivos Específicos.....	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1	Escassez de água.....	18
3.2	Radiação Solar.....	19
3.2.1	<i>Energia Solar no estado da Paraíba.....</i>	<i>22</i>
3.3	Dessalinização Solar.....	23
3.4	Fatores que Influenciam no Processo de Dessalinização Solar.....	24
3.5	Modelos de dessalinizadores solar.....	29
3.5.1	<i>Dessalinizadores solar passivo.....</i>	<i>30</i>
3.5.2	<i>Dessalinizadores Solar Ativos.....</i>	<i>31</i>
3.6	Dessalinização Solar no Brasil.....	34
3.7	Mecanismo de transferência de calor no dessalinizador solar.....	36
3.8	Balanco energético dos dessalinizadores solar.....	40
3.9	Energia Eólica e Dessalinização.....	46
3.10	Turbinas Eólicas.....	49
3.11	Módulo Termoelétrico Peltier.....	51
3.12	Coletor Solar.....	53
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	56
4.1	Configuração do Sistema de Dessalinização Híbrido Solar.....	56
4.2	Coletor Solar e Demais Dispositivos Elétricos.....	59
4.2.1	<i>Coletor Solar.....</i>	<i>59</i>
4.2.2	<i>Módulos Termoelétricos.....</i>	<i>60</i>

4.3	Caracterização da Área de Estudo para o Dessalinizador Experimental.....	62
4.4	Parâmetros e Instrumentação.....	63
4.5	Gerador Eólico de Pequeno Porte.....	65
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
5.1	Análise térmica inicial dos três dessalinizadores solar.....	69
5.2	Avaliação do coletor solar espiral experimental.....	73
5.2.1	<i>Análise comparativa dos dessalinizadores solar DA e DP.....</i>	74
5.3	Avaliação do dessalinizador solar híbrido acoplado ao gerador eólico.....	75
5.3.1	<i>Dessalinizador solar híbrido experimento realizado no mês de Junho.....</i>	78
5.3.2	<i>Dessalinizador solar híbrido realizado no mês de outubro.....</i>	79
5.4	Análise do sistema experimental de dessalinização solar.....	85
5.4.1	<i>Comparação dos perfis de temperatura dos dessalinizadores solar experimental...</i>	86
5.4.2	<i>Análise da produtividade de água dos dessalinizadores solar.....</i>	88
5.5	Comparação da qualidade de água bruta e dessalinizada.....	91
6	CONCLUSÃO	93
	REFERÊNCIAS.....	84
	ANEXOS.....	107

1 INTRODUÇÃO

Existe uma estimativa que em torno de 3,5 milhões de pessoas morrem anualmente devido ao suprimento inadequado de água potável, reforçando assim o papel da água como um recurso global crítico (LUO, YOUNG e REIG, 2015). Somado a isso, o crescimento populacional proporcional ao aumento da demanda de água está tornando-se um grande problema, e o acesso à água potável está cada vez mais difícil, principalmente para pessoas que vivem em áreas remotas afastadas dos centros urbanos (HAMED et al., 2015; SHANNON et al., 2010).

Segundo Ageitec (2016), a predominância de rochas cristalinas no subsolo em grande parte do Semiárido brasileiro impõe características salobras e salinas às águas subterrâneas, dificultando seu aproveitamento para consumo humano. Em geral, os sistemas aquíferos apresentam vazões inferiores a $3,0 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ e teores de sólidos dissolvidos totais, em média, $3,0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, com predominância de cloretos.

Contudo, uma alternativa para resolver o problema da escassez hídrica no semiárido seria a união de tecnologias que ofereçam baixo custo e alta eficiência somando aos recursos naturais disponíveis, como por meio da dessalinização via energia solar.

A dessalinização solar é uma técnica simples, atrativa, com requisitos mínimos de fabricação e manutenção, em comparação com outros processos. Neste sentido, o desafio é produzir água potável através da dessalinização solar, com custo acessível. Os dessalinizadores solar podem ser utilizados para fins residenciais, principalmente em regiões sem acesso à energia elétrica. Também proporciona benefícios socioeconômicos e ambientais, uma vez que favorece a disseminação social, o que possibilita seu uso individual ou coletivo, e não causando impactos ambientais.

O dessalinizador solar produz água potável, sem produtos químicos e sem uso de elementos filtrantes. Marinho et al. (2015) descrevem que em regiões, onde a intensidade de radiação solar disponível é média e alta, como o semiárido brasileiro (radiação solar global entre 500 e $900 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, durante 6 a 7 horas em dias sem nuvens), o dessalinizador pode ser utilizado, não só para retirada de sais, mas também para o tratamento da água no que concerne a eliminação de microrganismos vivos.

O comportamento do dessalinizador solar é caracterizado pelas diferentes transferências de massa e calor que ocorrem no seu interior a partir de três fenômenos distintos: a livre convecção existente entre o ar saturado úmido e a parte interna da cobertura do dessalinizador,

a transferência de energia entre os processos de evaporação e condensação, emitida pelas superfícies internas e externas, lâmina de água e o vidro do dessalinizador (GAMEIRO, 2010).

Para analisar a eficiência de um dessalinizador solar é preciso monitorar a radiação solar, temperatura, dados pluviométricos, e estimar o rendimento da evaporação/condensação, ou seja, o quanto a água tratada pode ser produzido a cada dia (TIWARI e SAHOTA, 2007). No intuito de aumentar a produtividade do dessalinizador, se faz necessário o acoplamento de sistemas fornecedores de energia extra, principalmente as energias renováveis.

As energias renováveis comumente consideradas para a dessalinização são a energia solar, eólica e geotérmica. A energia solar ocupa quase 57% do mercado mundial de dessalinização com base em energia renovável (ELTAWIL, ZHENGMING e YUAN, 2010).

A energia eólica tem grande potencial em aplicações de dessalinização, especialmente se as turbinas eólicas estiverem próximas das unidades de dessalinização (NINIC, KLARIN e TOLJ, 2012). O fator limitante da aplicação de energia eólica na dessalinização solar é principalmente a baixa ou nenhuma velocidade do vento dependendo da região. Assim, a energia eólica deve ser acoplada a outra fonte de energia renovável, como por exemplo, a energia solar.

As características positivas do sistema híbrido solar/eólico proposto, é que os recursos eólicos e solar se complementam. Durante a noite e nos períodos de inverno, o dessalinizador depende da energia eólica, para acionar os dispositivos elétricos, com a finalidade de aquecer o sistema de dessalinização, e posteriormente evaporar a água. No verão e durante o dia, o sistema proposto vai depender principalmente da energia solar.

Contudo, sabe-se que muitas das águas disponíveis para a sociedade, estão com alto teor de sais dissolvidos, ou contaminados biologicamente, o que corrobora para o aumento de doenças. Assim, torna-se necessário, fornecer água de boa qualidade para o consumo humano. Neste sentido, o uso de tecnologias de dessalinização, mostra-se uma ferramenta eficiente na promoção de água potável, em outras palavras, as tecnologias têm buscado fornecer uma água segura, que atenda os parâmetros estabelecidos pela Portaria nº 888 de 04 de maio de 2021 do Ministério da Saúde que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5 de 28 de setembro de 2017, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2021).

Pretende-se nesta pesquisa, avaliar o desempenho térmico do dessalinizador solar, tipo pirâmide assimétrico híbrido e que o mesmo, funcione de forma contínua. O aprimoramento do sistema proposto será a partir da energia eólica e solar, em conjunto com módulos termoelétricos, para aumentar a eficiência da produção de água potável.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho de um dessalinizador solar do tipo pirâmide assimétrico, com módulos termoelétricos acoplado ao gerador eólico, com o intuito de aumentar a eficiência da produção de água potável.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma análise térmica de três dessalinizadores solar pirâmide assimétrico operando de modo passivo;
- Avaliar a influência do coletor solar espiral no processo de dessalinização solar;
- Avaliar a influência do gerador eólico e os módulos termoelétricos no dessalinizador híbrido no período diurno e noturno;
- Comparar simultaneamente o desempenho térmico de três dessalinizadores solar do tipo pirâmide assimétrico, comparando o passivo com a adição dos módulos termoelétricos e com o uso do coletor solar;
- Verificar a qualidade físico-química da água, antes e após o processo de dessalinização solar.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Escassez de água

A água é essencial para todas as formas de vida na terra, sendo um dos recursos mais abundantes, a qual é fornecida pela própria natureza, através do ciclo hidrológico. Entretanto, a água doce é responsável por apenas 3% das fontes de água do planeta, na forma de gelo, água subterrânea, lagos e rios, enquanto os 97% restantes, são água do mar (GILAU e SMALL, 2018).

De acordo com o programa das nações unidas para o meio ambiente, muitos países, principalmente países em desenvolvimento e países da região do Oriente Médio, sofrem com a escassez de água doce. A Organização das Nações Unidas (ONU) afirmou que um terço da população mundial vive em países com água doce insuficiente para apoiar a população (ONU, 2019).

Grande parte da população das regiões áridas e semiáridas enfrentam dificuldades associadas ao fornecimento de água potável. Quando relacionado a qualidade de água, tais problemas incluem salinidade, ferro, manganês, fluoreto, metais pesados, contaminação bacteriana e resíduos agrícolas como pesticidas/herbicidas (HANSON et al., 2004), os quais causam diversos danos ao ambiente e a saúde humana.

O Semiárido brasileiro é caracterizado por pluviometria irregular, evapotranspiração e radiação solar elevada. Ocupa uma área de 1,03 milhões de km², que abrange municípios dos nove estados do nordeste e do norte do estado de Minas Gerais, totalizando 1.262 municípios (SUDENE, 2017).

Contudo, a população busca fontes alternativas de água para sobrevivência, como por exemplo, águas subterrâneas. O embasamento de rochas cristalinas nestes aquíferos subterrâneos, torna a água captada sempre constituída por grandes quantidades de sais dissolvidos, tornando imprópria para consumo humano (ALVES et al., 2015).

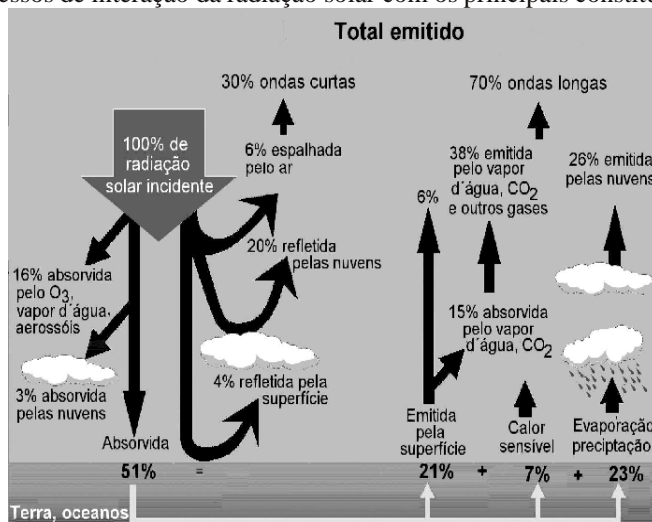
No estado da Paraíba, desde a implantação do Programa Água Doce em 2008, foram diagnosticados diversos sistemas de dessalinização e implantadas Unidades Demonstrativas nos municípios de Amparo, Aroeiras e Sumé (AZEVEDO et al., 2013). Portanto, é indispensável considerar as particularidades das condições de vida da população da região semiárida brasileira, além de proporcionar o acesso à água potável.

3.2 Radiação Solar

A radiação solar é a força motriz para muitos processos físico-químicos e biológicos que ocorrem na terra e na atmosfera, constituindo-se em importante variável meteorológica para estudos de necessidade hídrica, culturas irrigadas, modelagem do crescimento e produção vegetal e as mudanças climáticas (BORGES et al., 2010).

O fluxo de radiação solar (irradiância solar) oscila entre 1.325W.m^{-2} e 1.412W.m^{-2} . O valor médio da irradiância solar é igual a 1.366W.m^{-2} , o qual é definido como a constante solar (FU et al., 2017). Na Figura 01 são apresentados os principais processos radiativos que acontecem na atmosfera terrestre.

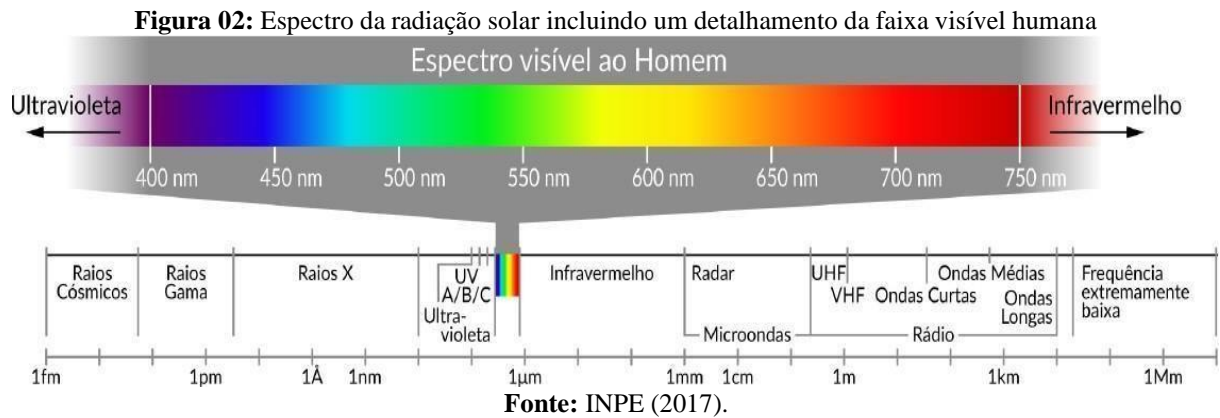
Figura 01: Processos de interação da radiação solar com os principais constituintes atmosféricos



Fonte: Fiorin et al. (2011)

Os processos físicos de espalhamento da radiação solar, são produzidos por moléculas de gases atmosféricos e partículas em suspensão, dos quais 51% da radiação solar incidente é absorvida, o restante é refletida pela superfície, pelas nuvens e espalhada pelo ar (FIORIN et al., 2011).

A maior parte do espectro da radiação é emitido pelo Sol, cerca de 81% da energia que chega no sistema terra/atmosfera, encontra-se na faixa que vai do visível ao infravermelho próximo, conforme ilustrado na Figura 02.



Sobre as duas componentes da radiação solar o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2017) afirma que:

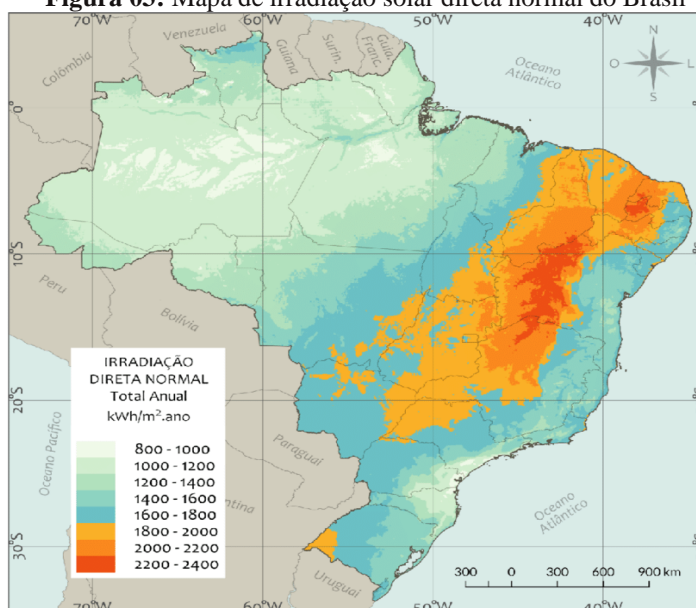
“A irradiância solar ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) que incide em uma superfície é composta por suas componentes direta e difusa. A irradiância solar direta apresenta direção de incidência na linha imaginária entre a superfície e o Sol e representa a parcela que não sofreu os processos radiativos de absorção e espalhamento que ocorrem na atmosfera. A componente difusa engloba a radiação proveniente de todas as demais direções que são decorrentes dos processos de espalhamento pelos gases e partículas presentes na atmosfera”.

Qualquer aplicação para uso da energia solar, deve começar pelo estudo das variações da radiação solar ao longo do ano, em termos regionais e para diferentes condições de exposição. As séries temporais e espaciais, das componentes da radiação incidente à superfície, permitem conhecer a disponibilidade energética diurna, mensal e anual, entretanto, exigem medidas simultâneas de rotina em diferentes condições astronômicas, sendo elas, geográficas e climáticas (SOUZA et al., 2011).

Estudos sobre a radiação solar são indispensáveis para o seu aproveitamento como recurso energético renovável. É imprescindível conhecer profundamente todos os conceitos inerentes a radiação, para utilizar especialmente em regiões, às quais, fontes convencionais ainda não chegaram.

Conforme o Atlas Brasileiro de Energia Solar (ABREU et al., 2017), o Brasil está entre os países com os maiores índices de irradiação solar global do mundo, com médias anuais relativamente altas em todo seu território e com boa uniformidade durante o ano.

Entre as regiões do Brasil, a que possui maior média de irradiação solar global horizontal ($5,9 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$) é a região Nordeste. Na Figura 03 são apresentados os dados da irradiação solar do Brasil.

Figura 03: Mapa de irradiação solar direta normal do Brasil

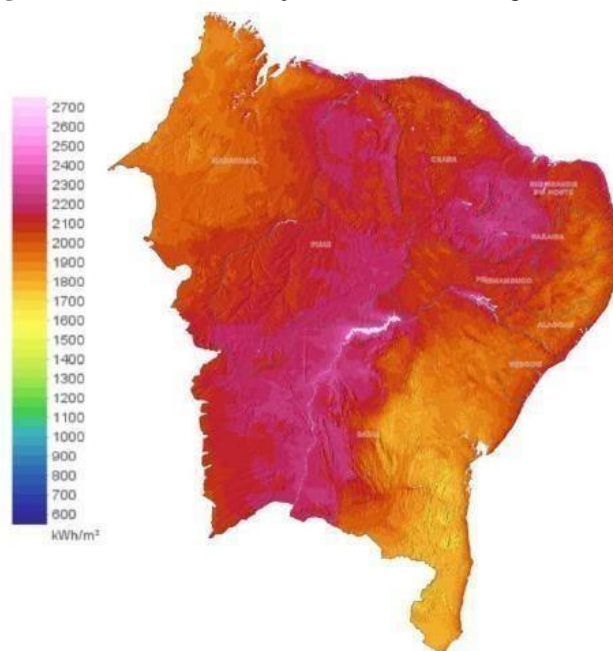
Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017).

Percebe-se, a partir desta abrangência espacial, que o Brasil recebe elevada irradiação solar, acima de $2000 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$, assim sendo, uma energia renovável e abundante disponível no planeta Terra, o sol pode ser utilizado como fonte de calor ou de energia.

No Brasil, existem estações meteorológicas automáticas, operadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que são empregadas para fins de estudos meteorológicos e monitoramento ambiental. Operam de forma automática, fornecendo os dados relacionados à irradiação solar de diversas regiões, esses dados são transmitidos via satélite e distribuídos por todo o território nacional (INMET, 2016).

Ferraz et al. (2018) realizaram um estudo comparativo do potencial de geração de energia solar do Nordeste brasileiro, com o potencial de geração de energia solar da Alemanha, apresentando variáveis como irradiação, temperatura, e suas influências nos módulos fotovoltaicos. A Figuras 04 apresenta o mapa de irradiação solar do nordeste Brasileiro.

Figura 04: Índice de irradiação média anual da região nordeste



Fonte: Ferraz et al. (2018).

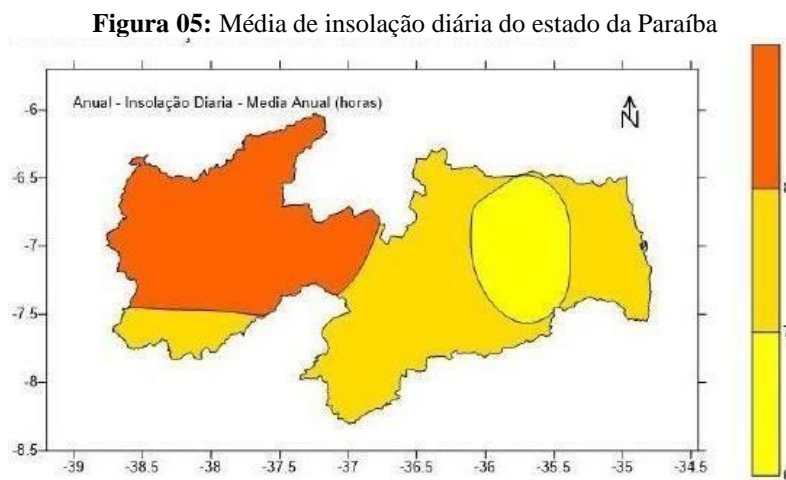
A pesquisa comparou os índices de irradiação do Nordeste com a Alemanha, Ferraz et al. (2018) observaram a superioridade nordestina, a qual apresentou um percentual de irradiação de 40% maior que o da Alemanha. As cidades nordestinas analisadas apresentaram altos índices de irradiação solar, comparáveis às melhores regiões do mundo e as baixas variações sazonais, o que resulta em importantes vantagens técnicas e econômicas dos sistemas solar instalados nesta região.

3.2.1 Energia Solar no estado da Paraíba

Segundo o Comitê de Energias Renováveis do Semiárido (CERSA), a região do Sertão Paraibano, no que refere-se a incidência de radiação solar é uma das mais elevadas do Brasil, como exemplo, o municípios de Patos e Sousa, ambos localizados no estado da Paraíba, os quais apresentam radiação média anual de 20 MJ.m^{-2} , entretanto, o período do mês de dezembro, estação de maior intensidade de radiação solar, o estado da Paraíba tem radiação média mensal de 26 MJ.m^{-2} (CERSA, 2018).

Francisco et al. (2016) estudaram sobre a radiação solar na região da Paraíba, e concluíram que a partir do mapa de insolação anual do estado da Paraíba, observam-se valores de insolação mínimos de 6 horas diárias na região do Brejo e Agreste, e valores de insolação de 7 horas na região do Litoral, Borborema, Cariri e parte do Sertão do Seridó. Valores máximos

são observados na região do Sertão, com valores diários de 8 horas de insolação. A Figura 05 pode ser visualizada nas médias de insolação diária no estado da Paraíba.



A climatologia na região Paraibana na maior parte do ano, não apresenta nebulosidade, possui temperatura média cerca de 28°C. Essa tendência é praticamente uniforme para todo sertão paraibano, na qual há valores elevados de radiação solar, entre 600 - 800 W. m⁻², e regime de chuvas com precipitação anual acumulada inferior a 1000 mm (NETO et al., 2018). Salienta-se que a distribuição de frequência da velocidade dos ventos revela que são superiores a 4 m.s⁻¹, nos municípios de Patos, Campina Grande e João Pessoa, respectivamente (SOUZA et al., 2010).

3.3 Dessalinização Solar

No século IV, Aristóteles descreveu um método para evaporar a água impura e condensá-la para o uso potável. No entanto, historicamente, o primeiro trabalho documentado sobre destilação solar foi realizado por alquimistas árabes no século XVI. A primeira usina de destilação de água, foi construída em Las Salinas, no Chile, em 1872 (VELMURUGAN e SRITHAR, 2011).

O primeiro dessalinizador solar, possuía área total de 4700 m², um dessalinizador solar básico, a estrutura clássica, consistia em, uma cobertura de vidro com inclinação única e tubos de conexão de ferro (HE, 2009). As tecnologias de destilação são usadas há cerca de séculos atrás, em plantas terrestres e em navios para fornecer água à tripulação. O uso regular de tecnologias de destilação acelerou após a Segunda Guerra Mundial, com o aumento da demanda

por água doce em países áridos (KABEEL e EL-AGOUZ, 2011). As unidades de dessalinização movidas a energia solar podem fornecer água dessalinizada de maneira sustentável, com impactos mínimos no meio ambiente, e são adequadas para áreas remotas e rurais, visto que, é mais difícil, fornecer abastecimento de água doce (SHARON e REDDY, 2015).

Os dessalinizadores solar também podem ser utilizados para fins domésticos, ou seja, residenciais, principalmente em regiões sem acesso à energia elétrica. Por ser uma tecnologia social, proporciona benefícios socioeconômicos e ambientais, uma vez que favorecem a disseminação social, o que possibilita seu uso individual ou coletivo, e não causam impactos ambientais.

Processos de dessalinização em grande escala, necessitam de padrões construtivos, operacionais e de manutenção mais complexos e, como tal, não é apropriado para instalação em áreas rurais de países em desenvolvimento, com recursos econômicos e técnicos limitados (FIORENZA, SHARMA e BRACCIO, 2003). Em contrapartida, o dessalinizador solar tem como característica principal baixo custo operacional e construtivo.

Neste contexto, a China tem maior domínio tecnológico sobre processos de purificação de água que envolvam energia solar, com 45% das patentes depositadas. No entanto, percebe-se que, uma das razões para o Brasil ter pouca aplicação de dessalinizadores solar de tecnologia nacional, seja o fato de não haver envolvimento de empresas nos depósitos de patente (JESUS et al., 2015).

3.4 Fatores que Influenciam no Processo de Dessalinização Solar

Os fatores que influenciam a produtividade do dessalinizador solar são intensidade solar, velocidade do vento, temperatura ambiente, diferença de temperatura água-vidro, área de superfície livre da água, área da bandeja, temperatura da água de entrada, ângulo do vidro e profundidade da água (NAFEY et al., 2000).

Os parâmetros de construção como, área de superfície livre da água, a área da placa absorvedora, a temperatura de entrada da água, o ângulo do vidro, podem ser modificados no intuito de aumentar a produtividade dos dessalinizadores. Por outro lado, que a temperatura ambiente, velocidade do vento e intensidade solar, são parâmetros meteorológicos e não podem ser controlados. Para aumentar a produção do dessalinizador solar, várias pesquisas foram realizadas e relatadas por diferentes pesquisadores, sendo elencados a seguir.

a) Radiação Solar

Diversos estudos relatam que o aumento da radiação solar resulta em maior rendimento no dessalinizador (ABUJAZAR et al., 2016). Os autores Al-hinai, Al-nassri e Jubran (2002) estudaram a influência da radiação solar no desempenho do dessalinizador solar com cobertura de vidro de inclinação única, com produção máxima às 13h:50 min de $0,5 \text{ L.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$.

Almuhanna (2014) também inferiu que a produtividade de água destilada é maior à medida que a intensidade da radiação solar aumenta. Muftah et al. (2014) relataram que transferências de energia que destilam a água na configuração de um dessalinizador solar abrangem o suprimento de calor evaporado e sua remoção do vapor condensado e o aumento das taxas de transferência de energia aumenta o rendimento.

b) Área Superficial da Bandeja

A taxa de evaporação da água do dessalinizador solar é diretamente proporcional à área de exposição da água. Assim, a produtividade aumenta de acordo com a superfície livre da água (VELMURUGAN e SRITHAR, 2011). Para melhores resultados, deve-se aumentar a área de superfície livre da água na bandeja aumenta a produção de água dessalinizada (TANAKA, 2009).

As bandejas podem ser revestidas com tintas pretas para maior absorção da radiação solar. Os autores Madhukeshwara e Prakash (2012) relataram que o revestimento de preto cromado em dessalinizador solar tem maior eficiência térmica quando comparado aos revestimentos preto fosco. Um revestimento seletivo da superfície da bandeja deve resultar em maior produtividade, devido à sua alta capacidade de absorção e menor emissividade (SELVARAJ e NATARAJAN, 2018).

De acordo com Manokar, Murugavel e Esakkimuthu (2014) a taxa de evaporação depende da temperatura da água na bandeja e principalmente da disponibilidade de radiação solar, posto isso, a taxa de evaporação desempenha um papel importante na produtividade de água dessalinizada. Podemos usar placas absorvedoras suspensas, para aumentar a área de superfície livre da bandeja (VELMURUGAN e SRITHAR, 2011).

c) Temperatura de entrada de água

Kumar, anand e Tiwari (1991) utilizaram água quente residual da usina termelétrica no processo de dessalinização solar. Seus resultados mostraram que, mesmo que tenha sido

preenchido com água quente uma vez ao dia, não possui maior produtividade, em relação ao que é alimentado com água quente constante.

Os autores Nayi e Mody (2018) avaliaram dois dessalinizadores solar tipo pirâmide simétrico, um modelo apresentava entrada de água aquecida em aproximadamente 38°C a temperatura constante em todo experimento e o segundo modelo a temperatura de água foi aproximadamente 23°C, valor próximo a temperatura ambiente, todos funcionaram em regime de fluxo contínuo, a eficiência na produtividade de água do primeiro modelo foi superior em 19% comparada ao modelo passivo.

Bezerra et al. (2019a) afirmaram que a partir dos estudos anteriores observados, o desempenho térmico do dessalinizador solar é aprimorado através do aumento da radiação solar, temperatura do ar ambiente e um fator essencial é a temperatura inicial da água na bandeja.

d) Profundidade da lâmina de água

A taxa de evaporação do dessalinizador solar é inversamente proporcional à profundidade da água (TRIPATHI e TIWARI, 2006). A profundidade mínima da água possui um coeficiente de transferência de calor mais alto e, portanto, fornece maior produtividade (MURUGAVEL, CHOCKALINGAM e SRITHAR, 2018).

Tiwari e Tiwari (2006) encontraram o efeito da profundidade da água na transferência de calor e massa em um dessalinizador solar no período de verão. Relataram que com a profundidade mínima da lâmina de água, é alcançada a maior produtividade, devido ao aumento do coeficiente de transferência de calor por convecção e por evaporação.

A partir destes resultados, a lâmina de água com 0,04 m, proporcionou maior eficiência que a água com profundidade de 0,08 m, 0,12 m, 0,16 m e 0,2 m respectivamente (TIWARI e TIWARI, 2006).

Khalifa e Hamood (2009) investigaram o efeito da profundidade da água no desempenho do dessalinizador solar do tipo inclinação dupla, com as cinco diferentes lâminas de água, 1, 4, 6, 8 e 10 cm, descobriram que a menor produtividade encontrada foi com a lâmina de água de 10 cm, com isso a profundidade da lâmina de água no dessalinizador solar tem efeito significativo na produtividade.

e) Velocidade do vento

A velocidade do vento entre 3 e 4,9 m.s⁻¹ aumenta a transferência de calor por convecção da cobertura para a atmosfera devido ao aumento do coeficiente de transferência de calor por

convecção entre a cobertura e a atmosfera, este efeito aumenta as taxas de condensação e evaporação (ZURIGAT e ABU - ARABI, 2004).

Sathyamurthy et al. (2004) verificaram que o aumento da velocidade do vento de 1,5 para 3 m.s⁻¹ e 4,5 m.s⁻¹, tem o efeito de aumentar a produtividade entre 8 e 15,5%, respectivamente. O mesmo foi confirmado por Al-Garni (2012), o qual obteve maior produtividade de água, cerca de 50%, quando a velocidade do vento é alterada de 0 a 10 m.s⁻¹. À medida que a velocidade do vento aumenta, o desempenho do dessalinizador solar também aumenta (KUMAR e DWIVEDI, 2015).

f) Ângulo de vidro de condensação

Singh e Tiwari (2004) descobriram que o rendimento anual do dessalinizador solar é máximo, quando a inclinação da cobertura do vidro de condensação é igual à latitude do local. Ghoneyem e Ilery (1997) verificaram que a inclinação do vidro, pode alterar a produção de água dessalinizada em aproximadamente 63%. Assim, concluiu-se que o ângulo do vidro é um parâmetro importante no processo de construção do dessalinizador.

g) Temperatura da cobertura de vidro

A diferença de temperatura entre a cobertura do dessalinizador e a água presente no dessalinizador é um dos parâmetros essenciais para melhor produtividade de água. Os autores Prakash e Velmurugan (2015) constataram que a diferença de temperatura da cobertura vidro e da água, deve ser aumentada para elevar o desempenho dos dessalinizadores solar, a tampa de vidro pode ser resfriada por água corrente, e com o fluxo de água constante. Arunkumar et al. (2012) avaliaram dois dessalinizadores solar, um modelo passivo e outro com fluxo de água na superfície superior da cobertura de vidro. Concluíram que o modelo passivo tinha uma eficiência de 34%, enquanto o sistema de água com refrigeração na cobertura alcançou uma eficiência de 42%, considerando que a redução da temperatura do vidro aumenta a evaporação.

h) Material de Isolamento do dessalinizador

Geralmente, a máxima eficiência do dessalinizador solar passivo é cerca de 50%, levando em consideração isolamento total, o menor isolamento, conseqüentemente, reduz a eficiência cerca de 14,5% (SHARSHIR et al., 2016). O material de isolamento como também a sua espessura, são fatores significativos para a dessalinização solar. Al-Karaghoul e Alnaser (2016) relataram que a média da produção diária foi de 2,46 kg.m⁻².dia⁻¹ para uma dessalinizador não isolado, e 2,84 kg.m⁻².dia⁻¹ para dessalinizador com isolamento. Em

contrapartida, Khalifa e Ali (2015) sugeriram que o aumento de 80% referente a produtividade, pode ser alcançado a partir da seleção do isolamento apropriado. No Quadro 01 são apresentados diversos dessalinizadores solar com as mudanças nos parâmetros de projeto.

Quadro 01: Comparação de diversos dessalinizadores solar de acordo com as mudanças nos parâmetros de projeto.

Autores	Modificação	Resultados
Nafey et al. (2012)	O uso de placa perfurada flutuante em dessalinizador solar com profundidade de água de 6 cm.	Aumentou a produtividade em 40%, em comparação com o dessalinizador solar passivo
Omara, Kabeel e Young (2013)	Uso de refletores internos	A produtividade de água com e sem refletores internos foi superior ao modelo passivo em 75% e 57%, respectivamente.
Zheng et al. (2013)	Projetaram o dessalinizador tubular de dois efeitos, consiste em duas conchas tubulares circulares e duas calhas semicirculares que são colocadas dentro das respectivas conchas do tubo.	Os resultados experimentais indicaram que a taxa de desempenho alcançou cerca de 1,4%, sob condições de energia de aquecimento fixa. O rendimento do dispositivo atingiu cerca de 20,08 L.m ⁻² .dia ⁻¹ .
El-Samadony e Kabeel (2014)	Dessalinizador solar tipo escada com filme de resfriamento no vidro de cobertura.	O sistema foi bem-sucedido, a produtividade diária aumentou 30%, a partir do resfriamento da cobertura de vidro.
Rajaseenivasan e Srithar (2016)	Utilização de aletas circulares e quadradas anexadas ao dessalinizador solar com inclusão de material de isolamento térmico	A produtividade diária aumentou 26,3% e 36,7% para as aletas circulares e quadradas. No entanto, quando as mesmas aletas foram cobertas com material de isolamento térmico, a produtividade do dessalinizador aumentou em 36 e 45,8%
Abdallah, Badran e, Abu-khader (2018)	Refletores externos e internos foram usados para focar a absorção da radiação solar no fundo da bandeja.	A produtividade diária total aumentou 165% em comparação com o dessalinizador solar passivo.
Zanganeh et al. (2019)	Analysaram a produtividade de água no dessalinizador solar aplicando o nano-revestimento para a tampa de vidro como aprimoramento para o processo de condensação.	A produção de condensado de uma superfície de vidro foi aumentada em 23% após nano-revestimento em um ângulo de inclinação da superfície de 50°.

3.5 Modelos de dessalinizadores solar

O princípio de dessalinização solar é baseado no ciclo hidrológico da natureza. Essa mesma teoria de evaporação e condensação, é utilizada para a produção de água pura a partir de água impura em qualquer sistema de destilação solar (PANCHAL e PATEL, 2017). A maioria dos modelos de dessalinizadores solar apresenta capacidade para atender às necessidades de água de até $5 \text{ L.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Os diversos modelos de dessalinizadores solar incluem a bandeja com inclinação única, com inclinação dupla, dessalinizador solar híbrido, semiesférico, triangular ou piramidal (YADAV e SUDHAKAR, 2015).

Os dessalinizadores solar podem ser classificados, de acordo com o tipo de energia aplicada no reservatório de água bruta (bandeja), podem ser sistemas passivos quando o calor fornecido for diretamente da energia solar, os dessalinizadores ativos ocorre quando há introdução de energia extra no sistema, geralmente no reservatório de água promovendo a evaporação mais rápida. Os dessalinizadores solar são classificados principalmente em duas categorias: efeitos simples e efeitos múltiplos. Cada um desses dessalinizadores também são classificados de acordo com a fonte de calor usada para evaporar a água.

Gupta et al. (2016) investigaram o uso de um aspersor instalado sobre a cobertura de vidro, e as partes internas pintadas de branco do dessalinizador solar de inclinação única, com o intuito de diminuir a temperatura na superfície do mesmo, e assim aumentar a diferença de temperatura entre o vidro e a água salobra na bandeja. Obtiveram taxa mais rápida de evaporação e condensação, o que propiciou aumento de 21% de água dessalinizada, quando comparado a um dessalinizador solar sem as melhorias citadas.

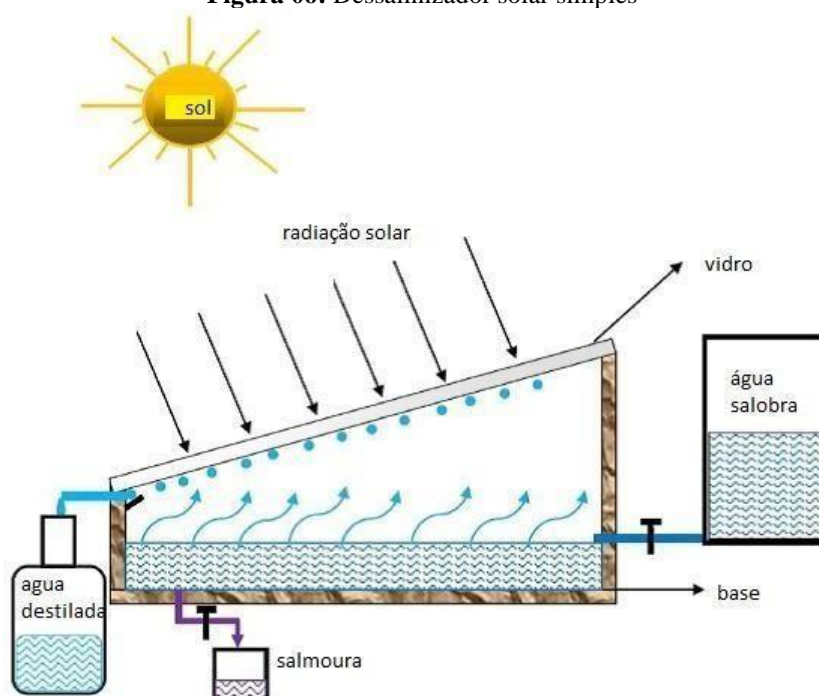
Bouzaid et al. (2019) apresentaram um estudo de um dessalinizador solar, que consiste em uma melhoria na placa absorvedora de calor escalonada com superfícies inclinadas e defletores, proposto anteriormente por El-Sebaili et al. (2009). A placa absorvedora é dividida em várias bandejas menores e possui superfícies inclinadas que oferecem profundidade mínima da água, acontece aquecimento mais rápido da água. Os resultados mostraram que o novo design aumentou a temperatura da água salgada em mais de 9°C na placa absorvedora.

3.5.1 Dessalinizadores solar passivo

O dessalinizador solar simples, consiste em uma bandeja pintada de cor preta, com água salobra ou salina até uma certa profundidade, e coberta por um vidro inclinado para facilitar a

transmissão de radiação solar e condensação (SHARON e REDDY, 2015). A representação esquemática de um dessalinizador solar simples é ilustrado na Figura 06.

Figura 06: Dessalinizador solar simples



Fonte: Setoodeh, Hahimi e Ameri (2011).

Dessalinizadores solar de efeito múltiplo foram usados para melhorar a produção de água destilada, mas apenas em pequena escala, isso ocorre, porque o condensador é parte integrante do dessalinizador (KABEEL e EL-AGOUZ, 2011).

Tabrizi et al. (2010) investigaram um dessalinizador tipo cascata, constituído por um absorvedor de 15 etapas, coberto por tinta preta fosca. A água destilada foi guiada para um canal de coleta, cada degrau da cascata foi equipado de 5 mm de altura e 59 cm de comprimento para forçar a passagem da água pela superfície da evaporação, o que levou ao aumento do tempo de permanência da água no dessalinizador.

Bouzaid et al. (2019) constataram que o modelo de dessalinizador tipo cascata, eleva a produtividade de água, e a temperatura da bandeja absorvedora e o desempenho térmico do dessalinizador são maiores que os demais tipos de dessalinizadores solar.

3.5.2 *Dessalinizadores Solar Ativos*

Muitos trabalhos também foram conduzidos sobre dessalinizadores solar ativos, várias configurações de pré-aquecimento externo e equipamentos elétricos integram à bandeja absorvedora para torná-la eficiente.

A energia solar é intermitente na natureza e sua intensidade depende da hora, do dia e das condições climáticas locais (XIAO et al., 2003). Uma das soluções para utilizar a energia solar de forma contínua, é incorporar sistemas de armazenamento de calor (GUDE et al., 2012). Com isso, os dessalinizadores ativos apresentam, algum auxílio externo com sistema de aquecimento, como coletores solar de placas planas, coletores de tubos evacuados acoplados à unidade de dessalinização.

Abdel-Rehim e Lasheen (2007) conduziram um estudo de um dessalinizador solar de única inclinação, acoplado a um concentrador parabólico e a um trocador de calor. O sistema consiste em um dessalinizador ativo cuja temperatura da água da bandeja é elevada por uma combinação de canal parabólico, com tubo focal transportando óleo, bomba de circulação de óleo e um trocador de calor juntamente com válvulas de controle. Seus resultados mostraram que a produtividade da água doce foi aumentada em 18% em comparação com um dessalinizador passivo.

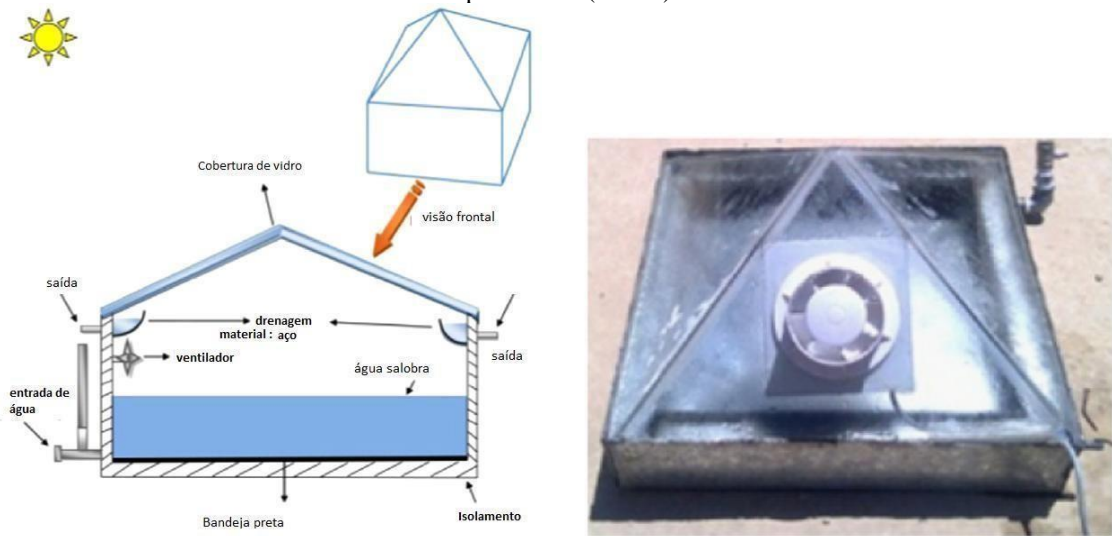
Para Agouz et al. (2007) propuseram um novo método, no qual ocorre a circulação de água salgada do sistema de alimentação do dessalinizador solar híbrido para extrair o calor residual. A água pré-aquecida é transportada até a entrada do dessalinizador, por meio de uma bomba alimentada por um painel fotovoltaico. O estudo do modelo de dessalinizador solar mostrou que quase 50% da energia, antes desperdiçada na forma de calor para o ambiente, foi recuperada com a circulação contínua de água no entorno da bandeja.

Zhang, Zheng e Wu (2003) investigaram experimentalmente o desempenho do sistema de dessalinização solar de um tubo horizontal integrado ao coletor solar, este, fornece água quente ao tubo do evaporador horizontal sobre o qual a água salgada é pulverizada.

Um dessalinizador solar que possui dupla inclinação na cobertura, acoplado a um coletor solar de placa plana foi proposta por (BADRAN et al., 2005) composto por uma bandeja absorvedora com um tanque de alimentação de água salgada e aquecida, a alta temperatura da água produziu mais vapor e, portanto, aumentou a produtividade. Foi relatado pelos autores que o dessalinizador acoplado a um coletor solar de placa plana produziu $2,3 \text{ kg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, enquanto o dessalinizador sem acoplamento produziu apenas $1,5 \text{ kg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$.

A fim de aumentar a eficiência do dessalinizador solar acopla-se na cobertura de vidro um ventilador, para proporcionar uma convecção forçada no sistema e assim, aumentar a produção de água. Taamneh e Taamneh (2012), projetaram e construíram um dessalinizador solar em forma de pirâmide com ventilador em um dos lados da cobertura de vidro, ver Figura 07.

Figura 07: Dessalinizador solar com ventilador na cobertura piramidal, esquemático (esquerda) e configuração experimental (direita)



Fonte: Adaptado de Taamneh e Taamneh (2012).

Com os resultados experimentais foi possível perceber que o uso de ventiladores alimentados com painéis fotovoltaicos são econômicos e viáveis para aumentar a taxa de evaporação e, portanto, a produtividade de água. Houve um incremento de 25% na produtividade diária da água doce em comparação com o dessalinizador por convecção livre.

Para implementação mais sofisticada de um dessalinizador solar, também pode-se desenvolver modelos que possuam painéis fotovoltaicos que captam energia solar para alimentar o funcionamento dos equipamentos elétricos que podem ser usados no dessalinizador (BEZERRA et al., 2019b).

Ahmed e Alfaylakawi (2012), projetaram, construíram e conduziram uma pesquisa sobre o efeito da integração de aspersores de água e ventilador de refrigeração no desempenho de um dessalinizador solar de inclinação única para as condições climáticas da cidade do Kuwait, como observado na Figura 08.

Figura 08: Arranjo experimental do dessalinizador com aspersor (esquerda) e ventilador (direita)



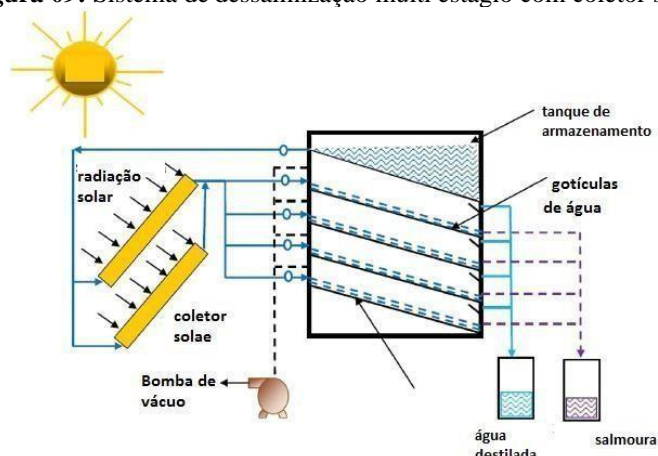
Fonte: Ahmed e Alfaylakawi (2012).

Seus resultados mostraram que, ao aumentar a velocidade média do vento de $1,2 \text{ m.s}^{-1}$ para $3,0 \text{ m.s}^{-1}$ e $4,5 \text{ m.s}^{-1}$, a produtividade foi aumentada em 8% e 15,5%, respectivamente. E que o uso de aspersores de água durante 30 segundos, em intervalos predefinidos de 20 e 10 minutos, aumentaram a produtividade em 15,7% e 31,8%, respectivamente.

Zarzoum, Zhani e Bacha (2017) realizaram uma pesquisa experimental e teórica de um dessalinizador solar com um condensador acoplado ao aquecedor solar de água, para coletar o ar úmido e aquecido. A finalidade da pesquisa foi melhorar a transferência de calor e massa e, posteriormente, melhorar a produção de água. A água foi aquecida por um coletor solar de água e, em seguida, o ar quente e úmido foi transportado para a torre de condensação, foi conseqüentemente, condensado ao entrar em contato com as paredes externas dos tubos da câmara do condensador, que circulava água fria para garantir a desumidificação do ar úmido.

Os autores Reddy et al. (2012) estudaram um sistema de dessalinização térmica em múltiplos estágios o sistema proposto, consiste em bandejas inclinadas representando a unidade evaporador-condensador, mantida a pressão reduzida usando bomba de vácuo. A representação esquemática do sistema é mostrada na Figura 09.

Figura 09: Sistema de dessalinização multi estágio com coletor solar



Fonte: Adaptado de Reddy et al. (2012).

Como pré-aquecimento, foi utilizado coletor solar, no intuito de aumentar a eficiência do dessalinizador, concluíram que houve um aumento de produtividade de 38% quando comparado ao modelo passivo.

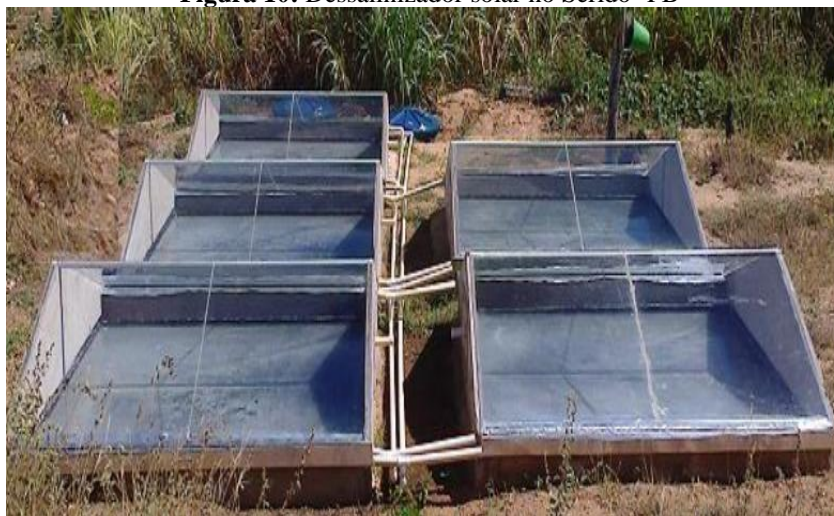
3.6 Panorama sobre Dessalinização solar no Brasil

O dessalinizador solar é uma tecnologia social que está sendo aderida aos poucos, por famílias brasileiras, pois, vivendo em condições precárias quanto a escassez de água potável, é natural que famílias procurem novas alternativas para sanar o devido problema. A Dessalinização solar no Brasil, ainda é incipiente, havendo grande necessidade de desenvolvimento e pesquisas relacionadas a esta temática tão importante.

Marinho et al. (2015), construíram o sistema de dessalinização solar em alvenaria, associado ao coletor de águas pluviais, com 36 m² de área, localizado na região da zona rural do município de Remígio (PB). Os dessalinizadores solar produziram cerca de 150 L.dia⁻¹, relataram que o dessalinizador solar possui baixo custo de implantação e manutenção, facilita o acesso à água devido à proximidade da residência dos agricultores, para melhorar as condições de segurança hídrica de famílias de agricultores do semiárido brasileiro.

Silva et al. (2016), avaliaram a produtividade de água do sistema de dessalinização solar, no assentamento rural, do município Seridó, no estado da Paraíba, cada dessalinizador solar, área total de 4m². A Figura 10 apresenta a configuração do dessalinizador solar proposto.

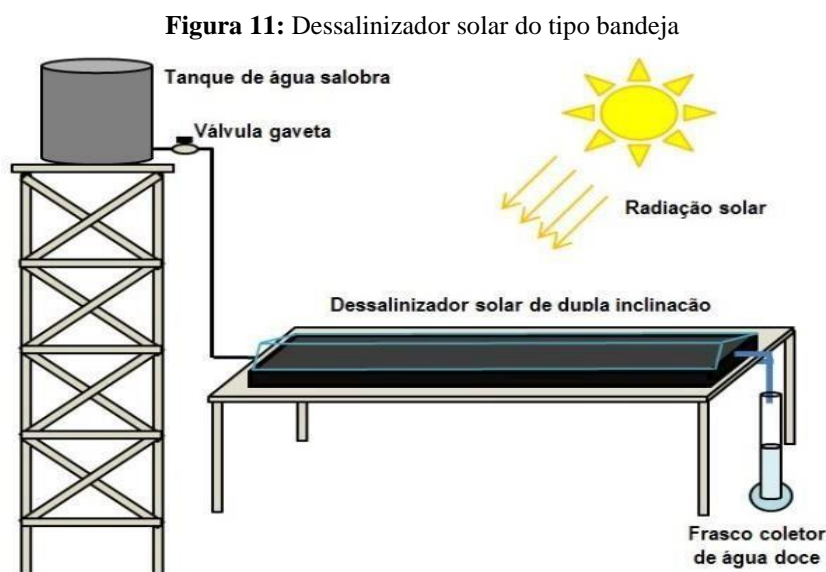
Figura 10: Dessalinizador solar no Seridó -PB



Fonte: Silva et al. (2016)

Silva et al. (2016) constataram que a produtividade foi $1,8 \text{ L.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, e a produção foi aproximadamente 37 L.dia^{-1} , de água potável para consumo humano, o suficiente para atender as necessidades de água potável de 18 pessoas de 5 famílias.

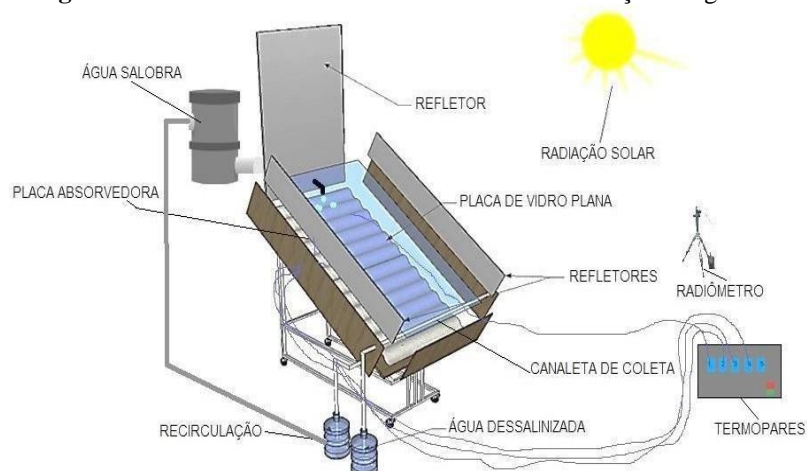
Os autores Brito et al. (2020) analisaram o desempenho térmico de um dessalinizador solar com dupla inclinação e a qualidade da água antes e após o processo de dessalinização, as águas brutas foram oriundas de três poços de comunidades rurais na Paraíba. Observaram uma produção média de água potável de $1583,3 \text{ mL.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ para um índice de radiação solar média de $1.005,4 \text{ W.m}^{-2}$. Os parâmetros físico-químicos da água bruta e dessalinizada foram monitorados, e houve redução no teor de sódio de 98,33 %, 99,92% e 97,83% e na condutividade elétrica de 97,49%, 99,13% e 97,69%, para os poços P1, P2 e P3 respectivamente, conforme apresentado na Figura 11.



Fonte: Brito et al. (2020).

Silva et al. (2020) desenvolveram um dessalinizador solar portátil com refletores de radiação integrados, analisaram o desempenho térmico do dessalinizador solar e a qualidade físico-química da água antes e após o processo de dessalinização. A Figura 12 ilustra o modelo do protótipo projetado em Campina Grande, Paraíba. Observaram uma produção máxima de água potável de $2730,8 \text{ mL.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ para um índice de radiação solar média de $660,42 \text{ W.m}^{-2}$. Os resultados obtidos das análises físico-químicas das águas salobra e dessalinizada apresentaram reduções no teor de cloreto de 99,72%, o sódio de 99,88% e nos sólidos totais dissolvidos de 99,73%.

Figura 12: dessalinizador solar com refletores de radiação integrados



Fonte: Silva et al. (2020).

Cardoso et al. (2020) analisaram o desempenho de um dessalinizador solar tipo cascata, utilizando águas de poços artesianos, localizados nos municípios de Caturité-PB (Poço P1), e Juazeirinho-PB (Poço P2) com o objetivo de obter água com padrões de potabilidade para o consumo humano. A operação do sistema foi realizada em batelada, concluíram que as temperaturas do sistema, o volume de água instantânea, bem como a produtividade de água dessalinizada foram diretamente proporcionais à radiação solar, e houve uma redução significativa de todos os parâmetros físico-químicos analisados.

3.7 Mecanismo de transferência de calor no dessalinizador solar

A importância dos conceitos referente ao processo de transferência de calor por condução, radiação e convecção, como também, dos processos de transferência de massa e calor por evaporação e condensação existentes na literatura, são abordados nesta pesquisa.

Vários métodos são propostos para melhorar o desempenho do dessalinizador solar, elevando a produtividade da água. Existem cinco subprocessos, a absorção da radiação solar na bandeja do dessalinizador e absorção de radiação solar na água, a transferência de calor entre a bandeja e a água salinizada, transferência de calor entre a água e a superfície de condensação, como também, a perda de calor do condensador para o ambiente externo (XIAO et al., 2003). Alguns dos métodos para melhorar a eficiência da dessalinização são descritos a seguir:

a) Condução de calor

A condução é a transferência de calor de molécula a molécula através de um corpo, podendo ser considerada como transporte molecular de energia. O fluxo do mais quente ao mais frio, até que estes cheguem ao equilíbrio (BIRD et al., 2010).

Nos processos de dessalinização solar é utilizado a equação definida pela Lei de Fourier, representa os processos de transferência de calor por condução, o qual a transferência de calor é proporcional ao gradiente de temperatura, podendo ser calculado a partir da Equação (1):

$$q = -K \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Onde, q (W) é a taxa de transferência de calor, o gradiente de temperatura é $\frac{dT}{dx}$ (K.m⁻¹) na mesma direção, A (m²) é a área de transferência de calor e o parâmetro K (W.m⁻¹.°K⁻¹) é a condutividade térmica característica de cada material em função da temperatura (INCROPERA E DEWITT, 2003).

b) Transferência de calor por convecção

O coeficiente de transferência de calor por convecção é influenciado pela força de empuxo devido às diferenças de densidade no ar aquecido. O fluido que o circunda, mais frio, cai para tomar o lugar do mais quente que se elevou, assim estabelece-se uma circulação convectiva (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009). A transferência de calor por convecção entre a superfície da água para a cobertura de vidro de condensação é calculada a partir da lei do resfriamento de Newton, relata que o fluxo de calor por convecção é proporcional à diferença de temperaturas entre o fluido e a superfície, pela Equação (2):

$$q_c = h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty) \quad (2)$$

Em que, T_s e T_∞ (°K) são as temperaturas da superfície e do fluido, respectivamente, h (W.m⁻².K⁻¹) é o coeficiente de transferência de calor por convecção, A (m²) é a área que ocorre a passagem de calor.

c) *Transferência de calor por radiação*

A transferência de calor radiativo ocorre através da energia solar. A radiação acontece em superfícies sólidas como também em líquidos e gases. Enquanto, a condução e a convecção carecem de um meio material para se propagar, a radiação também pode-se propagar no vácuo (BEJAN e KRAUS, 2003). A transferência de calor por radiação é definida através da Lei de Stefan- Boltzmann. Para um corpo real, a taxa de radiação térmica emitida é calculada usando a Equação (3):

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_s^4 - T_{viz}^4) \quad (3)$$

Em que, E é a taxa de calor de radiação, esta é diretamente proporcional a constante de Stefan – Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$), a emissividade (ε) da superfície e a área de transferência de calor A (m²). T_s (K) representa a temperatura do superfície e T_{viz} (K) a temperatura da vizinhança do corpo.

Para os processos de dessalinização solar são calculados os coeficientes de transferência de calor para posteriormente ser realizado o balanço energético dos componentes do sistema. Parte da energia recebida pela água dentro da bandeja no dessalinizador solar é utilizada para a evaporação da água, e parte será transferida ao vidro por convecção e radiação. O coeficiente de transferência de calor por radiação entre a água salobra e a cobertura de vidro ($h_{rad\ a-v}$) é obtida a partir da Equação (4):

$$h_{rad\ a-v} = \frac{\sigma[(T_a+273,15)^4 - (T_v+273,15)^4]}{\frac{1}{\varepsilon_a} + \frac{1}{\varepsilon_v} - 1} \quad (4)$$

Onde, T_a e T_v são respectivamente a temperatura da água e a temperatura da cobertura de vidro, como ε_a e ε_v é a emissividade da água e emissividade do vidro, respectivamente.

O trabalho proposto por (DUNKLE. 1961) foi o primeiro a propor uma fórmula semi-empírica, seu modelo tem os melhores ajustes para o coeficiente de transferência de calor por convecção $h_{c\ a-v}$ entre a água e a cobertura de vidro, é expresso na Equação 5:

$$h_{c\ a-v} = 0,884 \cdot \left[(T_a - T_v) + \frac{(P_a - P_v)(T_a - 273)}{2,689 \times 10^3 - P_a} \right]^{1/3} \quad (5)$$

Em que, T_a e T_v são as temperaturas da água e temperatura do vidro e P_a e P_v são as pressões parciais da água e do vidro que são calculadas pelas Equações 6 e 7, de acordo com (TIWARI e TIWARI, 2006).

$$P_a = \exp \left[25,317 - \frac{5144}{T_a - 273} \right] \quad (6)$$

$$P_v = \exp \left[25,317 - \frac{5144}{T_v - 273} \right] \quad (7)$$

A energia de convecção irradiada da água para o vidro será liberada para o ambiente externo por convecção e radiação. O coeficiente de transferência de calor por convecção do vidro para o ambiente $h_{c\ v-amb}$ é obtido a partir da Equação 8:

$$h_{c\ v-amb} = 5,7 + 3,8.V \quad (8)$$

Onde V ($m.s^{-1}$) é a velocidade do vento o qual é realizado a medição na mesma altura da cobertura de vidro. A evaporação é um processo em que uma substância líquida passa para o estado gasoso. As moléculas do líquido, vizinhas à superfície, sofrem colisões que aumentam sua energia interna, ultrapassando a energia de ligação na superfície (INCROPERA e DEWITT, 2003). O fluxo de calor evaporativo é apresentado pelo somatório do fluxo de calor convectivo e do fluxo de calor advectivo, o coeficiente de transferência de calor por evaporação entre água e a cobertura de vidro $h_{ev\ a-v}$ é expresso a partir da Equação 9 obtido por (TSILINGIRIS, 2009):

$$h_{ev\ a-v} = 0,01623xh_{c\ a-v} \times \left[\frac{P_a - P_v}{T_a - T_v} \right] \quad (9)$$

A massa de água destilada é calculada a partir das relações de (DUNKLE, 1961) usando os valores das temperaturas da água e da cobertura de vidro. A produtividade da água pode ser obtidas pelas Equações 10 e 11 proposto por (TIWARI e TIWARI, 2007).

$$m = h_{ev\ a-v} \times \frac{A_c}{A_s} \times \left[\frac{T_a - T_v}{L} \right] \times 3600 \quad (10)$$

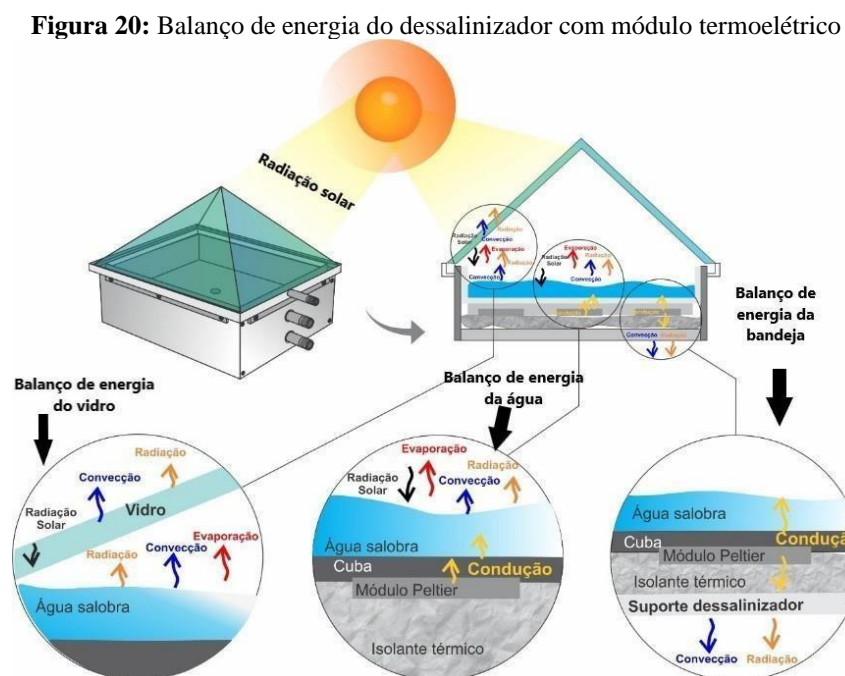
$$L = 3161500 - 2409,9x(T_a + 273) \quad (11)$$

Onde, m é a produção de água ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$), L é o calor latente de vapor de água ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$) e $h_{ev\ a-v}$ é o coeficiente de transferência de calor por evaporação entre a água e a cobertura de vidro.

Damasceno et al. (2017) construíram e modelaram um dessalinizador solar, usaram os dados de temperatura da água e da cobertura de vidro, a metodologia utilizada para o balanço de energia foi proposto por Dunkle (1961). Os autores calcularam os coeficientes de transferência de calor, as taxas de transferência de calor e a eficiência do dessalinizador para a cidade de Goiânia (Goiás). Concluíram que a partir do modelo estudado o coeficiente de transferência de calor de evaporação e sua taxa correspondente, foram maiores do que os respectivos coeficiente de transferência de calor por convecção, a produtividade de água destilada no inverno e no verão foram de 0,31 e 1,51 $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$, respectivamente e a eficiência do dessalinizador foi de 5,4% no inverno e 41,33% no verão.

3.8 Balanço energético do dessalinizador solar híbrido

Um dessalinizador solar tem vários componentes, e seu desempenho térmico pode ser previsto por equações de balanço de energia desses componentes. A seguir serão apresentados o balanços de energia do dessalinizador solar proposto na pesquisa, os mesmos podem ser separados, a seguir são descritos para a cobertura de vidro, água da bandeja, para a bandeja e para o isolante como mostrado na Figura 20.



Fonte: Autor, 2021

O mecanismo de transferência de calor inicia quando a energia solar incide na água da bandeja. A equação do balanço energético do dessalinizador com os módulos termoelétricos foi admitida com as seguintes suposições:

- Não há vazamento no dessalinizador solar;
- A bandeja é hermética, portanto não há perda de calor;
- O nível da água é mantido em nível constante;
- A condensação ocorre apenas na cobertura de vidro;
- O sistema de dessalinização funciona em regime transiente;

O balanço energético total do dessalinizador, é calculado a partir da diferença entre a energia que entra no sistema, no caso a (irradiação) e a energia do módulo termoelétrico para a bandeja, a energia que está saindo do sistema de dessalinização, ocorre através da convecção do vidro com o ambiente, radiação entre o vidro e o ambiente a convecção da bandeja com o ambiente, expresso na Equação (12):

$$m_a \cdot C_a \cdot \frac{dT}{dt} = (\alpha_v \cdot I(t) \cdot A_v + \alpha_{al} \cdot W \cdot A_b) - (h_{c \text{ iso-amb}} \cdot A_{iso} \cdot (T_a - T_{amb}) + h_{c \text{ v-amb}} \cdot A_v \cdot (T_v - T_{amb}) + h_{rad \text{ v-amb}} \cdot A_v \cdot (T_v - T_{amb}) + A_b \cdot W_p) \quad (12)$$

Onde, C_a (J. kg⁻¹. K) é o calor específico da água, m_a (kg) a massa da água, $\frac{dT}{dt}$ (K.s⁻¹), é a variação de temperatura em relação ao tempo, A_v (m²) é a área do vidro e A_b (m²) área da bandeja, A_{iso} (m²) é a área do isolante, T_a (K) é a temperatura da água, T_v (K) temperatura do vidro, T_{amb} (K) temperatura ambiente, T_{iso} (K) temperatura do isolante, $h_{c \text{ iso-amb}}$, $h_{c \text{ v-amb}}$, $h_{rad \text{ v-amb}}$ (W.m⁻².K⁻¹) são os coeficientes de convecção entre a isolante e o ambiente, convecção entre o vidro e o ambiente e a radiação entre o vidro e o ambiente, α_v , α_{al} representa a absorvidade do vidro e do alumínio respectivamente, $I(t)$ (W.m⁻²) é a intensidade de radiação solar, por fim W (W.m⁻²) é a energia do módulo termoelétrico e W_p (W.m⁻²) a perda de energia do módulo. Para o balanço energético do modelo passivo, não foi considerado a entrada e saída de energia do módulo termoelétrico.

a) *Balço de energia para a cobertura de vidro*

Além disso, foram realizados os balanços individuais de cada parte do dessalinizador, a variação de energia na cobertura de vidro, é calculada pela diferença de energia que está entrando no vidro, a evaporação, a irradiação, convecção e a radiação, já a convecção e a radiação está saindo do vidro de cobertura para o ambiente, está representado pela Figura 21.

Figura 21: Balço de energia da cobertura de vidro do dessalinizador



A variação de energia do vidro do dessalinizador é calculada pela diferença entre a energia que está entrando no vidro e a energia que está saindo do vidro de cobertura, conforme expresso na Equação (13).

$$m_v \cdot C_v \cdot \frac{dT_v}{dt} = (\alpha_v \cdot I(t) \cdot A_v) + (h_{ev a-v} + h_{c a-v} + h_{rad a-v}) \cdot A_v \cdot (T_a - T_v) - h_{rad v-amb} \cdot A_v \cdot (T_v - T_{amb}) + h_{v-amb} \cdot A_v \cdot (T_v - T_{amb}) \quad (13)$$

Em que, C_v (J. kg⁻¹. K) é o calor específico do vidro, m_v (kg) a massa do vidro, $\frac{dT_v}{dt}$ (K.s⁻¹)

¹) é a variação de temperatura em função do tempo α_v é a absorvidade do vidro, A_v é a área do vidro (m²) e T_a (K) é a temperatura da água, T_v (K) temperatura do vidro, T_{amb} (K) temperatura ambiente, $h_{ev a-v}$, $h_{c a-v}$, $h_{rad a-v}$ (W.m⁻².K⁻¹), são os coeficientes de evaporação de convecção e radiação entre a água e o vidro.

b) *Balanco de energia térmica para água salobra*

O balanço de energia na água salobra, é referente a água de alimentação no dessalinizador, é calculado de acordo com a diferença entre a energia que está chegando e a que está saindo da água salobra, conforme representado na Figura 22.

Figura 22: Balanço de energia para a água do dessalinizador



De acordo com a Figura 22, o balanço térmico envolve a energia de entrada na água salobra, a irradiação, a condução entre a bandeja e a água, enquanto a energia que está saindo da água, a evaporação, a convecção e a radiação que acontece entre a água e o vidro, conforme apresentado na Equação (14):

$$m_a \cdot C_a \cdot \frac{dT_a}{dt} = \alpha_v \cdot \alpha_a \cdot I(t) \cdot A_a + \frac{K_a}{X_a} \cdot A \cdot (T_b - T_a) - (h_{ev a-v} + h_{ca-v} + h_{rad a-v}) \cdot A_v \cdot (T_a - T_v) \quad (14)$$

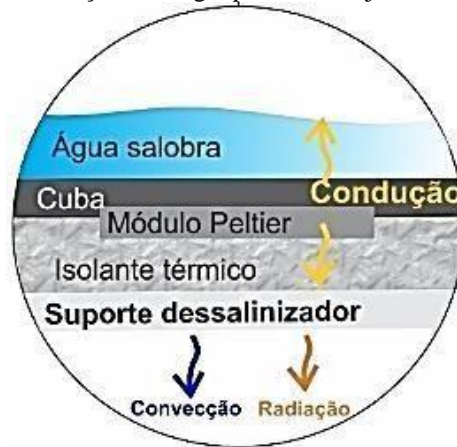
Em que, m_a (kg) é a massa da água, C_a ($J \cdot kg^{-1} \cdot K$) o calor específico da água, α_v a absorvidade do vidro, α_a absorvidade da água, T_a (K) a temperatura da água e T_v (K) a temperatura do vidro, T_b (K) a temperatura da bandeja, K_a ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$) condutividade térmica da água e X_a (m) é a espessura da lâmina de água.

c) *Balanco de energia térmica para a bandeja do dessalinizador*

Para o balanço de energia térmica da bandeja do dessalinizador, é calculada a partir da diferença de energia que está entrando e saindo da bandeja, a energia de entrada é a irradiação,

a energia relacionada ao módulo termoeletrico (W), e a condução entre a água e a bandeja do dessalinizador, a energia que está saindo, é a condução entre a bandeja e o isolante, na Figura 23 é apresentado o balanço de energia da bandeja do dessalinizador:

Figura 23: Balanço de energia para a bandeja do dessalinizador



O balanço energético que expressa a variação de energia do sistema está enunciada na Equação (15):

$$m_b \cdot C_b \cdot \frac{dT_b}{dt} = \alpha_{al} \cdot \alpha_{al} \cdot I(t) \cdot A_b + W \cdot \alpha_{al} \cdot A_b + \frac{K_b}{X_b} \cdot A_b \cdot (T_{b-a} - T_a) - \frac{K_{iso}}{X_{iso}} \cdot A_{iso} \cdot (T_b - T_{iso}) \quad (15)$$

Onde, m_b (kg) é a massa da bandeja, C_b (J.kg⁻¹. K) a capacidade calorífica da bandeja, $\frac{dT_b}{dt}$ (K.s⁻¹) é a variação da temperatura em relação ao tempo, α_{al} absorvância do alumínio da bandeja, K_{iso} (W.m⁻¹.K⁻¹) a condutividade térmica do isolante, X_{iso} (m) é a espessura do isolante, A_{iso} (m²) é a área do isolante.

d) Balanço de energia para o isolante do dessalinizador

Para maior eficiência do dessalinizador, é importante o isolante térmico do sistema de dessalinização solar, posto que, é utilizado para evitar perdas de calor para o ambiente externo. Na Figura 24 ilustra o balanço de energia do isolante do dessalinizador.

Figura 24: Balanço de energia para o isolante do dessalinizador



A variação de energia é calculada entre a diferença de energia que está entrando no sistema, a condução entre a bandeja e o isolante, a energia que está saindo no sistema é a convecção entre o isolante e o ambiente externo, como expresso na Equação (16):

$$m_{iso} \cdot C_{iso} \cdot \frac{dT_{iso}}{dt} = \frac{K_{iso}}{X_{iso}} \cdot A_{iso} \cdot (T_{b-iso} - T_{iso}) - h_{iso-amb} \cdot A_{iso} \cdot (T_{iso} - T_{amb}) \quad (16)$$

Em que, m_{iso} é a massa do isolante, C_{iso} ($J.kg^{-1}.K$) capacidade calorífica do isolante, $\frac{dT_{iso}}{dt}$ ($K.s^{-1}$) a variação da temperatura em relação ao tempo, A_{iso} (m^2) a área do isolante, K_{iso} ($W.m^{-1}.K$) a condutividade térmica do isolante, X_{iso} (m) a espessura do isolante e por fim $h_{iso-amb}$ o coeficiente de transferência de calor por convecção entre o isolante e o ambiente.

Modelos matemáticos foram utilizados para calcular a produtividade de água dessalinizada a partir das diversas variações dos parâmetros operacionais, para otimizar a configuração do dessalinizador, realizado por um programa de simulação computacional usando (sub-rotina ode45). O sistema de equações é realizado por substituição e fatores de integração na equação diferencial em cada componente do dessalinizador, neste trabalho foi utilizado o método de Runge-Kutta.

O sistema de equações diferenciais do balanço de energia do dessalinizador é definido pelas Eq. (17), (18) e (19):

$$T_v = T_v + \frac{dT_v}{dt} dt \quad (17)$$

$$T_a = T_a + \frac{dT_a}{dt} dt \quad (18)$$

$$T_b = T_b + \frac{dT_b}{dt} dt \quad (19)$$

Ressalta-se que o comportamento térmico e a produtividade de água do dessalinizador solar pirâmide, no modelo experimental e numérico foram pesquisados por (AL-MADHHACHI e SMAISIM, 2021) e (MODI e NAYI, 2020) tentaram melhorar a produtividade e concluíram que o modelo numérico contribuiu para escolher melhores alternativas de operação para o modelo experimental. Já os autores (GADHAMSHETTY, GUDE e NIRMALAKHANDAN, 2014) também utilizaram um software operacional para simulação numérica, neste caso foi para processo de dessalinização de água em usina de ciclo combinado de 500 MW.

El-Agouz et al. (2015) analisaram teoricamente o escoamento contínuo de dois dessalinizadores solar, constataram que, o dessalinizador solar com reposição de água constante produziu 57% mais do que o dessalinizador solar passivo, este resultado favoreceu para decidir qual modelo seria utilizado no modelo experimental.

A produtividade de água destilada simulada é um parâmetro essencial, sendo assim desenvolver um modelo matemático adequado e uma solução numérica utilizando um software para otimizar o desempenho de um dessalinizador solar piramidal pode economizar tempo e dinheiro na hora de construí-lo. Os autores (AL-MADHHACHI e SMAISIM, 2021) a eficiência do dessalinizador projetado é significativamente melhorada 60%, em comparação com outros dessalinizadores experimentais.

3.9 Energia Eólica e Dessalinização

Apesar da pequena participação da energia eólica na matriz mundial, sua contribuição vem crescendo rapidamente nos últimos anos. Cunha et al. (2019) relatam que a indústria eólica está presente em mais de 80 países, sendo que a Índia, a China e a América Latina são considerados como mercados em crescimento. O Brasil, apesar de participar com apenas 10,3% do total mundial, representa um mercado muito promissor, pois o Nordeste possui excelente potencial eólico. De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2017):

“A participação da geração eólica na geração total mundial, que era praticamente nula em 1980, em 2016 já atingia 3,9%. A China apresentou a maior participação na geração eólica mundial de 2016, de 25,1%, superando os Estados Unidos, o 1º em 2015. A Dinamarca foi pioneira na geração eólica (100% em 1980)”.

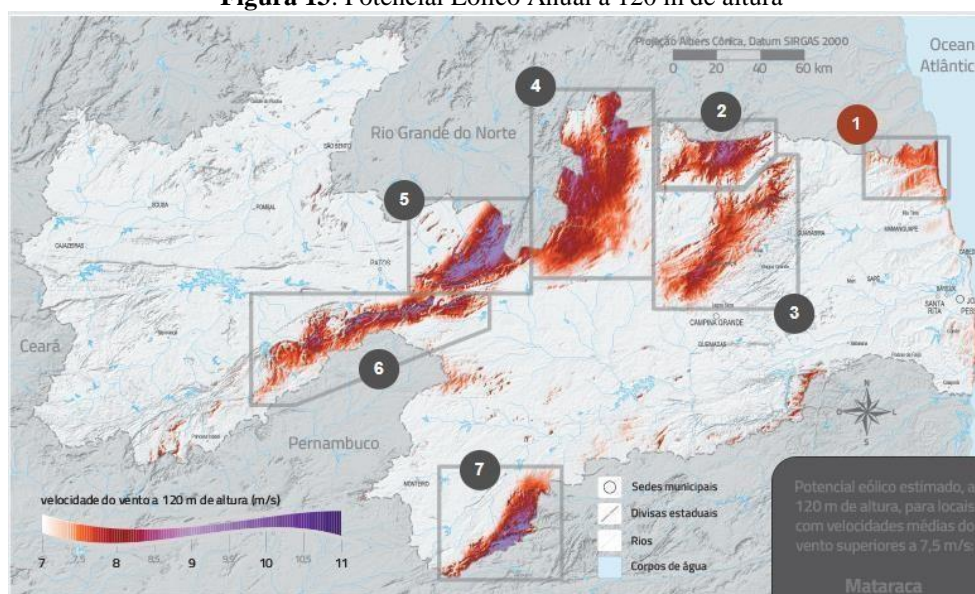
O aproveitamento da energia eólica tem crescido substancialmente nos últimos anos no Brasil e no mundo. Em parte, isso é uma tendência global de mudanças de geração de energia elétrica a partir de combustíveis fósseis para alternativas que não emitam gases de efeito estufa e, portanto, ajudem na mitigação das mudanças climáticas.

O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (2017) estima que o potencial nacional disponível é 143 GW de energia elétrica, considerando geradores eólicos de até 50 m de altura, a maior parte do nordeste que integram o semiárido são favoráveis para geração de energia eólica.

Os Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, são favoráveis para geração de energia elétrica a partir de energia eólica, podendo ser aplicadas inclusive para pequeno porte, como uso residencial associados ao uso de energia solar (BEZERRA et al., 2019c).

Conforme o Atlas Eólico da Paraíba (2017), o estado apresenta 640,1 MW de potência instalada de geração energia elétrica, sendo as usinas eólicas representam 69 MW (10,8%), quase todos pertencentes ao complexo instalado no município de Mataraca, no Litoral Norte. A Paraíba possui um bom potencial para a geração de energia eólica, o mapa eólico referente as sete regiões do estado que apresentam maior potencial energético disponível é mostrado na Figura 13, mais de 90% do território dispõe de ventos com velocidade média anual superior a $50,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a 150 metros de altura.

Figura 13: Potencial Eólico Anual a 120 m de altura

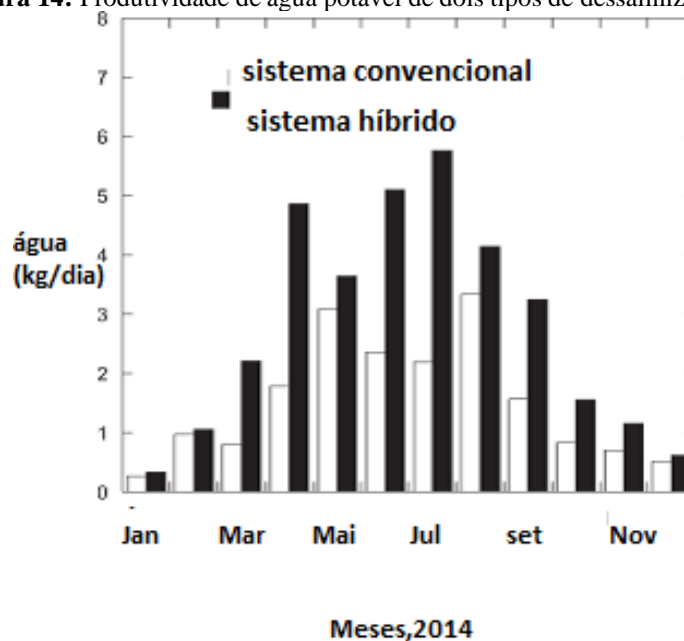


Fonte: Atlas Eólico da Paraíba (2022)

A energia eólica também é usada para fornecer eletricidade ou energia mecânica para usinas de dessalinização. Atualmente, os sistemas de dessalinização alimentados por fontes de energias renováveis, estão tornando-se bastante promissores, particularmente em regiões isoladas e secas, onde o uso de energia convencional é caro (MOUSA, DIABAT e FATH, 2013).

Mohda, Kiwan e Talafha (2016) observaram em estudo experimental, com o intuito de analisar o rendimento da água destilada, considerando um dessalinizador solar passivo e um dessalinizador híbrido, ou seja, solar e eólico. Na Figura 14 são apresentados os dados dos dois modelos propostos de dessalinização e sua produtividade média mensal.

Figura 14: Produtividade de água potável de dois tipos de dessalinizadores



Fonte: Adaptado de Mohda, Kiwan e Talafha (2016).

O potencial de geração de energia eólica nos períodos de inverno e primavera foi maior neste estudo experimental. Concluíram que a quantidade de água produzida pelo sistema híbrido atingiu quatro vezes superior à quantidade produzida pelo modelo passivo (MOHDA, KIWAN e TALAFHA, 2016).

Ninic, Klarin e Tolj (2012) avaliaram um dessalinizador híbrido, o sistema composto por dessalinizador solar de estágio único com vaporização, dentro de uma coluna de suporte, da usina eólica na zona marítima, operando juntos, relataram que, a produção de água dessalinizada, na coluna de suporte da turbina é um processo auto sustentável, posto que, o processo requer uma energia adicional, relativamente pequena para inicialização e manutenção

das bombas de vácuo, ou seja, a energia das turbinas é o suficiente para operação de todo o sistema de dessalinização.

Existem também, diferentes abordagens que podem ser adotadas, ao projetar sistemas de dessalinização por osmose inversa a partir de energia eólica. Gökçek e Gökçek (2016) avaliaram a relação custo-benefício de um sistema de osmose inversa, em pequena escala com a utilização de gerador eólico, para a produção de água potável na Ilha Gökçeada, na Turquia. Indicaram, que a produção de água potável com energia, advinda do vento, é economicamente viável para o local, e o uso de energia eólica na dessalinização, pode reduzir bastante as emissões de CO₂ e o custo de energia elétrica.

De acordo com a Figura 15, é apresentado o modelo de dessalinizador solar proposto por (ELTAWIL, ZHENGMING e YUAN, 2010). Uma pequeno moinho de vento é projetado e conectado a bandeja do dessalinizador solar, este opera o eixo rotativo com impulsores, o impulsor é usado para aumentar a vaporização e a condensação da água.

Figura 15: Componentes do dessalinizador solar



Fonte: Adaptado de Eltawil, Zhengming e Yuan (2010)

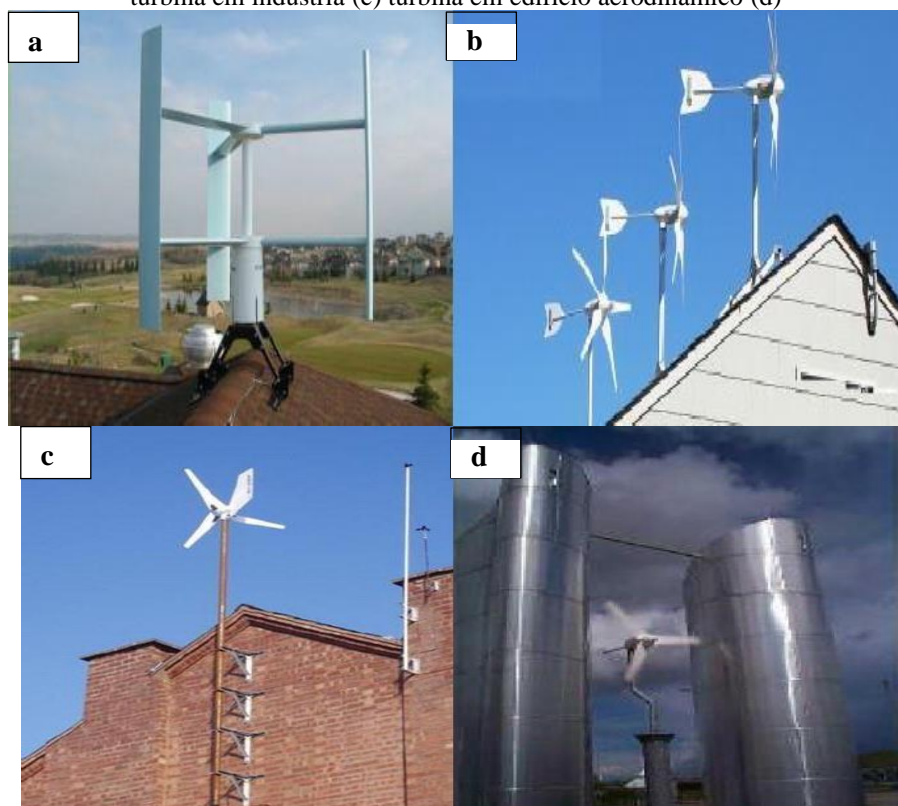
O uso do moinho de vento acoplado ao sistema de dessalinização solar, aumentou a produtividade de água, como também, provocou uma pequena vibração no sistema, desta forma, a água condensada no vidro descia em direção ao coletor de água destilada mais rapidamente. O sistema possuiu boa eficiência, quando a velocidade do vento permaneceu na faixa de até $2,0 \text{ m.s}^{-1}$ (ELTAWIL, ZHENGMING e YUAN, 2010).

3.10 Turbinas Eólicas

As turbinas eólicas de pequena escala produzem energia aproximadamente até 10 kW, suficiente para nossas necessidades domésticas. Essa energia pode ser utilizada de forma eficaz para que a energia elétrica extraída dos recursos convencionais seja economizada por um período maior de tempo (TUMMALA et al., 2016).

As pequenas turbinas eólicas estão frequentemente localizadas onde a energia gerada é necessária, e não necessariamente onde o recurso eólico é melhor. (BRESHEARS e BRISCOE et al., 2009) Cace et al. (2007) relatam que turbinas eólicas de eixo vertical são normalmente desenvolvidas apenas para implantação urbana, mudanças na direção do vento têm menos efeitos negativos neste tipo de turbina, porque ela não precisa ser posicionada na direção do vento. No entanto, a eficiência geral dessas turbinas na produção de eletricidade é menor do que as de eixo horizontal. A Figura 16 ilustra alguns modelos de posicionamento da turbina eólica.

Figura 16: modelo de turbina eólica vertical (a) turbina horizontal no telhado (b) turbina em indústria (c) turbina em edifício aerodinâmico (d)



Fonte: (a) Green e Vasilakos (2011) (b) Ayhan e Saglan (2012) (c) James et al. (2010) e (d) Campbell e stancovick (1999).

No que compete à classificação das turbinas eólicas, são definidas a partir do tipo de rotor e o eixo do giro, basicamente existem dois tipos de rotores, o eixo vertical e o eixo horizontal. O modelo vertical, as pás giram em torno de um eixo horizontal, e funcionam em todas direções, sem a necessidade de alinhamento, o rotor com três pás é bastante utilizado, visto que apresenta boa estabilidade e boa velocidade de rotação (EPE, 2016). A torre sustenta a nacelle e o rotor, e os posicionam à altura de captação do recurso eólico. As torres são geralmente tubulares, construídas com aço laminado e concreto, ou treliçadas, feitas com aço galvanizado (WALKER e SWIFT, 2015).

Diversos estudos foram realizados para avaliar o desempenho da turbina eólica e sua uniformidade quanto a velocidade do vento, conforme a Tabela 01. Esses tipos de estudos devem ser feitos em detalhes para saber o efeito das condições reais do vento no desempenho de turbinas eólicas de pequena escala.

Tabela 01: Estudos sobre o desempenho de turbina eólica de pequena escala

Autores	Velocidade do vento	Velocidade do rotor	Diâmetro do rotor
Mayer et al. (2001)	3-35 m.s ⁻¹	-	5 m
Wright e Wood (2004)	2,5-7 m.s ⁻¹	0-2000 rpm	2 m
Hirahara et al.(2005)	4-23 m.s ⁻¹	0-3000 rpm	0,5 m
Freere et al.(2010)	Até 13 m.s ⁻¹	50-600 rpm	2,1 m
Refan e Hangan (2012)	1-11 m.s ⁻¹	0-1200 rpm	2,2 m

Um modelo de turbina eólica horizontal bastante utilizado comercialmente na geração de energia em pequena escala, é conhecido como Darrieus e Savonius, sendo um modelo combinado de dois modelos de turbina horizontal (SHARMA, BISWAS, e GUPTA, 2013).

3.11 Módulo Termoelétrico Peltier

Dispositivos de resfriamento termoelétricos são amplamente usados para resfriamento eletrônico, como processadores de computador, armazenamento portátil de alimentos e bebidas, assentos de carro com controle de temperatura e até mesmo aparelhos de ar condicionado termoelétricos (ZHAO e TAN, 2014).

De acordo com Nazari, Safarzadeh e Bahiraei (2019), o uso de módulos termoelétricos vem se expandindo dia a dia devido ao baixo custo de energia, fácil instalação, tamanho

reduzido, peso leve, e fácil de usar, os módulos termoeletrônicos são usados para melhorar o desempenho, eficácia e produtividade dos sistemas de dessalinização solar.

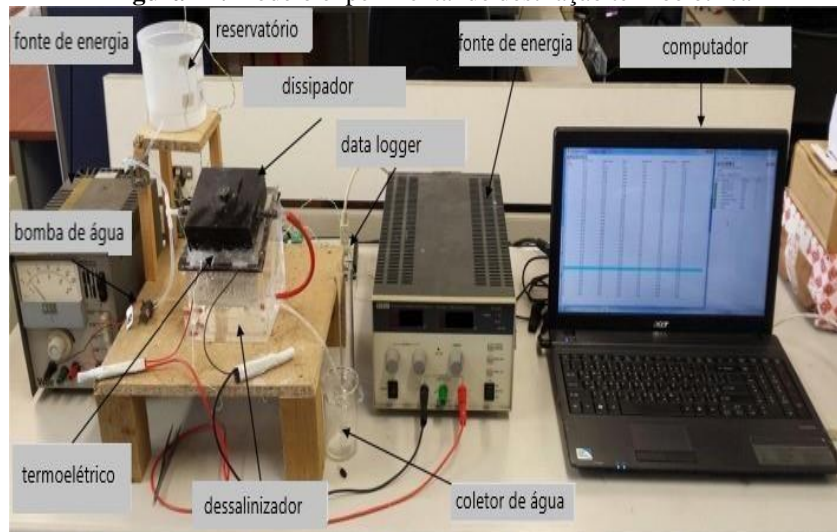
Os dispositivos termoeletrônicos tem a finalidade de esfriar e aquecer com a injeção de tensão em seus terminais, quando ligada um lado aquece e o outro esfria. Este dispositivo termoeletrônico pode ser usado em diversas aplicações diferentes (RAHBAR e ESFAHANI, 2012).

Os módulos termoeletrônicos (MTE) consistem em material semicondutor do tipo n e do tipo p conectados eletricamente em série. A diferença de temperatura ocorre devido ao efeito Peltier enquanto a corrente elétrica DC é aplicada. São dispositivos eletrônicos muito pequenos, silenciosos, confiáveis e que não precisam de manutenção (YILDIRIM et al., 2014). Devido a essas vantagens, o uso de dispositivos termoeletrônicos para destilação de água tem sido um tópico interessante na área.

O dispositivo termoeletrônico é baseado no princípio de um módulo termoeletrônico ou efeito Peltier, para criar um lado quente e um lado frio. O lado frio do módulo termoeletrônico é utilizado para fins de resfriamento. O calor do lado quente do módulo é rejeitado para o ambiente ao redor usando dissipadores de calor e ventiladores (SITORUS et al., 2018).

Existem alguns estudos realizados para aumentar o desempenho térmico dos dessalinizadores solar com a utilização de módulos termoeletrônicos. Os autores Al-madhhachi e Min (2017) construíram um sistema de destilação de água em laboratório, sem uso de radiação solar, e utilizou um módulo termoeletrônico experimentalmente, observaram que o sistema produziu 678 mL.m^{-2} no período de uma hora e o consumo de energia elétrica correspondente necessária para a produção de água foi de $0,0324 \text{ kWh}$, o que refere-se ao consumo específico de energia de $0,00114 \text{ kWh}$ por cada ml produzido. A Figura 17 ilustra o modelo experimental de destilação termoeletrônica.

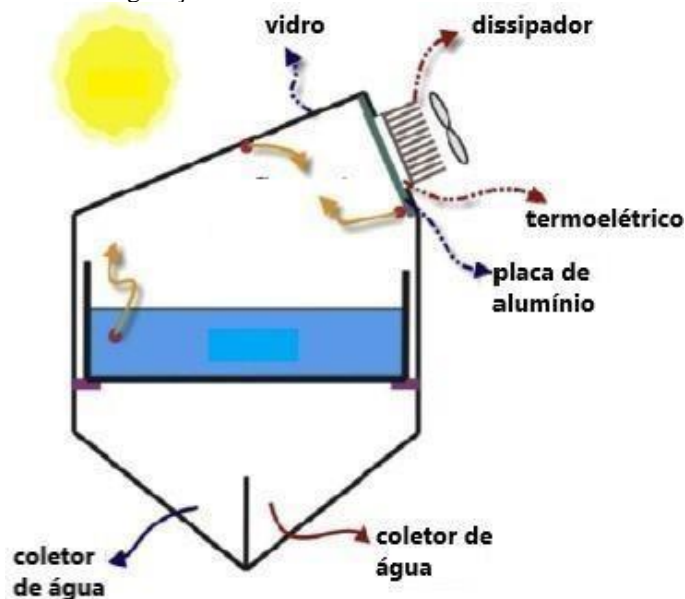
Figura 17: modelo experimental de destilação termoelétrica



Fonte: Al-madhhachi e Min (2017).

Na Pesquisa realizada por Rahbar, Esfahani e Asadi (2016), avaliaram um dessalinizador solar utilizando módulo termoelétrico, foram realizados testes experimentalmente em Semnan, no Irã, com o objetivo de determinar o efeito do dispositivo elétrico no desempenho do dessalinizador, conforme a Figura 18 ilustra o dessalinizador solar com módulo termoelétrico.

Figura 18: Configuração do dessalinizador solar com módulo termoelétrico



Fonte: Rahbar, Esfahani e Asadi (2016).

Concluíram que, com a temperatura mais baixa do vidro de cobertura, com o uso do módulo termoelétrico para resfriar, a produtividade foi 3,2 vezes superior ao modelo passivo. A produtividade diária mínima e máxima do dessalinizador solar estudado foi de

aproximadamente 225 e 500 mL.m⁻².dia⁻¹ na intensidade solar de 20.500 e 25.500 J.m⁻², respectivamente.

Dehghan et al. (2015) analisaram teoricamente a modelagem térmica de um dessalinizador solar, utilizaram os módulos termoeletrônicos no vidro, para aumentar a diferença de temperatura entre os níveis de evaporação e condensação. O sistema demonstrou que as eficiências médias diárias de energia do dessalinizador solar são 19,8 %.

3.12 Coletor Solar

O coletor solar é um dispositivo que converte a energia solar em energia térmica, aquecendo por sua vez um fluido de trabalho que pode ser água, ar ou outro fluido térmico, pode ser utilizado em diversos locais, como unidades residenciais, fazendas e lojas. Como exemplo, pode ser utilizado para aquecimento de água para limpeza de equipamentos de ordenha em fazendas (ALTOÉ e FILHO, 2010).

Uma boa alternativa para aproveitamento da conversão de energia solar em energia térmica é a utilização de coletores solar, estes absorvem a radiação solar e esta energia é transferida para a água no interior das tubulações do equipamento.

Gonçalves et al. (2012) utilizaram como alternativa para o condicionamento da temperatura dos ambientes o trocador de calor horizontal no solo, combinado com sistemas de aquecimento solar de água em sistemas de bomba de calor, como ilustrado na Figura 19.

Figura 19: Coletor solar em espiral, plano e tubular para aquecimento de água



Fonte: Gonçalves et al. (2012)



Fonte: Lenz et al. (2017)



Fonte: Jonas et al. (2019)

A circulação da água no coletor solar pode ocorrer de duas formas, forçada por bomba, ou por convecção natural. No sistema termossifão, a água do coletor é aquecida por radiação solar (KALOGIROU, 2014; LENZ et al., 2017).

Os coletores fotovoltaicos térmicos são soluções híbridas que convertem energia solar em energia elétrica e térmica. A pesquisa realizada em Saarbrücken, Alemanha, foi desenvolvido um novo modelo de desempenho de coletor solar experimental e teórico que compara diferentes abordagens de identificação de parâmetros, e sua implementação em um software de simulação (TRNSYS) para simulações do modelo operacional, concluíram que o modelo é adequado para estudos de simulação dinâmica e é proposto como desempenho padronizado para coletores, e o modelo experimental apresentou eficiência de 33% (JONAS et al., 2019).

Pereira et al. (2016) avaliaram a eficiência térmica de um coletor solar de placas planas de baixo custo na cidade de São Paulo, a temperatura da saída da água do coletor chegou a aproximadamente 55°C, para um volume de 500 litros (com dois coletores placas planas), observaram uma eficiência térmica de 67%. Dentre as várias formas de aproveitamento da energia solar, o coletor solar é uma das mais eficientes para aproveitar esse recurso (YU et al., 2014)

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo descreve a configuração do sistema de dessalinização solar, assim como, a descrição de todos os componentes da pesquisa experimental. Esta seção contém informações sobre os equipamentos usados na instrumentação do protótipo experimental, além da exposição dos parâmetros físico-químicos que foram avaliados e a instrumentação utilizada, para determinar a qualidade da água de alimentação do sistema e da água dessalinizada.

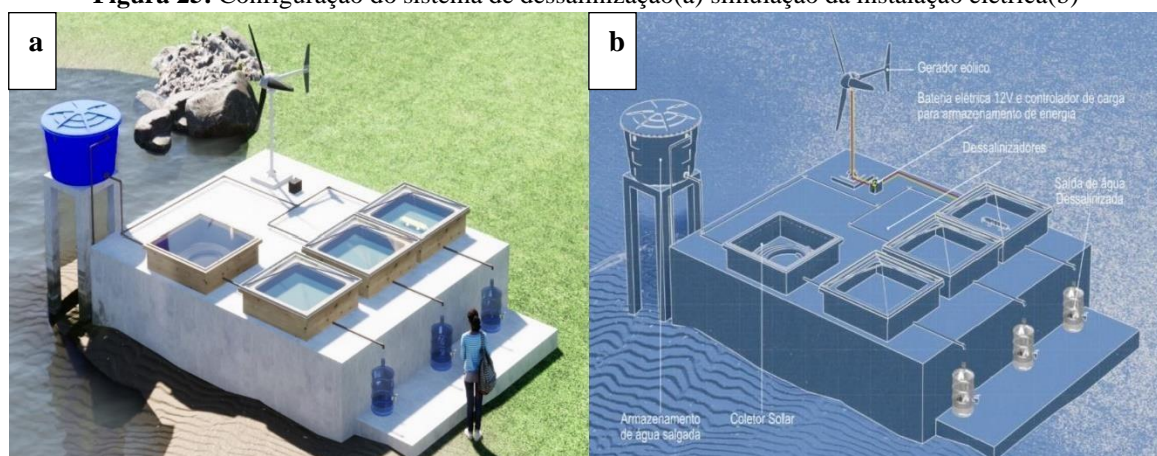
4.1 Configuração do Sistema de Dessalinização Solar

O sistema de dessalinização em escala piloto proposto nesta metodologia, foram três dessalinizadores solar tipo pirâmide assimétrica, que operaram simultaneamente, o primeiro é dessalinizador passivo, o segundo é dessalinizador ativo com a presença de um coletor solar para pré-aquecimento da água, o terceiro dessalinizador é híbrido, funciona com quatro módulos termoeletrônicos aderidos na parte inferior da bandeja do dessalinizador. A energia elétrica necessária foi fornecida, a partir de um gerador eólico de pequeno porte, acoplado ao dessalinizador proposto.

Neste contexto, após o período diurno, a taxa de condensação permanece, haja vista, o sistema continua com o processo de evaporação da água, uma vez que, a água presente no dessalinizador solar, é aquecida por módulos termoeletrônicos aderido a bandeja do dessalinizador. O dessalinizador contínuo atribui independência ao sistema, para produzir água destilada. De fato, quando não houver mais incidência solar sobre o mesmo, o sistema de dessalinização pode continuar produzindo água.

A ideia é integrar energia elétrica e radiação solar, para produzir água destilada de forma contínua. Neste sentido, foi utilizado uma turbina eólica no processo de dessalinização solar de água salobra, a fim de aumentar a produtividade do dessalinizador solar. O sistema foi projetado e avaliado sob condições reais, os protótipos são compactos, e resistente às condições climáticas do ambiente, dias ensolarados, chuvosos, e baixo peso.

A vantagem do dessalinizador de modelo híbrido, é que uma maior massa de líquido pode ser aquecida na bandeja de alumínio, pois o processo de dessalinização não depende apenas da radiação solar, para aquecer a água salobra. Na Figura 25, apresenta a configuração do sistema de dessalinização proposto.

Figura 25: Configuração do sistema de dessalinização(a) simulação da instalação elétrica(b)

Fonte: autoria própria (2021).

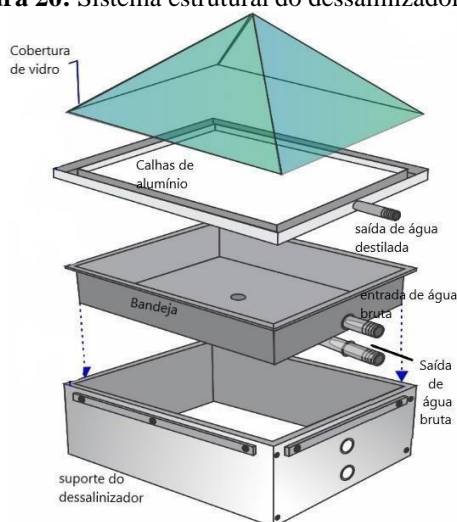
A cobertura transparente de vidro possui 4 mm, que permite a transmissão da radiação solar (de pequeno comprimento de onda) e a reflexão da radiação térmica (de maior comprimento de onda), reduzindo as perdas de energia com o consequente aumento da temperatura da água salobra, a Tabela 03 mostra os parâmetros construtivos do dessalinizador

Tabela 02: Parâmetros construtivos e operacionais do dessalinizador

Descrição	Nomec.	Valor	Unidade	Autores
Área do vidro	A_v	0,28	m^2	--
Emissividade água	ε	0,95	--	Dumka e Mishra, (2020)
Área da água	A_a	0,2	m^2	--
Absorvidade do vidro	α_v	0,05	--	Abu-arabi et al., (2020)
Área da Bandeja	A_b	0,2	m^2	--
Cond. térmica da água	K_a	0,67	$W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$	Maddah et al., (2020)
Absorvidade da água	α_a	0,05	--	Dumka e Mishra, (2020)
Transmitância do vidro	τ_v	0,9	--	Maddah et al., (2020)
Condutividade térmica bandeja	K_b	240	$W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$	Abu-arabi et al., (2020)
Absorbância da bandeja	τ_{al}	0,42	--	Maddah et al., (2020)
Transmitância água	τ_a	0,95	--	Abu-arabi et al., (2020)
Condutividade térmica isolante	K_i	0,11	$W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$	Dumka e Mishra, (2020)
Área do isolante	A_i	0,38	m^2	--
Condutividade térmica vidro	K_v	0,96	$W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$	Abu-Arabi et al., (2020)

Os processos de aquecimento e evaporação ocorrem no dessalinizador, em seguida, a água é condensada na cobertura de vidro. O condensado escoo pela parte inferior da cobertura de vidro, e recolhido lateralmente por uma calha existente, que conduz a água destilada. Considerando que o aumento da lâmina de água reduz a produtividade, todos os três dessalinizadores, são avaliados com profundidade de 1 cm. Na Figura 26 são apresentados os componentes utilizando no dessalinizador solar.

Figura 26: Sistema estrutural do dessalinizador solar



Fonte: Autoria própria (2021)

De acordo com Soares (2004) a inclinação da cobertura de vidro é definida por latitude da região, mais 10° . Para a Região da Paraíba com latitude de $7^\circ 13' 50''$, deveria ser no mínimo 17° . Porém neste projeto foi adotado o modelo de dessalinizador pirâmide assimétrico, apresenta inclinação de $48,18^\circ$ e $22,30^\circ$, posto que, estes ângulos da cobertura de vidro para o modelo de dessalinizador proposto, apresentou escoamento perfeito nas faces do vidro, salienta-se que este modelo até o momento não foi encontrado na literatura. Na Figura 27 são apresentadas as etapas de construção dos dessalinizadores.

Figura 27: etapas da construção do sistema de dessalinização experimental



Fonte: autoria própria (2021).

O dessalinizador solar é composto por uma bandeja retangular de alumínio, possui 40 cm de largura e 54 cm de comprimento, e revestida de tinta preto fosco, resistente a alta temperatura, posteriormente foi isolado com duas camadas de lã de vidro, um isolante derivado da fibra de vidro com 30 mm de espessura, para diminuir a perda de calor com o ambiente e selado com chapa de zinco galvanizada com 1 mm de espessura.

4.2 Coletor Solar e Demais Dispositivos Elétricos

4.2.1 Coletor Solar

A primeira parte trata-se, de utilizar um trocador de calor, a partir da energia solar para pré aquecimento da água. Posto isso, a água quente sai do coletor solar tipo espiral e é direcionada para o dessalinizador, salienta-se que a metodologia para construção do coletor solar foi a partir de materiais de fácil aquisição no mercado e baixo custo.

O coletor solar espiral, é um tipo de trocador de calor que converte a radiação solar em energia térmica, o princípio básico de operação dos coletores é a exposição de uma superfície

negra à radiação solar, para que esta radiação absorvida seja transferida para um fluido, água ou ar, o coletor consiste em uma caixa de madeira, de dimensões 50 cm x 50 cm.

A água circula pela tubulação de mangueira de polietileno flexível cor preta 20 mm de diâmetro, sendo este um ótimo condutor, para transmitir o calor absorvido do sol para a água, e resistente a alta temperatura. Na Figura 28 ilustra detalhes do coletor solar, como uso de fixa fio, grelhas e chapa de alumínio para melhor fixação da mangueira.

Figura 28: Coletor solar espiral



Fonte: autoria própria (2021).

O sistema está hermeticamente fechado, utiliza o isolante térmico lã de vidro 30 mm de espessura e chapa de zinco para minimizar a troca térmica do fundo da placa com os espirais, a circulação da água acontece por convecção natural, visto que, o reservatório de água localiza-se a uma altura superior a 30 cm de altura da base do coletor solar.

4.2.2 Módulos Termoelétricos

Na utilização do módulo termoelétrico para refrigeração, geralmente a energia térmica produzida no lado quente é desperdiçada e rejeitada no meio ambiente. Nesta pesquisa, utilizamos a forma inovadora de inverter a forma de aplicação tradicional das pastilhas Peltier, como também são chamadas. Foram quatro módulos termoelétricos utilizados em um dessalinizador, podendo funcionar no sistema de acordo com sua necessidade de consumo. As características físicas e elétricas do módulo termoelétrico são apresentadas na Tabela 03.

Tabela 03: Propriedades elétricas do módulo termoeétrico

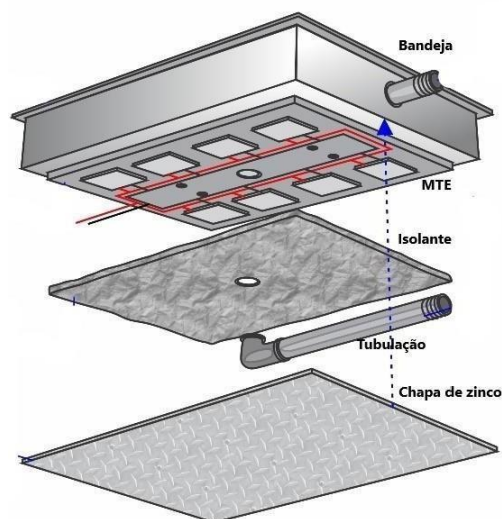
Descrição	Valor
Dimensão do módulo Peltier	40 × 40 mm ²
Corrente elétrica máxima	6 A
Tensão máxima	15,2 V

Fonte: Peltier (2020).

Neste contexto, a principal característica do projeto foi a utilização do lado quente do módulo termoeétrico, que foram aderidos na parte inferior da bandeja, por silicone adesivo e pasta térmica, que possui alto coeficiente de transferência de calor para elevar a temperatura da água no processo de evaporação.

Nossa principal dificuldade, foi isolar o módulo termoeétrico para conseguir maior eficiência, considerando que não pode deixar o lado quente da célula ter contato com o lado frio dela, assim entre as placas, seus arredores foram isolados com material isolante térmico e etileno acetato de vinila (E.V.A).

Um dissipador de calor de alumínio com aletas é conectado ao lado frio do módulo termoeétrico, utilizado para aumentar a sua eficiência. O dissipador de calor de alumínio tem área de 40 mm com aletas, que têm 25 mm de comprimento e 1,5 mm de espessura, na Figura 29 apresenta a conexão dos dispositivos elétricos na bandeja.

Figura 29: Conexão dos dispositivos elétricos na bandeja

Fonte: autoria própria (2021).

A energia elétrica necessária para os módulos termoeétricos(MTE), foram fornecidos por um gerador eólico. Sendo assim, toda a energia foi fornecida por energia renovável. É importante relatar que os estudos anteriores, a energia de módulos termoeétricos é fornecida

na maioria das vezes por rede de energia distribuída, utilizando uma fonte elétrica para os processos.

Mas para ter uma avaliação adequada e precisa do desempenho desses modelos em condições reais para regiões remotas, é essencial o uso de energias renováveis para estudar o comportamento do sistema.

a) Procedimento Experimental

Foram realizados experimentos durante os anos de 2021 e 2022, no intuito, de avaliar o desempenho térmico do dessalinizador durante diferentes estações do ano. Os três dessalinizadores solar e o coletor solar foram analisados simultaneamente, para comparação e compreensão dos resultados, quanto à utilização de módulos termoelétricos e o coletor solar no desempenho térmico do sistema de dessalinização solar.

As medições iniciais do dessalinizadores solar possibilitaram uma avaliação primária dos experimentos, como também os ajustes técnicos do protótipo, no que refere-se a verificação de vazamento, vedação e perdas de calor. Ressalta-se que para evitar erros nos experimentos, ao final de cada experimento diário, a bandeja e os dessalinizadores foram higienizados. A água tratada foi coletada em um poço artesiano localizado na zona rural, no município de Barra de Santana/PB, região que faz parte do semiárido Paraibano.

4.3 Caracterização da Área de Estudo para o Dessalinizador Experimental

O sistema foi instalado nas dependências do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, na cidade de Campina Grande – PB, a uma latitude de 7° 13' 50", longitude de 35° 52' 52" e altitude de 551 m. Na Figura 30 são apresentados os dessalinizadores e o coletor solar.

Figura 30: Sistema de dessalinização experimental



Fonte: autoria própria (2022).

Os experimentos foram realizados em regime de batelada, a partir de 07 horas às 16:30 horas, as medições dos parâmetros analisados, coletadas a cada minuto. Inicialmente foram realizados experimentos com o coletor solar espiral acoplado ao dessalinizador pirâmide (DA), o dessalinizador pirâmide passivo (DP) e dessalinizador solar híbrido com os módulos termoelétricos (DH) funcionaram simultaneamente, com as mesmas condições de construção e operação.

De acordo com os experimentos realizados no sistema de dessalinização, foram realizadas diversas modificações no que concerne a tubulação da entrada de água de alimentação dos dessalinizadores e do coletor solar, na vedação da cobertura de vidro e nos materiais isolantes para retirar alguns vazamentos a fim de melhorar o desempenho dos dessalinizadores.

4.4 Parâmetros e Instrumentação

Os seguintes parâmetros operacionais são utilizados para experimentação: temperatura do ar ambiente, temperatura da água na entrada e saída do coletor solar, e do dessalinizador, temperatura interna e externa da cobertura do vidro, na bandeja dos dessalinizadores e temperatura da água dentro do sistema foram registrados. Quanto aos parâmetros físico-químicos analisados, segundo metodologia descrita *Standard Methods* (BAIRD, EATON, RICE, 2017), para caracterização da água bruta e destilada, estão dispostos na Tabela 04.

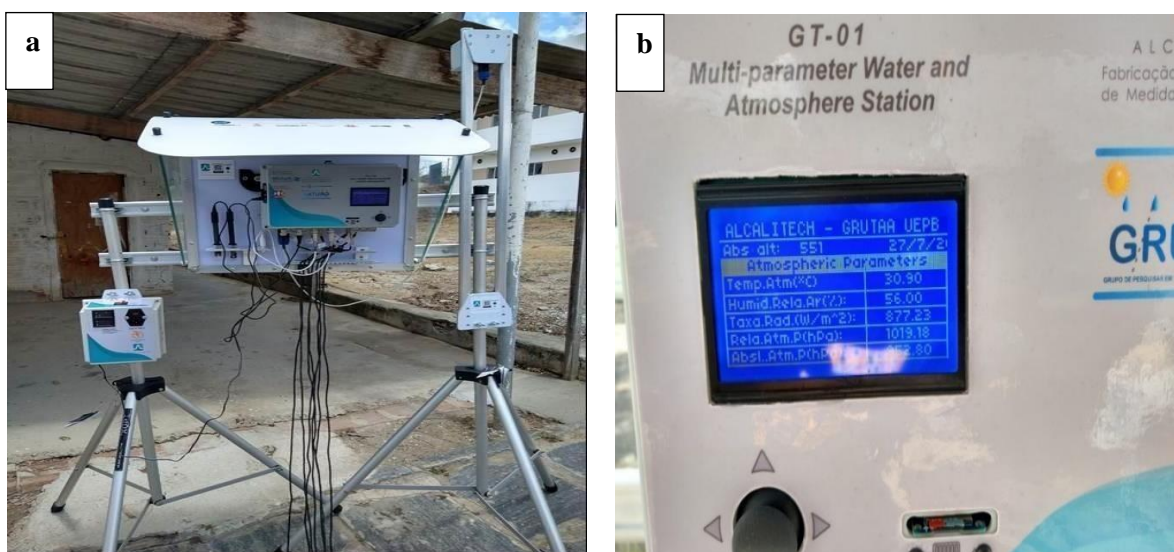
Tabela 04: Parâmetros para caracterização da água

Parâmetros	Unidade	V.M.P.*
Cloreto	mg Cl ⁻ .L ⁻¹	250,0
Turbidez	NTU	5,0
pH	Adimensional	6,0 – 8,5
Alcalinidade	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	100,0
Dureza	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	500,0
Condutividade elétrica	μS.cm ⁻¹	-
Sódio	mg Na. L ⁻¹	200,0
Cor	uH	15,0

Fonte: *Valor máximo permissível pela Portaria nº 888 de 04 de maio de 2021 do M.S.

Os instrumentos de medição utilizado foram uma plataforma eletrônica de software e hardware livres, que possui medidas múltiplas, como radiação solar, pH, alcalinidade, também apresenta 16 entradas de temperatura. O multianalisador GT-01 é equipamento desenvolvido pela Alcalitech Automação e Instrumentação Analítica, em parceria com o nosso grupo de pesquisa GRUTAA-UEPB, cuja pedido de patente do invento é registrada pela UEPB sob processo BR 10 2021 007599 6 (Sistema integrado multianálise com conectividade e função data logger para monitoramento de estações de dessalinização solar e outros sistemas de tratamento de águas e efluentes).

Trata-se de um sistema integrado com característica multianálise, equipado com recursos para monitoramento de parâmetros operacionais ver Figura31(a). Este instrumento foi projetado para operar em regime de fluxo de análise, dispondo de função data looger ver Figura 31 (b), que também permite monitoramento remoto.

Figura 31: Sistema completo de medição (a) painel de comando (b)

Fonte: Autoria própria (2021)

Tal instrumento é responsável por um circuito coletor de todos os dados experimentais, para aquisição das medidas de temperaturas e demais parâmetros para os três dessalinizadores e o coletor solar. Na Tabela 05 apresenta a precisão dos instrumentos utilizados para verificar a intensidade de radiação solar, temperatura e volume de água.

Tabela 05: Mensuração e precisão dos instrumentos

Instrumentos	Faixa de Medição	Precisão	Erro %
Radiômetro	1–1300 W.m ⁻²	±10 W.m ⁻²	5,0
Termômetro Digital	–50–300 °C	±0,1 °C	0,25
Proveta volumétrica	0–1000 mL	±10,0 mL	1,0

Foram elaborados, gráficos de variação de temperatura e produtividade de água dos dessalinizadores, como a variação horária da intensidade solar, velocidade do vento, temperatura da água, vidro interno e externo, temperatura ambiente, a produção horária de água destilada, identificando os regimes de aquecimento, permanente e resfriamento.

4.5 Gerador Eólico de Pequeno Porte

Neste tópico será discutido sobre características operacionais, de controle e o desempenho dos equipamentos de conversão da energia mecânica em energia elétrica (gerador eólico) e, posteriormente, energia elétrica em calor.

Foi realizada uma pesquisa de mercado, com os modelos de geradores eólicos existentes, que possa atender às exigências da potência a ser utilizada. Para instalação do gerador eólico, foi instalado uma torre que normalmente é usada para iluminação pública do campus da universidade, e projetado uma base rotacional para suporte, ver Fig. 32. O gerador eólico utilizado, apresenta baixa velocidade de arranque, baixa vibração e baixo ruído, possui ajuste automático da direção do vento, geralmente são utilizados para iluminação de ruas híbridas (solar e eólica), podendo ser utilizado para zona rural, e transportes marítimos (INSMA, 2021). No Quadro 02 são apresentadas as especificações técnicas do gerador eólico utilizado na presente pesquisa.

Quadro 02: Especificação técnica do gerador eólico

Descrição	Valor
Potência nominal	500W
Potência máxima	510W
Tensão	12V/24V
Velocidade do vento para partida	2 m.s ⁻¹
Velocidade nominal do vento	13 m.s ⁻¹
Velocidade máxima operacional	50 m.s ⁻¹
Peso do motor principal	6,8 Kg
Comprimento das pás da turbina	1,35 m
Número de lâminas	3
Material da lâmina	Fibra de nylon
Gerador	Trifásico, corrente alternada, ímã permanente
Torre para o gerador	06 metros

Fonte: Insma (2021)

Este tipo de gerador eólico, permite a operação sem a energia distribuída, isto significa, não associado a geração de energia distribuída. Salienta-se que, outros modelos de gerador eólico foram excluídos devido a que não apresentam os requisitos para o uso em dessalinizadores solar, o gerador eólico escolhido atendeu à demanda de energia em período de baixa velocidade, é o modelo que apresenta a menor velocidade de partida, e curva de potência mais íngreme.

O sistema de conversão de energia eólica proposto, não possui geradores elétricos, caixas de engrenagens, unidades de controle, conexões elétricas e transformadores, sendo assim, o modelo de dessalinização apresenta um sistema eólico mais simples e compacto, e pode ser transportado a outros lugares.

O gerador eólico foi instalado nas dependências da Universidade Estadual da Paraíba, antes do equipamento ser transportado ao campo de estudo, realizamos a montagem, para verificar possíveis interferências, e a caixa elétrica galvanizada que apresenta o controlador de carga e a conexão para a bateria e módulos termoeletrônicos conforme ilustra a Figura 32(a) posteriormente foi construído ao lado da torre eólica um suporte de alvenaria para colocar todos os equipamentos de medição na Figura 32(b) e na Figura 32(c) o gerador eólico em funcionamento.

Figura 32: Instalação do gerador eólico(a) suporte de alvenaria(b)gerador eólico(c)



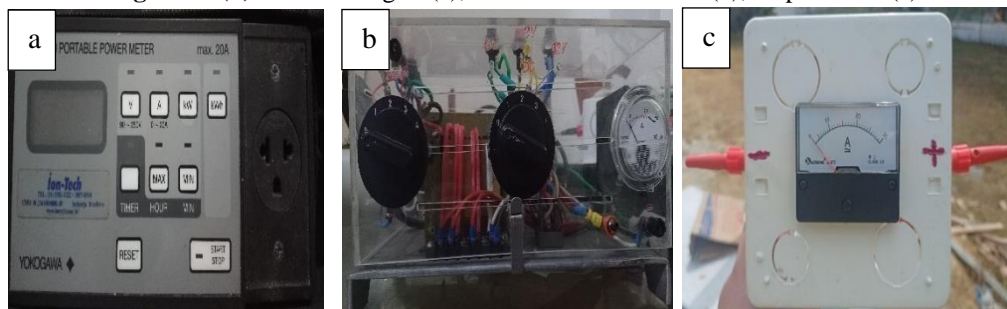
Fonte : autoria própria (2022)

Por fim, os instrumentos elétricos para medição, utilizados foram: voltímetro digital modelo DT-830, medidor de energia elétrica digital, dois disjuntores para proteção da bateria e do gerador eólico, o amperímetro em painel foi por adaptação em uma caixa plástica. Uma

bateria estacionária para armazenar energia elétrica gerada através do gerador eólico, foi usada com capacidade de 120 Ah, recomendada para sistemas em 12V.

Antes de iniciar os experimentos do dessalinizador híbrido, foi analisado o sistema elétrico em laboratório, a partir da utilização do medidor de energia digital conforme a Figura 32b(a), transformador elétrico na Figura 32b(b) e o amperímetro na Figura 32b(c), com o uso de energia elétrica da rede distribuída.

Figura 32(b): medidor digital(a), transformador elétrico(b), amperímetro(c)



Fonte : autoria própria (2022)

Foi avaliado o comportamento de quatro módulos termoeletricos acoplados a bandeja, sem a presença de água salobra para avaliar o sistemas sob condições de contorno diferente do experimento real.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção será disponibilizado detalhadamente os resultados sobre o desempenho inicial dos três dessalinizadores solar em modo passivo, como também a avaliação do uso do coletor solar no dessalinizador ativo, a avaliação do dessalinizador híbrido com os módulos termoelétricos e o gerador eólico, análise comparativa do desempenho térmico dos três dessalinizadores e suas respectivas produtividade de água e por fim a análise da qualidade físico-química da água bruta e tratada.

5.1 Análise térmica inicial dos três dessalinizadores solar

A princípio foi realizado o experimento com os três dessalinizadores solar funcionando simultaneamente no modo passivo, este procedimento teve o intuito de verificar se as medidas referente a variação de temperatura dos dessalinizadores estão em conformidade entre os três protótipos, para que possa ser feito posteriores ensaios experimentais com as devidas modificações, sendo estas um modelo com coletor solar e outro modelo com módulos termoelétricos. Neste primeiro momento os dessalinizadores solar foram nomeados como D1, D2 e D3, para analisar o desempenho térmico e produtividade com a lâmina de água de 1,0 cm, salienta-se que este experimento foi realizado no mês de Julho. As Figuras 33, 34 e 35 ilustram o perfil de temperatura dos dessalinizadores solar D1, D2 e D3.

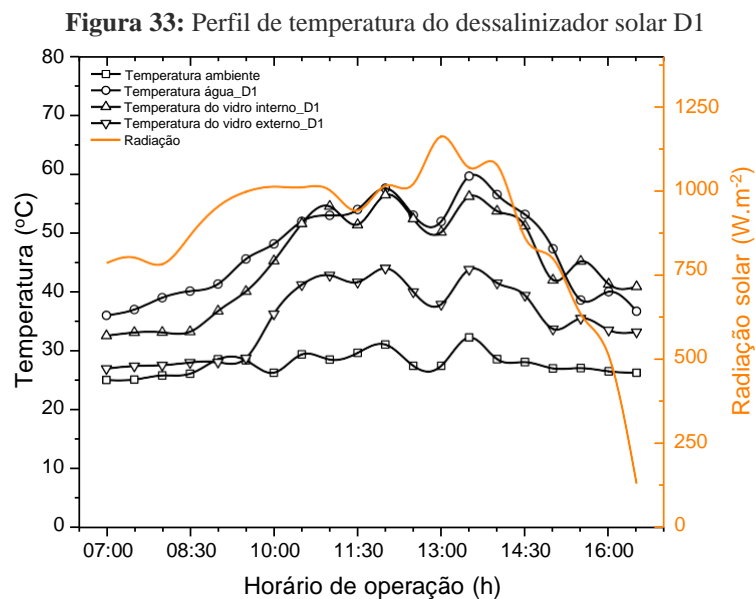
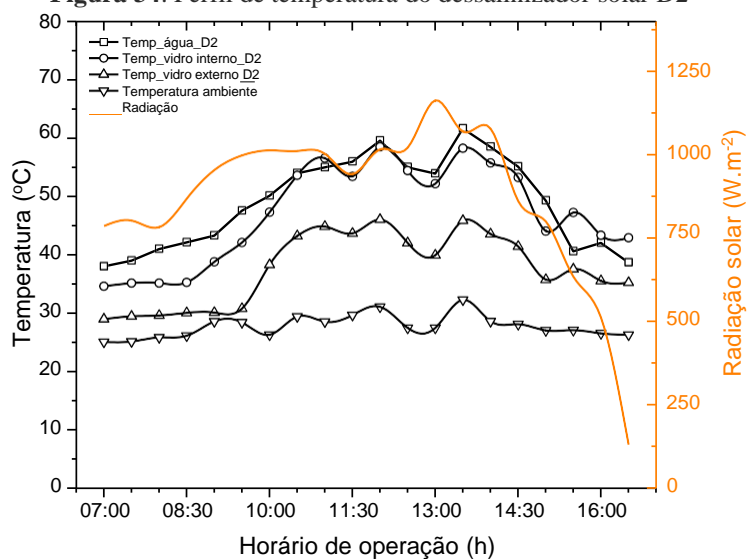
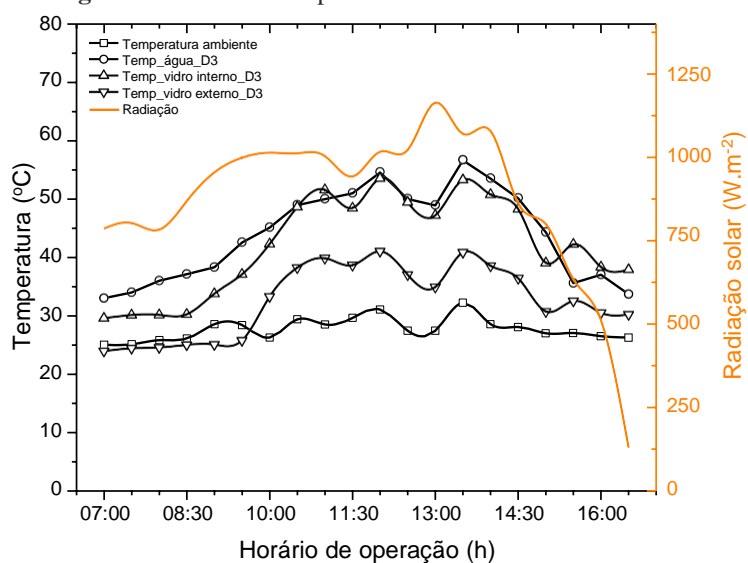


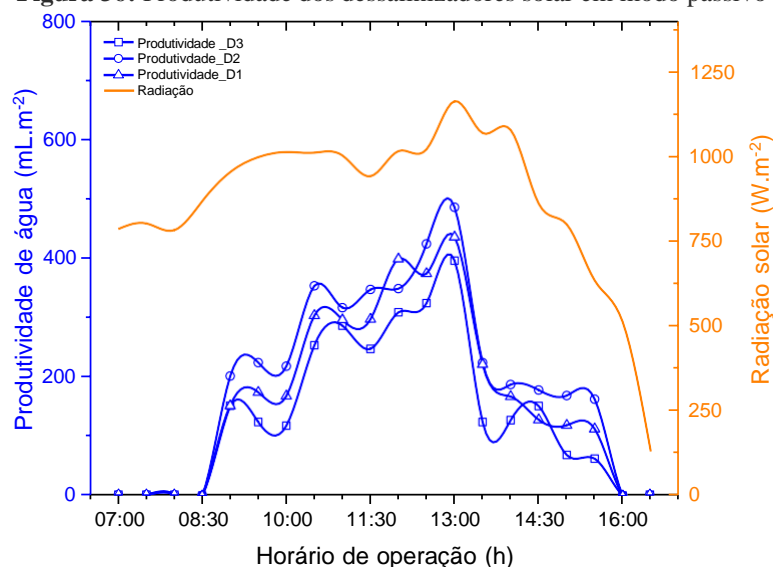
Figura 34: Perfil de temperatura do dessalinizador solar D2**Figura 35:** Perfil de temperatura do dessalinizador solar D3

Foi observado a partir das Figuras 33, 34 e 35 que as temperaturas do vidro externo atingiram ao valor máximo de 43,1°C(D1), 45,4°C(D2) e 42,3°C(D3), enquanto as temperaturas da água estão bem próximas ao longo do experimento e atingiram a temperatura máxima de 57,3°C, 59,0°C e 55,3°C, para D1, D2 e D3 respectivamente, esses valores foram encontrados após 30 minutos do momento de maior intensidade de radiação solar verificada de 1112,36 W.m⁻² às 13:15h, foi constatado também que as temperaturas médias do vidro interno foram 45,2°C (D1) 47,6°C (D2) 42,8°C (D3), para um valor médio de radiação solar de 708,35 W.m⁻². É notório que a variação das temperaturas em todos os componentes dos dessalinizadores são proporcionais a curva de radiação solar.

El-Agouz et al. (2015) observaram que é comum existir pequenas diferenças entre os modelos passivos, principalmente a diferença entre o vidro interno e externo da superfície de cobertura de vidro, essa diferença ocorre entre 1°C a 6°C. Percebe-se que os perfis de temperatura da água, vidro interno e externo foram similares nos três dessalinizadores analisados, neste experimento a média da temperatura ambiente foi 25,6°C.

Por outro lado, também é necessário avaliar a produtividade de água dos dessalinizadores em modo passivo, a Figura 36 apresentada são as curvas de produtividade do D1, D2 e D3 e a radiação diária.

Figura 36: Produtividade dos dessalinizadores solar em modo passivo



A produtividade dos três dessalinizadores iniciaram às 9:00h, no modelo passivo a produtividade diária foi aproximadamente para D1 de 1504,36 mL.m⁻².dia⁻¹, para o D2 de 1795,87 mL.m⁻².dia⁻¹ e D3 de 1203,54 mL.m⁻².dia⁻¹, portanto os resultados experimentais foram semelhantes.

Quanto a produtividade horária dos dessalinizadores solar, o valor máximo da produtividade instantânea foi de aproximadamente para o D1 de 435,5 mL.m⁻² para o D2 de 455 mL.m⁻² e o D3 de 398,5 mL.m⁻². Observa-se que os processos de condensação continuaram nos dessalinizadores mesmo com a intensidade de radiação solar mais baixa de 271,35 W.m⁻², visto que a produtividade água dessalinizada atingiu 64,10 mL.m⁻², 69,12 mL.m⁻² e 59,36 mL.m⁻² respectivamente para D1, D2 e D3, às 16:30.

Comportamento similar foi relatado pelos autores Sathyamurthy et al. (2016) que utilizaram o modelo de dessalinizador passivo tipo pirâmide e concluíram que considerando a

temperatura da água de entrada de 32 °C o modelo experimental teve a produtividade 1850,69 mL.m⁻².dia⁻¹.

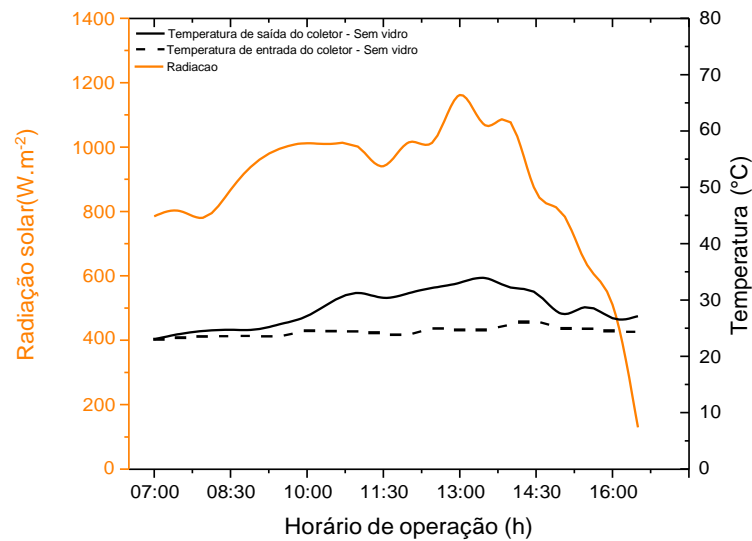
Nota-se que a produtividade do D2 foi superior, comparado à D1 e D3, com isso foram escolhidos os modelos que apresentaram valores inferiores de produção de água para adicionar os módulos termoeletrônicos e o coletor solar, neste caso D1 foi acrescentado o coletor solar e o D3 inserido os MTE.

Pequenas diferenças do mesmo modelo de dessalinizador solar entre alguns valores experimentais apresentado, como valores de temperatura da água, vidro e produtividade horária são ocasionadas porque ocorrem incertezas em algum momento do experimento relacionadas a caídas de gotículas de água dessalinizada da cobertura de vidro de volta a bandeja, como também evaporação parcial da água dessalinizada durante a coleta de dados da proveta volumétrica e finalmente o intervalo de tempo entre os processos de dessalinização e a coleta de água destilada

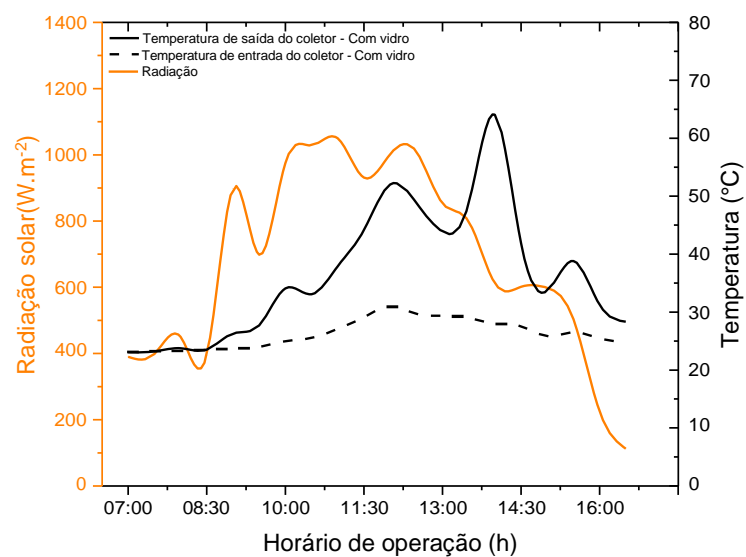
Finalmente, a partir dos resultados da produtividade de água dos dessalinizadores apresentados, constatou-se que os três modelos construídos estão calibrados para prosseguir os experimentos com as devidas modificações proposta na pesquisa. Nos próximos tópicos os modelos de dessalinizadores serão nomeados como DP, DA e DH.

5.2 Avaliação do coletor solar espiral experimental

No experimento inicial realizado, o coletor solar foi operado de acordo com o proposto na metodologia, e foi observado que a variação térmica entre a temperatura da entrada e saída de água no coletor, não foi significativa quando comparado ao coletor com cobertura de vidro, ressalta-se que este experimento foi realizado no período de Julho. Na Figura 37, ilustra a dinâmica de aquecimento do coletor solar sem a presença do vidro de cobertura.

Figura 37: Ensaio experimental coletor solar

Neste experimento, a temperatura média ambiente foi $27,1^{\circ}\text{C}$, a temperatura máxima da água na saída do coletor não ultrapassou a $33,8^{\circ}\text{C}$ e a radiação média durante o ensaio foi de $871,35 \text{ W.m}^{-2}$, isto significa, que houve pequena amplitude térmica entre a entrada de saída de água no coletor solar. Neste sentido, foi adicionado um vidro transparente de 4 mm de espessura, no intuito de aumentar o desempenho térmico. Na Figura 38 são apresentados os dados do perfil de temperatura do pré- aquecedor no experimento realizado após a adição do vidro transparente.

Figura 38: Perfil de temperatura do coletor solar espiral com vidro

As temperaturas relativas a saída de água no coletor solar após a utilização do vidro de cobertura, entre 9:30 da manhã e 14:30 da tarde variaram entre 26,31°C e 64°C, apresentou uma amplitude térmica máxima de 36°C, com a radiação solar média de 676 W.m⁻², sendo reduzida de forma intensa depois de 15 horas, proporcionalmente a redução da intensidade de radiação solar, também foram observadas variações nos valores de radiação, derivado principalmente da nebulosidade. Na Tabela 06 são apresentados os dados referentes as temperaturas de entrada e saída de água do coletor solar, radiação solar e temperatura ambiente de cada experimento.

Tabela 06: Variação de temperatura entre a entrada e saída do coletor solar

Ensaio	Radiação solar média (W.m ⁻²)	Temperatura entrada da água (°C)	Temperatura saída da água (°C)	Temperatura Ambiente(°C)
1° ensaio	871,35	24,81	33,88	30,31
2° ensaio	676	28	64,06	32,84
3° ensaio	861,35	24,81	61,5	32,10
4° ensaio	340	26,81	41,85	31,06

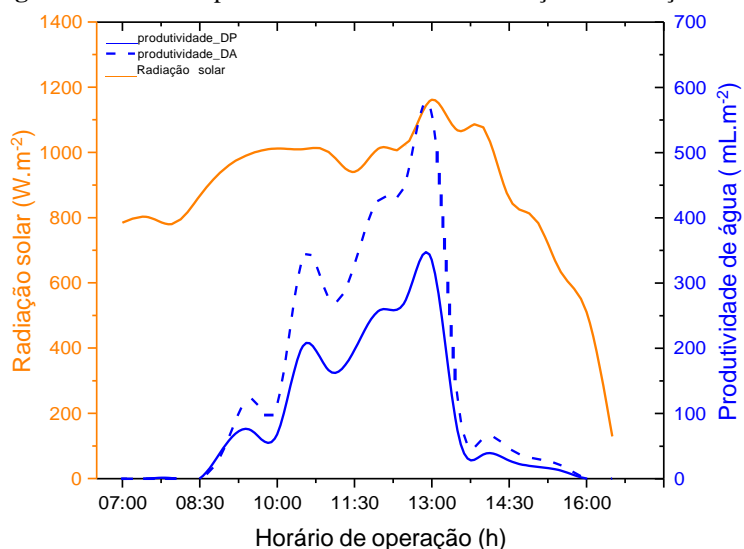
Os resultados encontrados corroboram com estudos encontrados na literatura, conforme relataram os autores Santos et al. (2021), que avaliaram a conversão energética com coletor plano de aço galvanizado. Durante o experimento, constataram que a temperatura máxima no interior do coletor foi de 70,4°C, com uma amplitude térmica máxima de 38,6°C, entre o interior e exterior do equipamento. Ressalta-se a importância do coletor solar para pré aquecimento, levando em consideração os resultados dispostos nos experimentos anteriores assim como o sistema de dessalinização experimental apresentado.

Os autores Mohammad, Alazawi e Mohammad (2020) compararam dois coletores espirais, o primeiro sem cobertura de vidro e o outro com a cobertura de vidro, o coletor espiral foi fabricado em tubo de cobre de 15 metros de comprimento, na faixa de temperatura ambiente de 12°C a 17°C. Os resultados experimentais mostraram que a temperatura de saída máxima, e eficiência foram encontrados em cerca de 19 °C, 35% respectivamente no coletor em espiral sem cobertura. Enquanto, no coletor espiral com cobertura foi encontrado cerca de 21 °C, 60% respectivamente. Portanto a cobertura de vidro aumentou a eficiência do coletor espiral em 25%.

5.2.1 Análise comparativa dos dessalinizadores solar DA e DP

Os resultados apresentados a seguir, estão relacionados aos dados de produtividade dos dessalinizadores passivo e ativo, e a curva de radiação a partir da Figura 39. No período do inverno, a dificuldade encontrada nos ensaios, foi a variação climática da região de Campina Grande no período chuvoso enfrentado no meses de inverno. .

Figura 39: Perfil de produtividade e curva de variação da radiação solar



Os resultados indicaram que no período de inverno, em alguns momentos a temperatura da cobertura de vidro foi superior à da água salobra, posto que houve uma maior absorção da radiação solar na cobertura de vidro, podemos observar que as variações de radiação foram atribuídas às oscilações climáticas como a passagem de nuvens.

Faz-se necessário, observar variáveis importantes, tendo como exemplo a estação do ano, precipitação, radiação solar e nebulosidade. Salienta-se que não foi verificada influência expressiva da velocidade do vento na produtividade para o dessalinizador passivo e ativo. Esses desvios, dos perfis de temperatura podem ser justificados pela variação da radiação solar em razão da nebulosidade em vários momentos no período de inverno, que deve ser considerada na presente pesquisa. A presença periódica de chuvas de vento, pode ser observado um decaimento na produtividade dos dessalinizadores, influenciando diretamente nos resultados do sistema experimental. Na Tabela 07 são apresentados os dados do dessalinizador passivo e ativo

Tabela 07: Produtividade dos dessalinizadores ativo e passivo

Modelo	Passivo	Ativo
Hora	Produtividade	Produtividade
07:00	0,00	0,00
07:30	0,00	0,00
08:00	0,00	0,00
08:30	0,00	0,00
09:00	51,28	51,28
09:30	73,85	123,08
10:00	67,69	112,82
10:30	203,08	338,46
11:00	166,15	276,92
11:30	196,92	328,21
12:00	258,46	430,77
12:30	273,85	456,41
13:00	335,38	558,97
13:30	73,85	123,08
14:00	36,92	61,54
14:30	27,69	46,15
15:00	18,46	30,77
15:30	12,31	20,51
16:00	0,00	0,00
16:30	0,00	0,00
Total	1795,89	2958,97

Os dessalinizadores apresentaram sombreamento durante a maior parte do dia, e precipitação eventual, a temperatura média atmosférica não ultrapassou a 27 °C, e a radiação solar média não ultrapassou 540 W.m⁻², com velocidade do vento média diária de 3,1 m.s⁻¹. Os parâmetros meteorológicos como radiação solar e a temperatura ambiente favoreceram a energia térmica ao sistema de dessalinização, e influenciaram diretamente a produtividade de água destilada.

5.3 Avaliação do dessalinizador solar híbrido acoplado ao gerador eólico

Neste tópico serão abordados a correlação da geração de energia eólica com a produtividade de água do dessalinizador, inicialmente foi avaliado o comportamento do gerador eólico para o funcionamento dos módulos termoelétricos. Por outro lado a primeira avaliação

do dessalinizador híbrido foi realizada em laboratório, os resultados do comportamento dos MTE são apresentados a partir da Tabela 8 que são demonstrados as variações de tensão(V), corrente contínua (A) e Potência (W).

Tabela 08: Variação dos dados elétricos dos módulos termoeletrônicos em laboratório

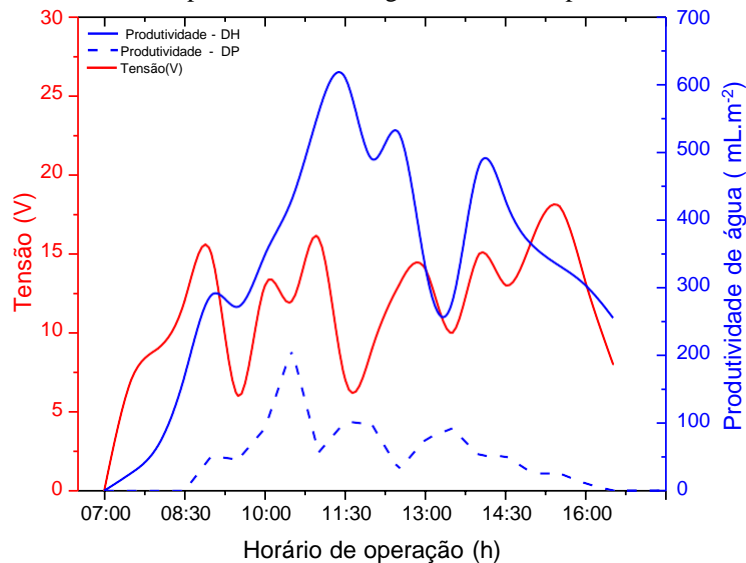
	Potência (W)	Corrente (A)	Tensão entrada(V)	Tensão saída(V)	Temperatura (°C)
MTE 1	35	3,0	218	11,65	67
MTE 2	42	3,5	218	11,7	66
MTE 3	32	2,7	218,8	11,63	70
MTE 4	32	2,7	220	11,74	70
MTE(Todas)	125	11,44	217	10,92	95,7

Os ensaios realizados, foram através da modificação das condições de contorno do sistema elétrico, sendo estes os valores de tensão fornecidos aos dispositivos com uso do transformador, para avaliar o comportamento do MTE, foi avaliado em diferentes tensões de 10(V), 11(V) e 12(V), similar ao sistema real do gerador eólico com a bateria estacionária. Por conseguinte, o produto do valor da tensão com o valor da corrente é igual ao valor da potência elétrica (NETO e CARVALHO, 2012) com isso, quanto menor a tensão de entrada, menor a potência do módulo termoeletrônico, salienta-se que os módulos foram conectados em paralelo e usado fio elétrico de 6 mm para suportar corrente total dos MTE.

Os MTE apresentaram a potência de operação mínima de 80W e potência máxima 130W, em laboratório foi identificado melhores resultados de desempenho dos MTE, em virtude do ensaio operar com a rede de energia *on grid* (220V).

5.3.1 Dessalinizador solar híbrido experimento realizado no mês de Junho

Na Figura 40 são apresentadas as curvas da produtividade de água do dessalinizador solar híbrido e passivo, a radiação solar e variação de tensão realizado no mês de Junho.

Figura 40: Perfil de produtividade de água DH e DP no período diurno

A produção de água com (MTE) foi 2 horas antes quando comparado ao modelo passivo. Os valores máximos de produção instantânea foi às 14:00h, neste momento a radiação foi de 835 W.m^{-2} , sendo $189,4 \text{ mL.m}^{-2}$ e $431,8 \text{ mL.m}^{-2}$ para DP e DH, respectivamente. Já a produtividade diária foi de $1.889,4 \text{ mL.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ para DP e $4.860,6 \text{ mL.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ para DH, em relação a tensão de entrada o valor máximo foi de $19,01(\text{V})$. Volumes inferiores de água foram obtidos por (ALBUQUERQUE et al., 2022) em estudo realizado com o dessalinizador pirâmide simétrico passivo, em pesquisa experimental na Paraíba sob condições meteorológicas parecidas.

Os autores Mohda, Kiwan e Talafha (2016) estudaram o dessalinizador solar híbrido, a partir da conversão de energia de fricção térmica com uso de um moinho de vento que aquece um óleo. Este calor é transferido para a água, em seguida, a água aquecida é bombeada para o dessalinizador, eles concluíram que o rendimento do sistema híbrido foi 216% maior, comparado ao modelo passivo.

As temperaturas da cobertura de vidro e da água do dessalinizador híbrido foram superiores ao modelo passivo e a diferença de temperatura entre a água e a cobertura do vidro externo foram maiores por causa do aquecimento dos módulos termoelétricos aderidos a bandeja.

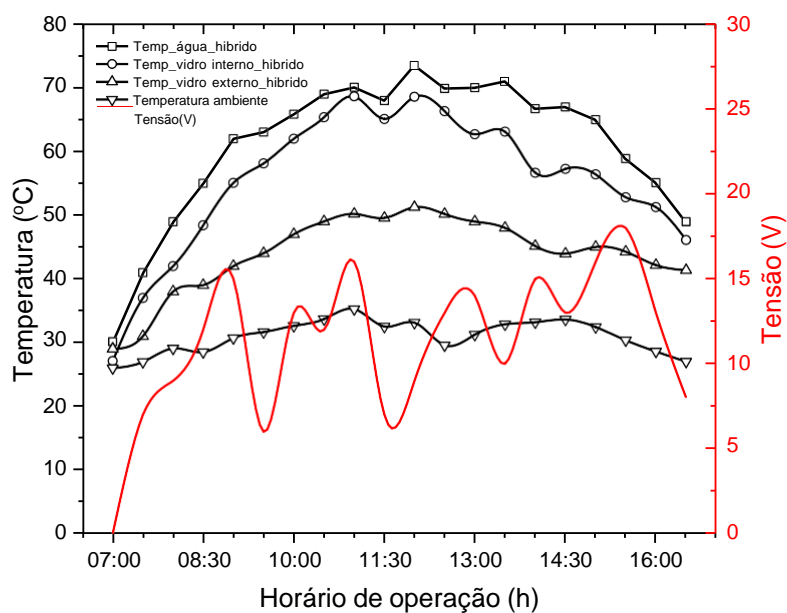
Foi encontrado na literatura um número de pesquisa limitada com uso de sistemas de aquecimento com MTE para aumentar a produção de água, a pesquisa foi realizada pelos autores (PARSA et al., 2020), que utilizou o dessalinizador de inclinação única com refletor na cidade de Teerã, eles avaliaram o uso de dois MTE na bandeja com presença de

nanofluidos de prata na água, o sistema foi acoplado a dois painéis fotovoltaico de 150W, concluíram que a eficiência diária com nanofluidos/módulo termoeletrico, e o dessalinizador passivo foi de 25,42% e 16,58%, respectivamente.

5.3.2 Dessalinizador solar híbrido experimento realizado em outubro

Na Figura 41 ilustra o perfil de temperatura da água, vidro interno, vidro externo e temperatura ambiente do dessalinizador híbrido com a curva de tensão, o experimento foi realizado no mês de outubro.

Figura 41: Perfil de temperatura do DH em função do gerador eólico



Observou-se instabilidade da geração de energia elétrica ao longo dos experimentos realizados durante o período diurno, derivado da variação da velocidade do vento, com velocidade máxima de 14 m.s^{-1} e mínima de $0,8 \text{ m.s}^{-1}$, sendo a velocidade média $5,4 \text{ m.s}^{-1}$, conseqüentemente a mesma variação foi verificada no valor da tensão e no desempenho dos MTE, os valores máximos de tensão favoreceram aumento de temperatura do vidro e da água, o valor de maior tensão atingiu a 16(V).

Por outro lado se a velocidade do vento for uniforme, como o que normalmente acontece em alturas superiores a 120 m, como resultado o desempenho dos MTE será melhor. A intermitência do gerador eólico de pequeno porte apresenta alta variabilidade da geração de energia em terrenos urbanos de baixas altitudes e é compensada pelo baixo custo de instalação (GODSON et al., 2013).

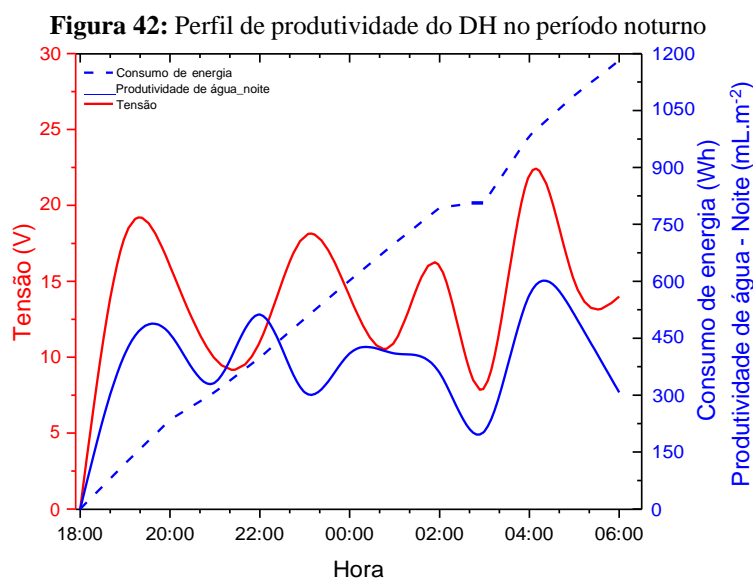
Tummala et al. (2016) estudaram sobre o comportamento do gerador eólico de pequena escala, observaram que a velocidade do vento não apresentou frequência uniforme, esta situação é muito comum para a maioria das turbinas eólicas de pequena escala, uma vez que são colocadas em baixas alturas, aproximadamente 10 a 15 metros.

Percebeu-se também que a temperatura no lado quente do módulo termoeletrico aumentou, o qual atingiu a temperatura máxima da água 78°C após 05 horas do início do experimento com a contribuição da radiação solar, e a diferença máxima de temperatura entre a cobertura de vidro e a temperatura de água foi de 20,5°C.

A variação de tensão durante o dia, com a utilização de quatro módulos termoeletricos aderidos a bandeja do dessalinizador híbrido, alcançou a potência média de 512,82 W.m⁻² e melhorou a produtividade de água. Para o DH foi 7615,38 mL.m⁻².dia⁻¹ logo a produtividade do modelo híbrido foi aproximadamente 3,5 vezes superior ao modelo passivo, para o experimento realizado no mês de Outubro.

Os autores Rahbar, Esfahani e Asadi (2016) estudaram o efeito do resfriamento de um MTE no dessalinizador solar dupla inclinação assimétrico na cidade de Semnan-Irã. Os resultados mostraram que embora a área do módulo termoeletrico MTE seja 2,8 vezes menor que a área da cobertura de vidro do dessalinizador solar, a eficiência foi até 3,2 vezes maior, e a produção de água com MTE foi 3 horas antes quando comparado ao modelo passivo, valor próximo ao encontrado neste trabalho.

Na Figura 42 são representadas a curva de variação de consumo de energia (Wh), a produtividade de água e a tensão (V), este experimento foi realizado no período noturno entre 18:00h e 06:00h, este experimento foi realizado no mês de outubro.



A tensão mínima e máxima do gerador eólico encontrada no período de 12 horas foi 2(V) e 22(V), respectivamente, a variação de tensão do sistema de geração de energia foi diretamente proporcional a velocidade do vento, a média foi $8,3 \text{ m.s}^{-1}$, o consumo total de energia elétrica a partir dos módulos termoelétricos foi 1 kWh durante às 12 horas de funcionamento. A produtividade alcançou o valor de $4794,87 \text{ mL.m}^{-2}.\text{dia}$, sem a contribuição de aquecimento através da radiação solar, apenas com os MTE. É perceptível que o aumento da tensão aumenta a eficiência dos MTE e a quantidade de água dessalinizada.

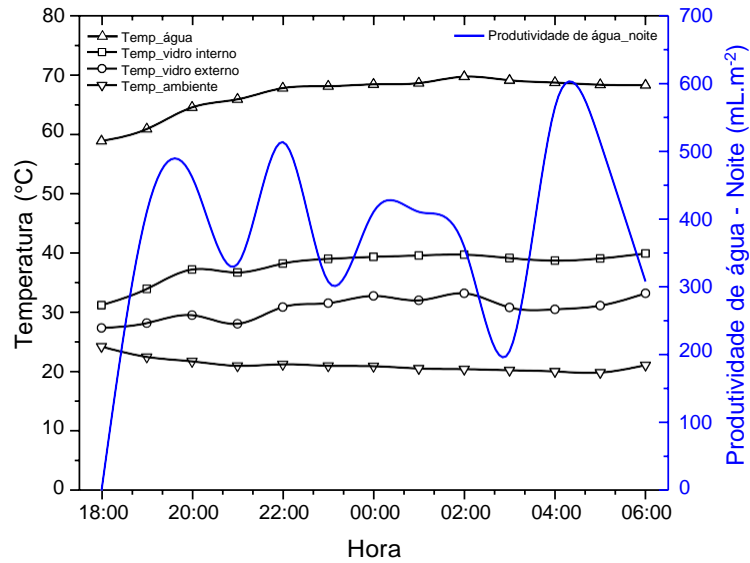
Por outro lado, os autores Al-Madhhachi e Min (2017), usaram um módulo termoelétrico na bandeja do dessalinizador durante o dia, e produziu $678 \text{ mL.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ de água destilada superior ao modelo passivo, eles também concluíram que a temperatura da água é um fator imprescindível na produtividade do sistema de destilação de água baseado em módulo termoelétrico. Diante disso, a temperatura máxima da água do DH no período noturno foi 69°C .

Khalifa e Hamood (2009) investigaram o efeito da profundidade da água no desempenho do dessalinizador solar do tipo inclinação dupla, e concluíram que a produção de água noturna foi devido a contribuição do calor armazenado durante as horas de incidência solar.

Nota-se que para os MTE possam funcionar 24 horas sem interrupção, nas condições reais de estudo, é necessário aumentar a potência nominal do gerador eólico. O sistema de energia renovável, é muito sensível aos valores assumidos dos parâmetros operacionais de projeto, como a relação entre o tamanho do gerador eólico (diâmetro) e o rendimento do dessalinizador solar (MOHDA, KIWAN e TALAFHA,2016).

Os resultados indicaram que o sistema proposto durante 09 horas de radiação solar produziu $7615,38 \text{ mL.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e sem aquecimento solar no período noturno foi $4794,87 \text{ mL.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ de água destilada, em suma a produção de água de aproximadamente 24 horas de forma contínua totalizaram $12.410,25 \text{ mL.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Os dados apresentados na Figura 43 ilustra a curva de produtividade de água, e o perfil de temperatura do dessalinizador solar híbrido no período noturno.

Figura 43: Perfil de temperatura e produtividade de água do DH no período noturno



De acordo com o gráfico de perfil de temperatura observou-se que a produtividade de água é crescente, e a produção iniciou após 30 minutos de funcionamento. Além disso, a temperatura do vidro externo e da água atingiu o ponto máximo às 03:30h com 53,5 °C e 67 °C, respectivamente, a maior diferença de temperatura entre o vidro e a temperatura da água foi 21°C às 04:00 horas, neste momento a produção instantânea chegou a 564,10 mL.m⁻², momento de elevada transferência de calor por convecção entre a água e vidro.

Os autores Al-Madhhachi e Min (2017) relataram que quando houver uma maior diferença de temperatura entre o vapor de água e a superfície da cobertura de vidro levará a uma maior produtividade. A Tabela 09 são apresentados os dados do perfil de temperatura da água, vidro e produtividade do modelo híbrido durante o período diurno e noturno.

Tabela 09: Comparação entre dessalinizador híbrido período noturno e diurno

		Diurno		Noturno			
Hora (h)	Produtividade mL.m ⁻²	Ta	Tv	Ta	Tv	Hora (h)	Produtividade mL.m ⁻²
6	0	29	25	58	27	18	0,00
7	153,89	35	31	60	28	19	410,26
8	371,12	48	36	64	29	20	461,54
9	435,89	61	42	65	28	21	333,33
10	461,53	68	47	67	30	22	512,82
11	666,69	70	50	68	31	23	307,69
12	512,82	78	51	68	32	24	410,26
13	769,23	69	47	68	33	01	410,26
14	307,69	73	43	69	30	02	358,97
15	666,64	64	40	68	30	03	205,13
16	307,25	53	41	68	31	04	564,10
17	282,65	48	38	68	33	05	512,82

A produtividade do dessalinizador no período noturno também está correlacionado a baixa temperatura ambiente (20°C) sendo o valor mínimo, conseqüentemente o processo de destilação é mais rápido comparado ao período diurno.

O modelo de gerador eólico proposto pelos autores (ISLAM et al., 2008) para uso residencial, de pequeno porte para ventos de baixa altura, houve geração de energia elétrica suficiente para 50% do consumo diário. Com isso, a seleção do tipo de gerador eólico é imprescindível, visando aproveitar ao máximo os ventos de baixa altura, ainda mesmo quando estiverem com valores inferiores a 13 m.s⁻¹ a geração de energia está garantida.

Mediante o exposto para os períodos do ano avaliado, o local escolhido para instalar o gerador eólico foi aceitável para produzir energia elétrica para o dessalinizador híbrido, desta maneira a quantidade de água total para o sistema híbrido, tendo em consideração o volume noturno e diurno de 12.410,25 mL.m⁻².dia⁻¹ foi superior 576% ao modelo de dessalinizador passivo, para o mês de outubro.

Estudos anteriores relatam que os sistemas de dessalinização de água possuem um consumo específico de energia elétrica variando de 0,00121 a 0,00772 kWh.mL⁻¹ mesmo com o auxílio de radiação solar (DEHGHAN, AFSHARI e RAHBAR, 2015). Nesta

pesquisa, o consumo de energia elétrica em quilowatts-hora(kWh) foi calculado, e os resultados mostraram que a energia elétrica necessária para produzir 4794,87 mL.m⁻².dia⁻¹ de água no período noturno foi de 1 kWh. Isso equivale a um consumo específico de energia de 0,00020 kW.mL⁻¹ durante a noite.

Da mesma forma foi calculado durante o período diurno, tendo em vista que o consumo total foi 0,55 kWh o consumo específico de energia foi de $7,22 \times 10^{-5}$ kW.mL⁻¹ para produzir 7615,38 mL.m⁻².dia⁻¹, é notório que este valor do consumo de energia é inferior ao valor noturno de consumo, porque adiciona-se o efeito térmico da radiação solar. Em suma, tanto a alta produtividade de água quanto o baixo consumo de energia elétrica apresentaram resultados significativos, conforme demonstrado neste estudo.

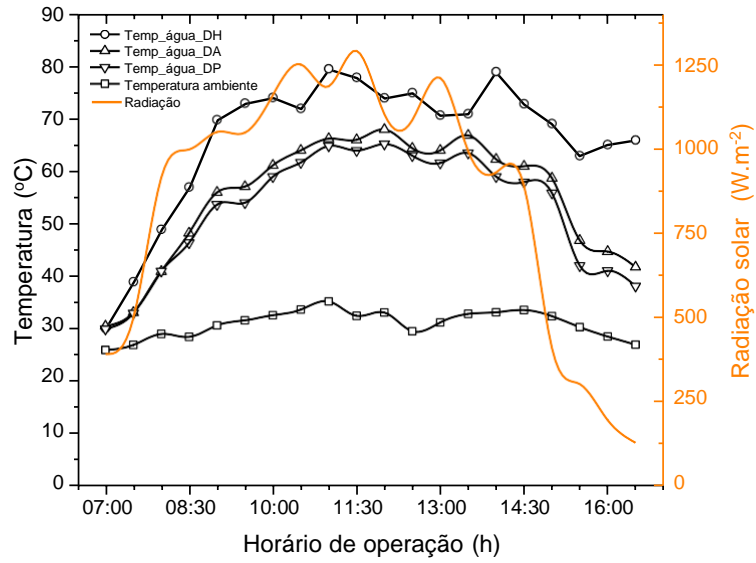
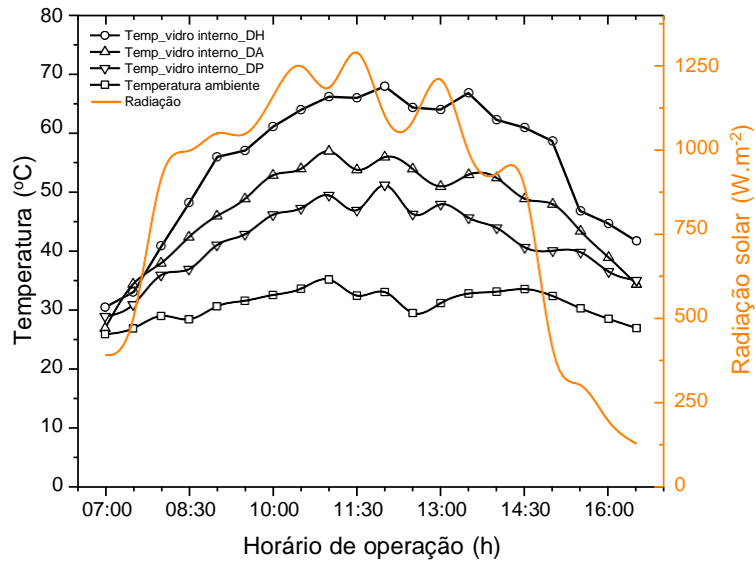
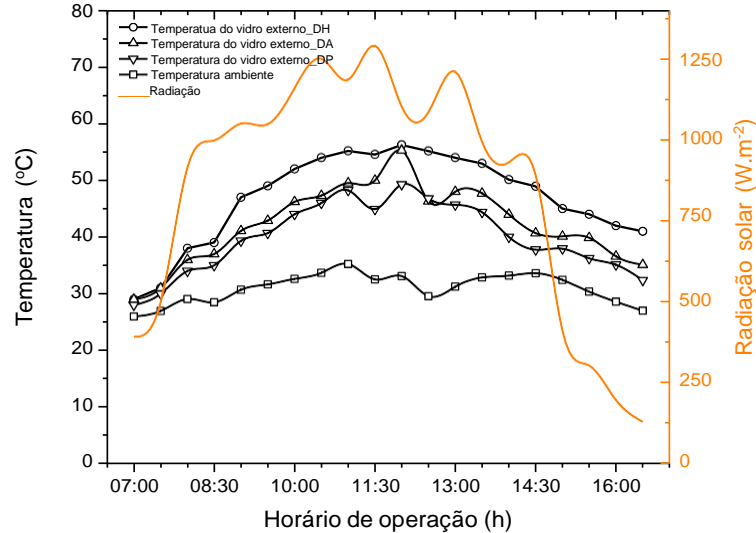
É possível observar que os edifícios em zonas urbanas reduzem a velocidade do vento perto do solo e aumentam a turbulência do vento, com isso, as condições do vento em ambientes urbanos tendem a ser muito diferentes (BRESHEARS e BRISCOE, 2009).

Como esperado, a quantidade de água dessalinizada foi proporcional a entrada de energia através do gerador eólico, contudo a variação de água destilada pode variar de acordo com a distribuição do vento, para a localidade de estudo o sistema híbrido eólico apresentou a média de 1550 (Wh) de consumo de energia elétrica. Por fim, é recomendável para estudos posteriores o uso de controlador de descarga para bateria com a finalidade de aumentar a vida útil da bateria evitar queima do dispositivo.

5.4 Análise do sistema experimental de dessalinização solar

5.4.1 Comparação dos perfis de temperatura dos dessalinizadores solar experimental

Neste tópico vamos discutir sobre o desempenho térmico experimental dos dessalinizadores solar híbrido, ativo e passivo. As variações de temperatura ambiente, temperatura da água e da cobertura de vidro interna e externa, em função da radiação solar para o DH, DA e DP. Na Figura 44, 45 e 46 são apresentados os dados do desempenho térmico referente ao mês de outubro.

Figura 44: Perfil de temperatura da água e radiação solar**Figura 45:** Perfil de temperatura do vidro interno e radiação solar**Figura 46:** Perfil de temperatura do vidro externo e radiação solar

Os resultados mostraram que não houve perdas por gotejamento retornando a bandeja, sendo assim a água destilada escoou perfeitamente até as calhas de coleta, a partir da inclinação do vidro proposto na pesquisa, para o modelo de dessalinizador pirâmide assimétrico. Também foi observado pelos autores Andrade et al. (2014) que estudaram o processo da destilação solar em protótipos de tecnologias de dessalinização e concluíram que a cobertura de vidro deve ter um declive que não deixe a queda de água condensada retornar novamente na bandeja, quando esta flui por gravidade para os reservatórios, o que poderá influenciar na inclinação ideal da cobertura.

A temperatura máxima da água do DA foi 67,9°C, sendo inferior à observada por Luna et al. (2016), que utilizaram o dessalinizador solar de dupla inclinação com coletor solar tipo espiral no mês de Fevereiro no município de João Pessoa-PB, este apresentou temperatura máxima da água do dessalinizador de 76°C.

Os resultados indicaram que a variação de temperatura da água do DA foi superior quando comparado ao DP em 25,62 %, este diferencial ocorreu a partir de 10:30 da manhã, isto é decorrente do efeito térmico do coletor solar no dessalinizador. O comportamento bem próximo foi observado pelos autores El-nashar (2019) que analisaram dois dessalinizadores solar tipo inclinação única, e o modelo com pré aquecimento de água por tubos evacuados, demonstrou 35% maior eficiência térmica, e a temperatura do vidro externo foi 30% superior ao modelo do dessalinizador passivo.

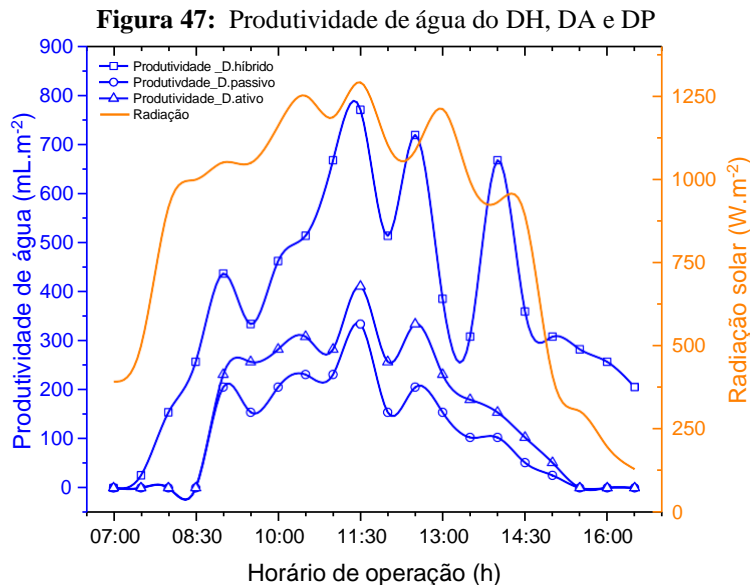
Ressalta-se que, mesmo com a redução da radiação solar a partir das 15:00h, para um valor de radiação solar de 410 W.m⁻² as temperaturas da cobertura de vidro e da água salobra continuaram elevadas dos três dessalinizadores, isto é atribuído às capacidades caloríficas da água e da cobertura de vidro que provoca o atraso de tempo entre a intensidade solar e os perfis de temperatura da água e do vidro (DEHGHAN, AFSHARI e RAHBAR, 2015).

A média da diferença de temperatura entre a água e a cobertura de vidro foi 12,96 °C, 13,03 °C e 16,99°C, DP, DA e DH, respectivamente. Trabalhos anteriores constataram que a diferença de temperatura da cobertura vidro e da água elevada, propicia maior produtividade nos dessalinizadores solar (PRAKASH e VELMURUGAN, 2015). Sathyamurthy et al. (2016) realizaram um estudo experimental para o desempenho de dessalinizador solar passivo do tipo pirâmide triangular, eles obtiveram a diferença de temperatura entre a água e a cobertura de vidro em média de 10°C a 15,5°C durante o período de radiação solar.

Percebe-se que a variação de temperatura da água dos dessalinizadores, alcançaram o valor máximo de 78°C para o DH e 65,2 °C para o DP ambos às 13:30h, meia hora após a radiação solar atingir o seu ápice de 1290 W.m⁻² às 12:30h, também obteve o valor máximo de temperatura da cobertura de vidro interno de ambos os dessalinizadores com 54,69°C, 55,38°C e 68,10°C para DP, DA e DH respectivamente. Resultados semelhantes foram propostos por (CARDOSO et al., 2022) que estudaram o dessalinizador solar passivo tipo escada na cidade de Campina Grande-PB, e identificaram a temperatura máxima da água de 61,25°C para radiação média de 950 W.m⁻².

5.4.2 Análise da produtividade de água dos dessalinizadores solar em outubro

Nesta seção são apresentados os resultados inerente ao experimento realizado no mês de outubro. De acordo com a Figura 47, ilustra o perfil de produtividade de água dos dessalinizadores híbrido DH, dessalinizador ativo DA e dessalinizador passivo DP, como também o perfil diário da radiação solar.



A partir da análise comparativa entre a produtividade dos dessalinizadores híbrido, ativo e passivo, foi verificado que a produtividade horária de água dos três dessalinizadores aumentaram gradativamente nas primeiras horas do dia. A radiação solar iniciou de forma efetiva a partir de 8:30h da manhã, o valor máximo atingiu a 1290 W.m⁻², além disso a produtividade do dessalinizador ativo atingiu a 3076,92 mL.m⁻².d⁻¹, por outro lado o

dessalinizador passivo apresentou o valor de 2153,84 mL.m⁻².d⁻¹ e 7615,38 mL.m⁻².dia⁻¹ para o dessalinizador híbrido.

A produtividade de água de diversos trabalhos realizados com dessalinizadores solar experimental passivo são obtidos por pesquisas anteriores entre diferentes localizações, e comparadas com o presente trabalho. A Tabela 10 apresenta o resumo dos resultados encontrados, o qual constatamos que o dessalinizador experimental está semelhante aos outros dessalinizadores solar.

Tabela 10: Comparação da produtividade de água entre o presente trabalho e outros em diferentes locais

Autores e Ano	Cidade, País	Produtividade mL.m ⁻² .d ⁻¹	Localização
Kabeel (2009)	Tanta, Egito	3100	30°N 31°E
Srivastava e agrawal (2013)	Rewa, Índia	2000	24° N 81° E
Rajaseenivasan et al. (2013)	Nadu, Índia	2500	9° N 77° E
Sarhaddi et al. (2017)	Zahedan, Irã	2800	60°E 29°N
Cardoso et al.(2020)	Juazeirinho, Brasil	2500	7°S 36°W
Alawee et al.(2021)	Bagdá, Iraque	2900	33°N 44° E
Pesquisa atual	Campina grande, Brasil	2100	7°S 25°W

Resultados semelhantes foram constatados por Brito et al. (2020) que utilizaram dessalinizador dupla inclinação na região de Campina grande, foi observado uma produção média de água destilada de 1583,3 mL.m⁻².dia⁻¹ para um índice de radiação solar média de 1.005,4 W.m⁻².

A máxima produtividade instantânea do DA foi 410,25 mL.m⁻² e no DP a produtividade instantânea foi 333,32 mL.m⁻² . O resultado similar para o dessalinizador ativo foi constatado pelos autores Marinho et al. (2012) que avaliaram dois tipos de dessalinizadores tipo pirâmide simétrico, um dessalinizador pirâmide passivo com fluxo de água constante, com lâmina de 1 cm de profundidade. No dessalinizador ativo o fluxo de água, era abastecido com água aquecida advinda do coletor solar, e concluíram que a produção de água média destilada incidente no sistema com coletor solar plano foi 46,87 % maior que o dessalinizador passivo.

A média da velocidade de vento durante o ensaio foi 5,04 m.s⁻¹, a produção de água destilada dos dessalinizadores DA e DP iniciaram a partir de 09:00 da manhã, e a produção instantânea destes dessalinizadores continuaram até às 15:00h, neste momento a radiação solar reduziu para 304 W.m⁻² a produtividade horária destes dessalinizadores encerraram devido à redução da temperatura da água, como também, a redução da intensidade de

radiação solar. O mesmo comportamento também foi constatado por (RAHBAR e ESFAHANI, 2012).

A maior produtividade instantânea dos dessalinizadores estudados foi o modelo híbrido de $769,23 \text{ mL.m}^{-2}$ a produtividade iniciou após 30 minutos do funcionamento dos MTE e continuou até às 16:30h, em outras palavras, no final do experimento, diferentemente dos demais modelos.

Gorji et al. (2022) realizaram uma análise comparativa entre dois dessalinizadores solar de única inclinação em Israel, um modelo com dois módulos termoelétricos na cobertura de vidro para resfriamento e outro modelo de dessalinizador passivo, descobriram que a produtividade de água foi $2064 \text{ mL.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, os experimentos do modelo com um módulo termoelétrico foi maior do que o relatado para um dessalinizador solar passivo que foi $845 \text{ mL.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, aproximadamente 144% superior.

Em contrapartida, a pesquisa realizada por Esfe, Esfahede e Toghaie (2021) com o dessalinizador solar inclinação dupla, o uso de um modulo termoelétrico em um dos lados da cobertura do vidro, a temperatura da água atingiu a 63°C , eles relataram que aumentou a produção de água em 68% quando comparado ao modelo passivo. Este resultado está em conformidade com esta pesquisa, levando em consideração que a produtividade de água citada foi condizente ao número de módulos termoelétricos utilizados.

Muthu et al. (2020) realizaram um estudo experimental de um dessalinizador solar passivo e outro modelo com uso de um MTE com aquecimento na bandeja e constataram que o rendimento destilado diário do dessalinizador tipo bandeja foi aumentado em 58,55% em comparação com o modelo passivo.

De acordo com estudos anteriores para otimizar o desempenho do dessalinizador solar passivo, foram realizados alguns trabalhos com uso de sistemas de resfriamento na cobertura de vidro com módulos termoelétricos experimentalmente, como demonstrado. No entanto, até o momento não foi encontrado pesquisa experimental que utilizaram simultaneamente módulos termoelétricos para aquecer a bandeja do dessalinizador solar acoplado ao gerador eólico de pequeno porte, com o objetivo de aumentar a produtividade de água no modelo de dessalinizador pirâmide assimétrico.

Desta forma, foi desenvolvido durante o período de doutoramento, o depósito de duas patentes número BR020220039119 e registro de programa de computador BR512022001479-3 referente a um arduíno com comando de controle para as temperaturas do modulo termoelétrico e dos demais termopares do dessalinizador solar, conforme em anexo A e B, respectivamente.

Finalmente, foi demonstrado o desempenho térmico dos dessalinizadores solar do sistema proposto, é importante dar continuidade à consolidação das pesquisas de tratamento de água de forma sustentável, especificamente a dessalinização solar com aprimoramento dos modelos térmicos do sistema, e futuras pesquisas sobre modelos de dessalinizadores otimizados contribuem para produção de patentes e crescimento tecnológico nacional, principalmente no que envolve a dessalinização solar.

5.5 Comparação entre os índices de qualidade de água bruta e dessalinizada

Quanto a análise das características físico-químicas da água salobra e dessalinizada, foi identificado que as amostras, apresentaram resultados significativos, em relação a redução dos parâmetros analisados, e atingiram o limite exigido pelo ministério da saúde. Na Tabela 11 ilustra a comparação da água bruta e destilada do dessalinizador solar ativo e passivo, referente a coleta de água do experimento realizado.

Tabela 11: Comparação da água bruta, água destilada e os valores padrões de potabilidade exigidos pelo ministério da saúde.

Parâmetros	Água salobra	água destilada DP	água destilada DA	água destilada DH	V.M.P.*
Cloreto mg Cl ⁻ L ⁻¹	301	32	31,5	30	250,0
Turbidez NTU	6,00	1,72	1,26	1,54	5,0
pH	7,4	6,1	6,2	6,0	6,0 – 9,0
Alcalinidade mg CaCO ₃ .L ⁻¹	302,13	43	45,5	44	125,0
Dureza mg CaCO ₃ .L ⁻¹	332	29,7	25,3	27,6	500,0
Condutividade elétrica μS.cm ⁻¹	2.229,03	27,01	25,20	26,4	10 - 100
Sódio mg Na ⁺ .L ⁻¹	763	0	0	0	200,0
Cor Aparente uH	78	2,9	3,2	3,1	15,0
Potássio mg. L ⁻¹	90	0	0	0	-

Fonte: *Valor máximo permissível pela Portaria nº 888 de 04 de maio de 2021 do Ministério da Saúde que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017.

De acordo com os dados apresentados, podemos afirmar que a concentração de sódio da água salobra foi 763 mg Na⁺. L⁻¹, valor muito alto quando comparado a da água destilada, o limite de cloreto estimado pelo Ministério da Saúde (M.S) é 250 mg Cl⁻.L⁻¹ para água potável, posto isso, houve redução do teor de cloreto da água destilada de 90 %.

Brito et al. (2020) afirmaram que para atender aos padrões de potabilidade de água de acordo com a Portaria n° 2.914, de 12 de dezembro de 2011, é necessário adicionar um volume de água bruta na água dessalinizada em média de 0,3% para cada litro de água destilada, para que seja aceitável quanto ao padrão de potabilidade, conforme o valor estipulado pela Resolução da Diretoria Colegiada – RDC N° 316, de 17 de outubro de 2019, M.S.

Destaca-se a condutividade elétrica encontrada na água destilada com 98,8% inferior ao valor da água bruta, como também a redução do teor de dureza 92,3%, os resultados indicaram diminuição relevante em todos os demais parâmetros como, potássio, alcalinidade e turbidez

6 CONCLUSÃO

O dimensionamento e construção dos dessalinizadores apresentaram materiais alternativos, de baixo custo e foram satisfatórios para o sistema experimental, o coletor solar atingiu a 62 °C a temperatura da água, teve bom desempenho térmico e os materiais utilizados apresentaram bom rendimento quanto a temperatura elevada. O comportamento do coletor espiral para o processo de dessalinização solar influenciou ao aumento da produtividade, posto que a produtividade do DA ativo foi 30% superior ao DP passivo.

No que concerne ao modelo de dessalinizador híbrido com os MTE, os resultados indicaram que o sistema proposto apresentou alto desempenho térmico quando comparado ao modelo passivo e a produção de água em 24 horas de forma contínua totalizaram 12.410,25 mL.m⁻².dia⁻¹.

Quanto a influência do gerador eólico no dessalinizador híbrido, foi aceitável na geração de energia elétrica renovável para os MTE, contribuiu para elevar a produtividade de água de forma complementar no sistema de dessalinização. Contudo, o projeto proposto em localidade com alta velocidade do vento, e frequência uniforme, o gerador eólico poderá produzir mais energia.

Comparando os resultados do desempenho térmico e produtividade do dessalinizador híbrido com estudos anteriores, foi demonstrado a viabilidade técnica do projeto, portanto, a configuração pode ser utilizada como um dessalinizador solar para o semiárido brasileiro. Em conclusão, os protótipos desenvolvidos são viáveis para utilização em zonas de escassez hídrica, visto que foi possível dessalinizar a água salobra de forma eficiente. Além disso, pode ser aplicado em comunidades remotas que não possuem energia elétrica *on Grid*.

Recomenda-se para trabalhos futuros a incorporação de pesquisas exploratórias inerente aos tipos de dessalinizadores que utilizam gerador eólico com maior potência. Por fim, sugere-se também a importância de destacar trabalhos desenvolvidos com a utilização de materiais fotoelétricos, visto que proporcionam maior eficiência térmica nos dessalinizadores e baixo custo construtivo.

REFERÊNCIAS

ABDALLAH, S.; BADRAN, O.; ABU-KHADER, M. M. Performance evaluation of a modified design of a single slope solar still. **Desalination**, v. 219, n. 1-3, p. 222-230, 2018.

ABDEL-REHIM, Z. S.; LASHEEN, A. Experimental and theoretical study of a solar desalination system located in Cairo, Egypt. **Desalination**, v. 217, n. 1-3, p. 52-64, 2008.

ABREU, S.; TIEPOLO, G.; PEREIRA, S.; SOUZA, J. Atlas brasileiro de energia solar. São José dos Campos: INPE, 2017.

ABUJAZAR, M. S. S.; FATIHAH, S.; RAKMI, A. R.; SHAHROM, M. Z. The effects of design parameters on productivity performance of a solar still for seawater desalination: A review. **Desalination**, v. 385, p. 178-193, 2016.

AGEITEC, B.. Caatinga. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000g5twggzi02wx5ok01edq5s9s9b6a3.html, v. 20, 2019.

AGOUEZ, E.; KABEEL, A. E.; SUBRAMANI, J.; MANOKAR, A. M.; ARUNKUMAR, T., SATHYAMURTHY, R.; BABU, D. M. Theoretical Analysis of Continuous Heat Extraction from Absorber of Solar Still for Improving the Productivity. **Periodica Polytechnica Mechanical Engineering**, v. 62, n. 3, p. 187-195, 2018.

AHMED, H. M.; ALFAYLAKAWI, K. A. Productivity Enhancement of Conventional Solar Stills Using Water Sprinklers and Cooling Fan. **Journal of Advanced Science and Engineering Research**, v. 2, n. 3, p. 168-177, 2012.

ANDRADE, C. O. D.; SILVA, M. C. C. D.; SENS, M. L.; SOARES, C. Water purification by direct solar distillation process in isolated households. (2014).

AL-GARNI, A. Z. Enhancing the solar still using immersion type water heater productivity and the effect of external cooling fan in winter. **Applied Solar Energy**, v. 48, n. 3, p. 193-200, 2012.

AL-HINAI, 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**, v. 43, n. 13, p. 1639-1650, 2002.

AL-KARAGHOULI, A. A.; ALNASER, W. Performances of single and double basin solar-stills. **Applied Energy**, v. 77, n. 3, p. 317-325, 2016.

ALMUHANNA, E. A. Evaluation of single slope solar still integrated with evaporative cooling system for brackish water desalination. **Journal of Agricultural Science**, v. 6, n. 1, p. 48, 2014.

AL-MADHHACHI, H.; MIN, G. Effective use of thermal energy at both hot and cold side of thermoelectric module for developing efficient thermoelectric water distillation system. **Energy Conversion and Management**, v. 133, p. 14-19, 2017.

ALTOÉ, L.; FILHO, D. Utilização de sistemas fototérmicos com concentradores para higienização de salas de ordenha. **Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 799-810, 2010.

ALVES, R.V.; FERNANDES, M. S. M.; LIMA, S. A.; COSTA, T. S.; FRANÇA, K. B. Qualidade da água consumida pelos moradores do semiárido paraibano após dessalinização. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 6, n. 1, p. 222-245, 2015.

ALBUQUERQUE, M. V.; FERREIRA C., E. K., LIMA, C. A.; SOUSA, J. T.; LEITE, V. D.; LOPES, W. S. Removal of microcystin-LR from eutrophic water using solar distillation. **Desalination and water treatment**, v. 253, p. 138-144, 2022.

ARUNKUMAR, T. T.; JAYAPRAKASH, R.; DENKENBERGER, D.; AHSAN, A.; OKUNDAMIYA, M. S.; TANAKA, H.; AYBAR, H. Ş. An experimental study on a hemispherical solar still. **Desalination**, v. 286, p. 342-348, 2012.

ATLAS, Potencial Eólico Nacional. Eletrobrás / Fundação Padre Leonel Franca, Centrais Elétricas Brasileiras, 2011.

ATLAS, Atlas Eólico do Estado da Paraíba, 2017. Disponível em: <http://paraiba.pb.gov.br/meio-ambiente-dos-recursos-hidricos-e-da-ciencia-e-tecnologia/>. Acesso em: 13 jan 2020.

AYHAN, D.; SAĞLAM, Ş. A technical review of building-mounted wind power systems and a sample simulation model. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 16, n. 1, p. 1040-1049, 2012.

AZEVEDO, A. C.; DE SOUSA, C. M.; CASEMIRO, R.; MOTTA, R. Água, tecnologia e desenvolvimento: o caso do programa Água Doce no semiárido paraibano. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 9, n. 18, 2013.

ABU-ARABI, M. et al. Arabi, M., Al-harashsheh, M., Ahmad, M., Mousa, H., 2020. Theoretical modeling of a glass-cooled solar still incorporating PCM and coupled to flat plate solar collector. *J. Energy Storage* 29. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101372> flat plate solar colle. **Journal of Energy Storage**, v. 29, 2020.

AL-MADHHACHI, H.; SMAISIM, G. F. Experimental and numerical investigations with environmental impacts of affordable square pyramid solar still. **Solar Energy**, v. 216, p. 303–314, 1 mar. 2021.

ALAWEE, W. H. et al. Improving the performance of pyramid solar still using rotating four cylinders and three electric heaters. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 148, 2021.

BORBA CARDOSO, M. K. et al. Dessalinizador solar do tipo cascata aplicado em poços artesianos no interior da Paraíba. **Águas Subterrâneas**, v. 34, n. 2, 2020.

BADRAN, A. A.; AL-HALLAQ, I. A.; SALMAN, I. A. E.; ODAT, M. Z. A. A solar still augmented with a flat-plate collector **Desalination**, v. 172, p. 227-234, 2005.

BAIRD, A.; RICE, E. W.; EATON, R. B. APHA 2017 Standard Methods for Examination of Water and Wastewater .Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Env. Federation ISBN. 2017.

BEJAN, A.; KRAUS, A. D. **Heat Transfer Handbook**. New Jersey, USA: John Wiley & Sons Inc., 2003

BEZERRA, V. R.; LIMA, C. A. P.; LEITE, V. D.; MONTERO, L. R. R., MEDEIROS.; K.M. Implementação de sistemas autônomos de geração de energia para a região do semiárido paraibano. **Mix Sustentável**, 5(4), 89-95.2019.(a)

BEZERRA, V. R.; LIMA, C. A. P.; MELO, V.; ALBUQUERQUE, M. V.; MONTERO, L. R. R. (2019). Reutilização de rejeito de dessalinizadores na paraíba. **Mix Sustentável**, 5(1), 105-116, 2019.(b)

BEZERRA, V.R.; BRITO, Y. J.; SARMENTO, K. K. F.; OLIVEIRA, C. S.; MEDEIROS, K. M.; LIMA, C. A. P. Análise dos parâmetros construtivos no desempenho térmico de dessalinizador solar: Uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e24010615472-e24010615472, 2021(c).

BHATACHARYYA, A. Solar still for desalination of water in rural household. **International Journal of Environment and Sustain ability**, v. 2, n. 1, p. 21-30, 2013.

BRITO, Y. J. V.; CARDOSO, M. K. B.; DA SILVA, K. S.; SILVA, C. B.; DE 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.

BIRD, R. B., STEWART, W. E., LIGHTFOOT, E. N.; KLINGENBERG, D. J. (2010). Introductory transport phenomena (Vol. 1). New York: Wiley.

BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S. D.; COELHO FILHO, M. A.; DA SILVA, T. S., PAMPONET, B. M. Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas, Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 14, n. 1, 2010.

BOUZAID, M.; ANSARI, O.; TAHA-JANAN, M.; MOUHSIN, N.; OUBREK, M. Numerical Analysis of Thermal Performances for a Novel Cascade Solar Desalination Still Design. **Energy Procedia**, v. 157, p. 1071-1082, 2019.

BRASIL, M. M. A. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/responsabilidadesocioambiental/a3p/item/8852>. Acesso em: 08.nov 2019.

BRASIL. Portaria nº 888 de 04 de maio de 2021 do Ministério da Saúde que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, dispendo sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

BRESHEARS, J. O. H. N.; BRISCOE, C..The informed application of building-integrated wind power. 2009.

CACE, J.; HORST, E.; SYNGELLAKIS, K.; NIEL, M.; CLEMENT, P.; HEPPENER, R. H.; PEIRANO, E.; Urban wind turbines: Wind Energy Integration in the Urban Environment. Intelligent Energy Europe, 2007.

CAMPBELL, N. S.; STANKOVIC, S. Assessment of wind energy utilisation potential in moderately windy built-up areas. Publishable Final Report, 1999.

CARDOSO, M. B. K.; BRITO, V. Y. J.; SILVA, K. S.; SILVA, C. B.; DE 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. DOI: 10.14295/ras.v34i2.29799.

CARDOSO, M. B. K.; SILVA, K. S.; SILVA, C. B.; LIMA, G. G. C.; MEDEIROS, K. M.; LIMA, C. A. P. Low-cost solar still with corrugated absorber basin for water desalination. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, v. 44, n. 5, p. 1-12, 2022.

CARVALHO, Eyre Katrinne Ferreira . Potabilização de água eutrofizada utilizando destilação solar. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual da Paraíba. Paraíba, p.98. 2015.

CERSA, Comitê de Energias Renováveis do Semiárido. Disponível em: <http://cersa.org.br/>. Acesso em: Novembro, 2019.

CUNHA, E. A. A.; SIQUEIRA, J. A. C.; NOGUEIRA, C. E. C.; DINIZ, A. M. Aspectos históricos da energia eólica no Brasil e no mundo. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 8, n. 4, 2019.

DAMASCENO, C. T.; JORDÃO, G. R.; PÉREZ, C. N. Simulação de uma Unidade Piloto de Destilação de Água para uso em Laboratórios Químicos Empregando Energia Solar. **Revista Processos Químicos**, 11(22), 11-24, 2017.

DEGHAN, A. A.; AFSHARI, A.; RAHBAR, N. Thermal modeling and exergetic analysis of a thermoelectric assisted solar still. **Solar Energy**, v. 115, p. 277–288, 1 maio 2015.

DUMKA, P.; MISHRA, D. R. Performance evaluation of single slope solar still augmented with the ultrasonic fogger. **Energy**, v. 190, 2020.

DUNKLE, R. V. Solar water distillation, the roof type solar still and a multi effect diffusion still, International developments in heat transfer. **ASME Proceedings of International Heat Transfer, University of Colorado**, v. 5, 1961.

EL-AGOUZ, S. A.; EL-SAMADONY, Y. A. F.; KABEEL, A. E. Performance evaluation of a continuous flow inclined solar still desalination system. **Energy Conversion and Management**, v. 101, 2015.

EL-SAMADONY, Y. A. F.; KABEEL, A. E. Theoretical estimation of the optimum glass cover water film cooling parameters combinations of a stepped solar still. **Energy**, v. 68, p. 744-750, 2014.

EL-SEBAII, A. A.; AL-GHAMDI, A. A.; AL-HAZMI, F. S.; FAIDAH, A. S. Thermal performance of a single basin solar still with PCM as a storage medium. **Applied Energy**, v. 86, n. 7-8, p. 1187-1195, 2009.

EL-NASHAR, A. M. Seasonal effect of dust deposition on a field of evacuated tube collectors on the performance of a solar desalination plant. **Desalination**, v. 239, n. 1-3, p. 66-81, 2019.

ELTAWIL, MOHAMED A.; ZHENGMING, Z.; YUAN, L. A review of renewable energy technologies integrated with desalination systems. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 13, n. 9, p. 2245-2262, 2010.

EPE, Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/livro-sobre-energia-renovavel-hidraulica-biomassa-eolica-solar-oceanica>. Acesso: 08.jun.2021.

ESFE, M. H.; ESFANDEH, S.; TOGHRAIE, D.. Optimization of influential geometrical parameters of single slope solar still equipped with thermoelectric system to achieve maximum desalinated water. **Energy Reports**, v. 7, p. 5257-5268, 2021.

FERRAZ, R. S. F.; SANTOS, B. L. M.; SILVA, P. L. C.; FERRAZ, R. S. F.; GOMES, A. C. . Análise Comparativa do Potencial de Energia Solar da Região Nordeste do Brasil x Alemanha. **Revista Científica Acadêmica**, v. 1, n. 142, nov, 2018.

FIORENZA, G.; SHARMA, V. K.; BRACCIO, G. Techno-economic evaluation of a solar powered water desalination plant. **Energy conversion and management**, v. 44, n. 14, p. 2217-2240, 2003.

FIORIN, D. V.; MARTINS, F. R.; SCHUCH, N. J.; PEREIRA, E. B. Forecast of solar energy resource by using neural network methods. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 01-20, 2011.

FRANCISCO, P. R. M.; PEDROZA, J. P.; BANDEIRA, M. M.; SILVA, L. L.; SANTOS, D. insolação do estado da paraíba mapeada através do uso de geotecnologias. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2016.

FREERE, P.; SACHER, M.; DERRICOTT, J.; HANSON, B. A low cost wind turbine and blade performance. **Wind Engineering**, v. 34, n. 3, p. 289-302, 2010.

FU, R.; FELDMAN, D.; MARGOLIS, R.; WOODHOUSE, M.; ARDANI, K. Referência de custo do sistema solar fotovoltaico dos EUA: primeiro trimestre de 2017 . EERE **Publication and Product Library**, Washington, DC (Estados Unidos), 2017.

GAMEIRO, B.M.L. Análise do Rendimento de um Destilador Solar Integrado numa Estufa. 2010. 86p. Mestrado em Engenharia de Ambiente, Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2010.

GHONEYEM, A.; ILERI, A. Software to analyze solar stills and an experimental study on the effects of the cover. **Desalination**, v. 114, n. 1, p. 37-44, 1997.

GILAU, A.M.; SMALL, M. J. Designing cost-effective seawater reverse osmosis system under optimal energy options. **Renewable energy**, v. 33, n. 4, p. 617-630, 2018.

GÖKÇEK, M; GÖKÇEK, O. B. Technical and economic evaluation of freshwater production from a wind-powered small-scale seawater reverse osmosis system (WP-SWRO). **Desalination**, v. 381, p. 47-57, 2016.

GONÇALVES, J. N.; MENDES, J. U. de L.; SILVEIRA, F. F.; CAVALCANTI, S. L. L. Análise de um aquecedor solar de água tipo espiral para uso em piscinas residenciais. IV Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, CONEM 2012. São Luis. Maranhão. Brasil. 2012

GODSON, J. J., KARTHICK, M., MUTHUKRISHNAN, T.,SIVAGAMASUNDARI, M. S. Solar PV-Wind hybrid power generation System. **International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering**, v. 2, n. 11, p. 5350-5354, 2013.

GORJI, T. B.; MOUSAVI, S. J.; GHADI, M. S.; GORJI-BANDPY, M . Experimental evaluation of a solar still-assisted TEC-AWG system for atmospheric water generation. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, v. 44, n. 8, p. 1-14, 2022.

GREEN, R.; VASILAKOS, N. The economics of offshore wind. **Energy Policy** , v. 39, n. 2, pág. 496-502, 2011.

GUDE, V. G., NIRMALAKHANDAN, N., DENG, S., & MAGANTI, A. Low temperatura desalination using solar collectors augmented by thermal energy storage. **Applied Energy**, v. 91, n. 1, p. 466-474, 2012.

GUPTA,B., SHARMA, R., SHANKAR, P., & BAREDAR, P.. Performance enhancement of modified solar still using water sprinkler: Anexperimental approach. **Perspectives in Science**, v. 8, p. 191-194, 2016.

GADHAMSHETTY, V.; GUDE, V. G.; NIRMALAKHANDAN, N. Thermal energy storage system for energy conservation and water desalination in power plants. **Energy**, v. 66, p. 938–949, 1 mar. 2014.

HAMED, M. H.; KABEEL, A. E.; OMARA, Z. M.; SHARSHIR, S. W. Mathematical and experimental investigation of a solar humidification–dehumidification desalination unit. **Desalination**, v. 358, p. 9-17, 2015.

HALLIDAY, D; RESNICK, R; WALKER, J. Fundamentos da física – Gravitação, Ondas e Termodinâmica. 8ª. Edição. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda. LTC, v.2, p. 201, 2009.

HANSON, A.; ZACHRITZ, W., STEVENS, K., MIMBELA, L., POLKA, R., CISNEROS, L. Distillate water quality of a single-basin solar still: laboratory and field studies. **Solar energy**, v. 76, n. 5, p. 635-645, 2004.

HE, Z. N. Solar thermal utilization. China: Press of University of Science and Technology of China, p. 404, 2009.

HIRAHARA, H.; HOSSAIN, M. Z.; KAWAHASHI, M.; NONOMURA, Testing basic performance of a very small wind turbine designed for multi-purposes. **Renewable energy**, v. 30, n. 8, p. 1279-1297, 2005.

INCROPERA, F. P. e DEWITT, D. P. Fundamentos da transferência de calor e massa. 5ª edição. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos, 2003.

INMET. Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990. 2016. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>. Acesso em : 10. nov. 2020.

INPE, INDPE. SONDA-Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais. 2017. Disponível em: <http://sonda.ccst.inpe.br/>. Acesso em: 10 jan 2021.

ISLAM, M.; TING, D.S.-K .; FARTAJ, A.. Aerodynamic models for Darrieus-type straight-bladed vertical axis wind turbines. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 12, n. 4, p. 1087-1109, 2008.

ISMA, Inisma-DC-24V-Permanent-Magnet-Electric-Motor-Generator-for-Wind-Turbine. 2021. Disponível em:https://pt.made-in-china.com/co_lectstyle/product_AC-500W-High-Efficiency-Wind-Generator-for-Prarie-Use_engnsggog.html Acesso em: 20 jan 2021.

JAMES, P. A. B.; SISSONS, M. F.; BRADFORD, J.; MYERS, L. E.; BAHAJ, A. S.; ANWAR, A.; GREEN, S Implications of the UK field trial of building mounted horizontal axis micro-wind turbines. **Energy Policy**, v. 38, n. 10, p. 6130-6144, 2010.

JESUS, G. O., FREITAS, J. J. S., SILVA, R. J., FORTE, L. G., MATTEDI, S. S.; PAZ F., R. Destilação de água por energia solar. **Cadernos de Prospecção**, v. 8, n. 3, p. 460, 2015.

JONAS, D., LÄMMLE, M., THEIS, D., SCHNEIDER, S.; FREY. Performance modeling of PVT collectors: Implementation, validation and parameter identification approach using TRNSYS. **Solar Energy**, v. 193, p. 51-64, 2019.

KABEEL, A. E., SATHYAMURTHY, R.; SHARSHIR, S. W.; MUTHUMANOKAR, A.; PANCHAL, H.; PRAKASH, N.; ELKADY, M.S. Effect of water depth on a novel absorber plate of pyramid solar still coated with TiO₂ nano black paint. **Journal of cleaner production**, v. 213, p. 185-191, 2019.

KABEEL, A. E.; EL-AGOUZ, S. A. Review of researches and developments on solar stills. **Desalination**, v. 276, n. 1-3, p. 1-12, 2011.

KALOGIROU, S. A. Flat-plate collector construction and system configuration to optimize the thermosiphonic effect. **Renewable Energy**, v. 67, p. 202-206, 2014.

KHALIFA, A. J. N.; ALI, M. A.W. Indoor tests on the effect of wind speed on still performance. **International Journal of Energy and Environment**, v. 6, n. 3, p. 299, 2015.

KHALIFA, A. J. N.; HAMOOD, A. M. On the verification of the effect of water depth on the performance of basin type solar stills. **Solar Energy**, v. 83, n. 8, p. 1312-1321, 2009.

KHALIFA, A. J.N.; ALI, M.W. Indoor tests on the effect of wind speed on still performance. **International Journal of Energy and Environment**, v. 6, n. 3, p. 299, 2015.

KUMAR, S.; DWIVEDI.; V. K.. Experimental study on modified single slope single basin active solar still. **Desalination**, v. 367, p. 69-75, 2015.

KUMAR, A.; ANAND, J. D.; TIWARI, G. N. Transient analysis of a double slope-double basin solar distiller. **Energy Conversion and Management**, v. 31, n. 2, p. 129-139, 1991.

KABEEL, A. E. Performance of solar still with a concave wick evaporation surface. **Energy**, v. 34, n. 10, 2009.

LENZ, A. M. A. M.; COLLE, G.; SOUZA, S. N. M.; PRIOR, M.; NOGUEIRA, C. E. C.; DOS SANTOS, R. F.; SECCO, D. Evaluation of three systems of solar thermal panel using low cost material, tested in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, p. 201-207. 2017.

LUO, T.; YOUNG, R.; REIG, P. Aqueduct projected water stress country Rankings. **Technical Note**, v. 16, 2015.

LUNA, F.M; AQUINO, F.M.; BORGES, F.F BARBOSA. Dimensionamento e análise térmica de um dessalinizador solar de baixo custo com pré aquecimento da água sistema. Congresso Internacional Diversidade do Semiárido, 2021.

MADDAH, H. A. et al. Performance estimation of a mini-passive solar still via machine learning. **Renewable Energy**, v. 162, 2020.

MODI, K. V.; NAYI, K. H. Efficacy of forced condensation and forced evaporation with thermal energy storage material on square pyramid solar still. **Renewable Energy**, v. 153, 2020.

MADHUKESHWARA, N.; PRAKASH, E. S. An investigation on the performance characteristics of solar flat plate collector with different selective surface coatings. **International Journal of Energy & Environment**, v. 3, n. 1, 2012.

MANOKAR, A. M; MURUGAVEL, K. K; ESAKKIMUTHU, G. Different parameters affecting the rate of evaporation and condensation on passive solar still–A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 38, p. 309-322, 2014.

MARINHO, F. J. L.; UCHOA, T. R.; LEITE, S. F.; AGUIAR, R. L.; NASCIMENTO, A. S. Dessalinizador solar associado a coletor de água de chuvas para fornecer água potável. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 11, n. 20, p. 68-82, 2015.

MARINHO, F. J. L.; TAVARES, A. C.; SANTOS, S. A. D.; MARCOVICZ, F.; CRUZ, M. P.; SOUTO; E. A.,ROCHA; E. N. D. Destilador solar destinado a fornecer água potável para as famílias de agricultores de base familiar. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 7, n. 3, p. 53-60, 2012.

- MAYER, C.; B., M. E.; HAMPSEY, M.; WOOD, D. H. The starting behaviour of a small horizontal-axis wind turbine. **Renewable energy**, v. 22, n. 1-3, p. 411-417, 2001.
- MOHAMMAD, M. MARWA R.; A., DHIA A.; MOHAMMAD, A. T. Case study on spiral solar collector performance with lens. **AIMS Energy**, v. 8, n. 5, p. 859-868, 2020.
- MOHDA, A.; KIWAN, S. M.; TALAFHA, S. Hybrid solar-wind water distillation system. **Desalination**, v. 395, p. 33-40, 2016.
- MOUSA, K.; DIABAT, A.; FATH, Ha. Optimal design of a hybrid solar-wind power to drive a small-size reverse osmosis desalination plant. **Desalination and Water Treatment**, v. 51, n. 16-18, p. 3417-3427, 2013.
- MUFTAH, A. F.; ALGHOUL, M. A.; FUDHOLI, A.; ABDUL-MAJEED, M. M.; SOPIAN, K. Factors affecting basin type solar still productivity: A detailed review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 32, p. 430-447, 2014.
- MURUGAVEL, K. K.; CHOCKALINGAM, K. KSK; SRITHAR, K. Progresses in improving the effectiveness of the single basin passive solar still. **Desalination**, v. 220, n. 1-3, p. 677-686, 2018.
- MURUGAVEL, K. K.; SIVAKUMAR, S.; AHAMED, J. R.; CHOCKALINGAM, K. K.; SRITHAR, K. Single basin double slope solar still with minimum basin depth and energy storing materials. **Applied energy**, v. 87, n. 2, p. 514-523, 2010.
- MUTHU, M. A.; A., VIMALA, M.; PRINCE WINSTON, D.; RAJENDRAN, D. R.; SATHYAMURTHY, R.; KABEEL, A. E. A comparative study of 3E (energy, exergy, and economy) analysis of various solar stills. **Heat Transfer**, v. 49, n. 8, p. 4394-4409, 2020.
- NAFEY, A. S.; ABDELKADER, M.; ABDELMOTALIP, A.; MABROUK, A. Enhancement of solar still productivity using floating perforated black plate. **Energy Conversion and Management**, v. 43, n. 7, p. 937-946, 2012.
- NAFEY, A. SAFWAT ET AL. A. S., ABDELKADER, M., ABDELMOTALIP, A., MABROUK, A. A. Parameters affecting solar still productivity. **Energy Conversion and Management**, v. 41, n. 16, p. 1797-1809, 2000.
- NAYI, K. H.; MODI, K. V. Pyramid solar still: a comprehensive review. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 81, p. 136-148, 2018.
- NAZARI, S.; SAFARZADEH, H.; BAHIRAEI, M. Performance improvement of a single slope solar still by employing thermoelectric cooling channel and copper oxide nanofluid: an experimental study. **Journal of cleaner production**, v. 208, p. 1041-1052, 2019.
- NETO, B. S., LIMA, W. G., DE MELO, R. H. F., GONÇALVES, M. C. P., & NETO, A. D. C. W. (2018). Desempenho de um sistema solar fotovoltaico com diferentes inclinações e orientações azimutais em cidades da Paraíba. **Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, (43), 175-188.
- NETO, MANUEL RANGEL BORGES.; CARVALHO, PAULO CESAR MARQUES. **Geração de energia elétrica: fundamentos**. Saraiva Educação SA, 2012.

NINIC, N.; KLARIN, B.; TOLJ, I. Hybrid wind-power-distillation plant. **Thermal Science**, v. 16, n. 1, p. 251-261, 2012.

OMARA, Z. M.; KABEEL A. E.; YOUNES, M. M. Enhancing the stepped solar still performance using internal reflectors. **Desalination**, v. 314, p. 67-72, 2013.

ONU, United Nations Environment Programme. <http://www.unep.org/themes/freshwater.html> acesso em: 12.out.2019

PANCHAL, H. N.; PATEL, S. An extensive review on different design and climatic parameters to increase distillate output of solar still. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 69, p. 750-758, 2017.

PARSA, S. M.; RAHBAR, A., KOLEINI, MH, ABEROUMAND, S.; AFRAND, M.; AMIDPOUR, M. Um destilador solar termoelétrico movido a energia renovável com condensador externo carregado por prata/nanofluido para simultaneamente desinfecção e dessalinização da água. **Dessalinização**, v. 480, p. 114354, 2020.

PELTIER, Modulo termoelétrico peltier, especificações do produto 2020. Disponível em: <https://peltiermodules.com/?p=product>. Acesso em Agosto:2020

PRAKASH, P.; VELMURUGAN, V. **Parameters influencing the productivity of solar stills – A review**. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2015.

RAHBAR, N.; ESFAHANI, J. A. Experimental study of a novel portable solar still by utilizing the heatpipe and thermoelectric module. **Desalination**, v. 284, p. 55–61, 4 jan. 2012.

PEREIRA, P.; RENATO C. R. C.; SHIOTA, R. T.; MELLO, S. F.; JÚNIOR, A. Eficiência Térmica de Coletores Solares de Baixo Custo-CSBC. *In: 17º CBECI Mat-Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais*. 2016.

RAHBAR, N.; ESFAHANI, J. A.; ASADI, A. An experimental investigation on productivity and performance of a new improved design portable asymmetrical solar still utilizing thermoelectric modules. **Energy Conversion and Management**, v. 118, p. 55-62, 2016.

RAJASEENIVASAN, T.; SRITHAR, K. Performance investigation on solar still with circular and square fins in basin with CO₂ mitigation and economic analysis. **Desalination**, v. 380, p. 66-74, 2016.

REDDY, K. S.; KUMAR, K. R.; O'DONOVAN, T. S.; MALLICK, T. K. Performance analysis of an evacuated multi-stage solar water desalination system. **Desalination**, v. 288, p. 80-92, 2012.

REFAN, M.; HANGAN, H. Aerodynamic performance of a small horizontal axis wind turbine. **Journal of solar energy engineering**, v. 134, n. 2, 2012.

RAJASEENIVASAN, T.; ELANGO, T.; KALIDASA MURUGAVEL, K. Comparative study of double basin and single basin solar stills. **Desalination**, v. 309, 2013.

SATHYAMURTHY, R., KENNADY, H. J., NAGARAJAN, P. K.; AHSAN, A. Erratum to 'Factors affecting the performance of triangular pyramid solar still' [Desalination 344 (2014) 383–390]. **Desalination**, n. 347, p. 165, 2014.

SANTOS, R. A.; JÚNIOR, E. F. F.; ANDALÓ, V.; SILVA, D. M. Aproveitamento térmico de coletor solar na desinfestação de substrato. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, n. 2, p. 219-223, 2021.

SELVARAJ, K.; NATARAJAN, A. Factors influencing the performance and productivity of solar stills-A review. **Desalination**, v. 435, p. 181-187, 2018.

SETOODEH, N; RAHIMI, R; AMERI, A. Modeling and determination of heat transfer coefficient in a basin solar still using CFD. **Desalination**, v. 268, n. 1-3, p. 103-110, 2011.

SHANNON, M. A.; BOHN, P. W.; ELIMELECH, M.; GEORGIADIS, J. G.; MARINAS, B. J.; MAYES, A. M. Science and technology for water purification in the coming decades. Nanoscience and technology: a collection of reviews from **nature Journals**, 337-346, 2010.

SHARMA, K. K; BISWAS, A.; GUPTA, R. Performance Measurement of a three-bladed combined Darrieus-Savonius rotor. **International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)**, v. 3, n. 4, p. 885-891, 2013.

SHARON, H.; REDDY, K. S. A review of solar energy driven desalination technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 1080-1118, 2015.

SHARSHIR, S. W. PENG, G.; WU, L.; YANG, N.; ESSA, F. A.; ELSHEIKH, A. H., KABEEL, A. E. Enhancing the solar still performance using nanofluids and glass cover cooling: experimental study. **Applied thermal engineering**, v. 113, p. 684-693, 2017.

SHARSHIR, S. W., YANG, N., PENG, G.,KABEEL, A. E. Factors affecting solar stills productivity and improvement techniques: a detailed review. **Applied Thermal Engineering**, v. 100, p. 267-284, 2016.

SHARSHIR, S. W.; YANG, N.; PENG, G.; KABEEL, A. E. Factors affecting solar stills productivity and improvement techniques: a detailed review. **Applied Thermal Engineering**, v. 100, p. 267-284, 2016.

SILVA, A. O.; BRITO, Y. J. V. de; BEZERRA, V. R.; LIMA, G. G. C. de; DE MEDEIROS, K. M.; LIMA, C. A. P. de. Potabilização de água salobra por meio de um dessalinizador solar portátil com refletores de radiação integrados. **Águas Subterrâneas**, v. 34, n. 3, p. 285–295, 2020.

SILVA, G. L., DE OLIVEIRA, M. S., DA SILVA, R. M., DA SILVA, N. L.. Análise de Viabilidade Econômica entre o uso de energia em Grid e a solar no Sertão Paraibano. **Energia na agricultura**, v. 31, n. 1, p. 89-96, 2016.

SINGH, H. N.; TIWARI, G. N. Monthly performance of passive and active solar stills for different Indian climatic conditions. **Desalination**, v. 168, p. 145-150, 2004.

SITORUS, T. B.; LUBIS, Z.; ARIANI, F.; SEMBIRING, F. Study on Thermoelectric Cooler Driven by Solar Energy in Medan City. **EMITTER International Journal of Engineering Technology**, v. 6, n. 2, p. 317-327, 2018.

SOARES, Clarissa. Tratamento de água unifamiliar através da destilação solar natural utilizando água salgada, salobra e doce contaminada. 2004. tese (Doutorado em energias renováveis) – Universidade Federal de Santa Catarina. p. 261. 2004.

SOUZA, A. P., ESCOBEDO, J. F., DAL PAI, A., & GOMES, E. N. Estimativas das componentes da radiação solar incidente em superfícies inclinadas baseadas na radiação global horizontal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 3, p. 277-288, 2011.

SUDENE, Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, 2017 Disponível em http://www.sudene.gov.br/images/arquivos/semiarido/arquivos/Rela%C3%A7%C3%A3o_de_Munic%C3%ADpios_Semi%C3%A1rido.pdf

SARHADDI, F. et al. Comparative study of two weir type cascade solar stills with and without PCM storage using energy and exergy analysis. **Energy Conversion and Management**, v. 133, 2017.

SATHYAMURTHY, R.; HARRIS SAMUEL, D. G.; NAGARAJAN, P. K. Theoretical analysis of inclined solar still with baffle plates for improving the fresh water yield. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 101, 2016.

SRIVASTAVA, P. K.; AGRAWAL, S. K. Experimental and theoretical analysis of single sloped basin type solar still consisting of multiple low thermal inertia floating porous absorbers. **Desalination**, v. 311, p. 198–205, 15 fev. 2013.

TAAMNEH, Y.; TAAMNEH, M. M. Performance of pyramid-shaped solar still: Experimental study. **Desalination**, v. 291, 2012.

TIWARI, A. K.; TIWARI, G. N. Thermal modeling based on solar fraction and experimental study of the annual and seasonal performance of a single slope passive solar still: The effect of water depths. **Desalination**, v. 207, n. 1–3, p. 184–204, 10 mar. 2006.

TSILINGIRIS, P. . Analysis of the heat and mass transfer processes in solar stills-The validation of a model. p. 420–431, 2009.

TABRIZI, F. F., DASHTBAN, M., MOGHADDAM, H., & RAZZAGHI, K. Effect of water flow rate on internal heat and mass transfer and daily productivity of a weir-type cascade solar still. **Desalination**, v. 260, n. 1-3, p. 239-247, 2010.

TANAKA, H. Tilted wick solar still with external flat plate reflector: optimum inclination of still and reflector. **Desalination**, v. 249, n. 1, p. 411-415, 2009.

TIWARI, A.K.; TIWARI, G. N. Effect of water depths on heat and mass transfer in a passive solar still: in summer climatic condition. **Desalination**, v. 195, n. 1-3, p. 78-94, 2006.

TIWARI, G. N.; SAHOTA, L. Review on the energy and economic efficiencies of passive and active solar distillation systems. **Desalination**, v. 401, p. 151-179, 2017.

TRIPATHI, R.; TIWARI, G. N. Thermal modeling of passive and active solar stills for different depths of water by using the concept of solar fraction. **Solar Energy**, v. 80, n. 8, p. 956-967, 2007.

TUMMALA, A.; VELAMATI, R. K.; SINHA, D. K.; INDRAJA, V.; KRISHNA, V. H. A review on small scale wind turbines. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 56, p. 1351-1371, 2016.

VELMURUGAN, V.; SRITHAR, K. Performance analysis of solar stills based on various factors affecting the productivity - a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 2, p. 1294-1304, 2011.

WALKER, RICHARD P.; SWIFT, ANDREW. Wind energy essentials: Societal, economic, and environmental Impacts. John Wiley Sons, 2015.

WRIGHT, A. K.; WOOD, D. H. The starting and low wind speed behaviour of a small horizontal axis wind turbine. **Journal of wind engineering and industrial aerodynamics**, v. 92, n. 14-15, p. 1265-1279, 2004.

XIAO, G.; WANG, X.; NI, M.; WANG, F.; ZHU, W.; LUO, Z.; CEN, K. A review on solar stills for brine desalination. **Applied Energy**, v. 103, p. 642-652, 2013.

YADAV, S.; SUDHAKAR, K. Different domestic designs of solar stills: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 47, p. 718-731, 2015.

YILDIRIM, C.; SOYLU, S. K.; ATMACA, İ.; SOLMUŞ, İ. Experimental investigation of a portable desalination unit configured by a thermoelectric cooler. **Energy conversion and management**, v. 85, p. 140-145, 2014.

YADAV, S.; SUDHAKAR, K. Different domestic designs of solar stills: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 47, p. 718-731, 2015.

YU, ZHI, JI, J., SUN, W., WANG, W., LI, G., CAI, J., CHEN, H. Experiment and prediction of hybrid solar air heating system applied on a solar demonstration building. **Energy and Buildings**, v. 78, p. 59-65, 2014.

ZANGANEH, P.; GOHARRIZI, A. S.; AYATOLLAHI, S.; FEILIZADEH, M. Productivity enhancement of solar stills by nano-coating of condensing surface. **Desalination**, v. 454, p. 1-9, 2019.

ZARZOUM, K.; ZHANI, K.; BACHA, H. B.. Experimental Validation of Optimized Solar Still Using Solar Energy. **Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications**, v. 7, p. 242, 2017.

ZHANG, L; ZHENG, H; WU, Y. Experimental study on a horizontal tube falling film evaporation and closed circulation solar desalination system. **Renewable Energy**, v. 28, n. 8, p. 1187-1199, 2003.

ZHAO, D.; TAN, G. A review of thermoelectric cooling: materials, modeling and applications. **Applied Thermal Engineering**, v. 66, n. 1-2, p. 15-24, 2014.

ZHENG, H.; CHANG, Z.; CHEN, Z.; XIE, G.; WANG, H. Experimental investigation and performance analysis on a group of multi-effect tubular solar desalination devices. **Desalination**, v. 311, p. 62-68, 2013.

ZURIGAT, Y. H.; ABU-ARABI, M. K. Modelling and performance analysis of a regenerative solar desalination unit. **Applied thermal engineering**, v. 24, n. 7, p. 1061-1072, 2004.

ANEXOS



03/03/2022

870220017952

10:15



29409161943291917

Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT

Número do Processo: BR 10 2022 003911 9

Dados do Depositante (71)

Depositante 1 de 2

Nome ou Razão Social: UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAIBA

Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica

CPF/CNPJ: 12671814000137

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Jurídica: Instituição de Ensino e Pesquisa

Endereço: Rua Baraúnas, 351

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: 58429-500

País: Brasil

Telefone: (83) 3315 3383

Fax:

Email: inovatecuepb@uepb.edu.br

Nome ou Razão Social: UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica

CPF/CNPJ: 05055128000176

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Jurídica: Instituição de Ensino e Pesquisa

Endereço: Av. Aprígio Veloso, nº 882, Bodocongó

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: 58428-830

País: BRASIL

Telefone: (83) 210 61601

Fax:

Email: nitt@setor.ufcg.edu.br

Dados do Pedido

Natureza Patente: 10 - Patente de Invenção (PI)

Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54): SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO SOLAR DE ÁGUA E SEUS USOS

Resumo: A presente invenção se refere a um sistema de dessalinização solar de água e seus usos. Mais especificamente, dito sistema fornece aquecimento de água por meio de duas fontes: luz solar e energia elétrica, se configurando como um aquecimento do tipo híbrido, isto é, por meio de duas fontes de aquecimento distintas. Ademais, a presente invenção compreende uma construtividade simples, permitindo sua fácil implantação e manutenção e mostrando elevada eficiência na purificação da água.

Figura a publicar: 01

Inventor 1 de 5

Nome: VANESSA ROSALES CONSERVA

CPF: [REDACTED]

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Estudante de Pós Graduação

Endereço: [REDACTED]

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: [REDACTED]

País: BRASIL

Telefone: [REDACTED]

Fax:

Email: rosalesuepb@gmail.com

Inventor 2 de 5

Nome: CARLOS ANTÔNIO PEREIRA DE LIMA

CPF: [REDACTED]

Nacionalidade: Brasileiro

Qualificação Física: Professor do ensino superior

Endereço: [REDACTED]

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: 58430-420

País: BRASIL

Telefone: [REDACTED]

Fax:

Email: caplima@servidor.uepb.edu.br

Inventor 3 de 5

Nome: LUIS REYES ROSALES MONTERO

CPF: [REDACTED]

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Professor do ensino superior

Endereço: [REDACTED]

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: [REDACTED]

País: BRASIL

Telefone: ([REDACTED])

Fax:

Email: rosales@dee.ufcg.edu.br

Inventor 4 de 5

Nome: GERALDA GILVÂNIA CAVALCANTE

CPF: [REDACTED]

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Professor do ensino superior

Endereço: [REDACTED]

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: [REDACTED]

País: BRASIL

Telefone: [REDACTED]

Fax:

Email: gilvania@servidor.uepb.edu.br

Inventor 5 de 5

Nome: KEILA MACHADO DE MEDEIROS

CPF: [REDACTED]

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Pesquisador

Endereço: [REDACTED]

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: [REDACTED]

País: BRASIL

Telefone: ([REDACTED])

Fax:

Email: keilamachadodemedeiros@gmail.com

Documentos anexados

Tipo Anexo	Nome
Comprovante de pagamento de GRU 200	Comprovante de GRU_29409161943291917_Pedido de Patente_Prof. Carlos.pdf
Contrato de trabalho	Carlos Antonio Pereira de Lima - Comprovante de vinculo.pdf
Contrato de trabalho	Vanessa Rosales Bezerra - Comprovante de vinculo.pdf
Contrato de trabalho	Geralda Gilvania Cavalcante - comprovante de vinculo 2.pdf
Contrato de trabalho	Keila Machado de Medeiros - Comprovante de vinculo.pdf
Contrato de trabalho	Luis Reys Rosales Montero - Comprovante de vinculo.pdf
Resumo	PI - Sistema de dessalinização_Resumo.pdf
Relatório Descritivo	PI - Sistema de dessalinização_Relatório.pdf
Reivindicação	PI - Sistema de dessalinização_QR.pdf
Desenho	PI - Sistema de dessalinização_Desenhos.pdf
Documento de Cessão	documento cessão patente assinado.pdf

-
- Declaração Negativa de Acesso - Declaro que o objeto do presente pedido de patente de invenção não foi obtido em decorrência de acesso à amostra de componente do Patrimônio Genético Brasileiro, o acesso foi realizado antes de 30 de junho de 2000, ou não se aplica.

Declaração de veracidade

- Declaro, sob as penas da lei, que todas as informações acima prestadas são completas e verdadeiras.



Pedido de Registro de Programa de Computador - RPC

Número do Processo: 512022001479-3

Dados do Titular

Titular 1 de 2

Nome ou Razão Social: UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAIBA

Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica

CPF/CNPJ: 12671814000137

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Jurídica: Instituição de Ensino e Pesquisa

Endereço: Rua Baraúnas, 351

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: 58429-500

País: Brasil

Telefone: (83) 3315 3383

Fax:

Email: inovatecuepb@uepb.edu.br

Titular 2 de 2

Nome ou Razão Social: UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica

CPF/CNPJ: 05055128000176

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Jurídica: Instituição de Ensino e Pesquisa

Endereço: Avenida Aprígio Veloso, 882

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: 58429-900

País: BRASIL

Telefone:

Fax:

Email:

Dados do Programa

Data de Criação: 01/11/2021

- § 2º do art. 2º da Lei 9.609/98: "Fica assegurada a tutela dos direitos relativos a programa de computador pelo prazo de cinquenta anos contados a partir de 1º de janeiro do ano subseqüente ao da sua publicação ou, na ausência desta, da sua criação"

Título: SOFTWARE EMBARCADO PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO
E OTIMIZAÇÃO DE DESSALINIZADORES SOLARES

Algoritmo hash: SHA-512 - Secure Hash Algorithm

Resumo digital hash: 62d506eb76677be065ec54e32d964320ed31ded04334907665b1afcb
e130fab44cc6eaf0b639a42bb6046486dc62e9ca62b9e9c41863a8ecb
11ef4d9f5fd5797

§1º e Incisos VI e VII do §2º do Art. 2º da Instrução Normativa: O titular é o responsável único pela transformação, em resumo digital hash, dos trechos do programa de computador e demais dados considerados suficientes para identificação e caracterização, que serão motivo do registro. O titular terá a inteira responsabilidade pela guarda da informação sigilosa definida no inciso III, § 1º, art. 3º da Lei 9.609 de 19 de fevereiro de 1998.

Linguagem: C++

Campo de Aplicação: EN02-REC ENERG RECURSOS/SERVIÇOS/FORMAS DE ENERGIA (RECURSOS HIDRELÉTRICOS OU HIDROELÉTRICOS, CARBONÍFEROS, PETROLÍFEROS, URANÍFEROS, SERVIÇOS DE ENERGIA ELÉTRICA, DE GÁS CANALIZADO; FORMAS: ENERGIA ELÉTRICA, MECÂNICA, QUÍMICA, RADIANTE, LUMINOSA ...
EN03-COMBUSTÍVEL (FÓSSIL, DE ORIGEM VEGETAL, BIOMASSA, NUCLEAR, SÓLIDO, LÍQUIDO, GASOSO)
EN04-TECN ENERG TECNOLOGIA E ENERGIA (FONTE DE ENERGIA: CONVENCIONAL, ALTERNATIVA; GERAÇÃO DE ENERGIA, USINA DE ENERGIA, CONVERSÃO DE ENERGIA, ARMAZENAMENTO DE ENERGIA, TRANSPORTE DE ENERGIA, DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA: ELETRIFICAÇÃO, ENGENHARIA ELÉTRICA ...
SM01-SANEAMENTO (ENGENHARIA SANITÁRIA, SANEAMENTO BÁSICO)
SM02-RESÍDUO (DETRITO, DEJETO OU EFLUENTE; LIXO, RESÍDUO: GASOSO, LÍQUIDO, ORGÂNICO, QUÍMICO, TÉRMICO, TÓXICO)
SM05-ESGOTO (SERVIÇO DE ESGOTO, ESGOTO SANITÁRIO, TRATAMENTO: PRELIMINAR, PRIMÁRIO, SECUNDÁRIO, TERCIÁRIO; REMOÇÃO DE SÓLIDOS, LODO, EMISSÁRIO, ETC, ESGOTO INDUSTRIAL)
BL04-MICROBIOLG (BACTERIOLOGIA, VIROLOGIA, BIOGEOGRAFIA)
Tipo de Programa: AT01 - AUTOMAÇÃO

Dados do Autor

Autor 1 de 6

Nome: CARLOS ANTÔNIO PEREIRA DE LIMA

CPF: [REDACTED]

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Professor do ensino superior

Endereço: [REDACTED]

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: [REDACTED]

País: BRASIL

Telefone:

Fax:

Email: caplima@uepb.edu.br

Autor 2 de 6

Nome: VANESSA ROSALES CONSERVA

CPF: [REDACTED]

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Engenheiro, arquiteto e afins

Endereço: [REDACTED]

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: [REDACTED]

País: BRASIL

Telefone:

Fax:

Email:

Autor 3 de 6

Nome: DARLAN GUIMARÃES LEITE MAMEDE

CPF: [REDACTED]

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Engenheiro, arquiteto e afins

Endereço: [REDACTED]

Cidade: Serra Talhada

Estado: PE

CEP: [REDACTED]

País: BRASIL

Telefone:

Fax:

Email: darlan.guimaraes@gmail.com

Autor 4 de 6

Nome: KEILA MACHADO DE MEDEIROS

CPF: [REDACTED]

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Professor do ensino superior

Endereço: [REDACTED]

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: [REDACTED]

País: BRASIL

Telefone:

Fax:

Email: keilamachadodemeideiros@gmail.com

Autor 5 de 6

Nome: LUIS REYES ROSALES MONTERO

CPF: [REDACTED]

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Professor do ensino superior

Endereço: [REDACTED]

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: [REDACTED]

País: BRASIL

Telefone:

Fax:

Email: rosales@dee.ufcg.edu.br

Autor 6 de 6

Nome: KÊNIA KELLY FREITAS SARMENTO

CPF: [REDACTED]

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Estudante de Pós Graduação

Endereço: [REDACTED]

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: [REDACTED]

País: BRASIL

Telefone:

Fax:

Email: kenia.sarmiento@aluno.uepb.edu.br

Declaração de Veracidade - DV

Nome: declaracaoVeracidade CARLOS_v1assinada (2).pdf

DECLARAÇÃO DE VERACIDADE - CLIENTE

Em atendimento à Instrução Normativa em vigor eu, UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAIBA, CNPJ: 12.671.814/0001-37, declaro, para fins de direito, sob as penas da Lei e em atendimento ao art. 2º do Decreto nº 2.556², de 20 de abril de 1998, que as informações feitas no formulário eletrônico de programa de computador – e-Software, são verdadeiras e autênticas.

Fico ciente através desse documento que a falsidade dessa declaração configura crime previsto no Código Penal Brasileiro e passível de apuração na forma da Lei.

Ciente das responsabilidades pela declaração apresentada, firmo a presente.

-----assinado digitalmente-----

UNIVERSIDADE ESTADUAL



DA PARAIBA:12671814000137

DECRETO Nº 2.556, DE 20 DE ABRIL DE 1998

Art. 1º Os programas de computador poderão, a critério do titular dos respectivos direitos, ser registrados no Instituto Nacional da Propriedade Industrial - INPI.

Art. 2º A veracidade das informações de que trata o artigo anterior são de inteira responsabilidade do requerente, não prejudicando eventuais direitos de terceiros nem acarretando qualquer responsabilidade do Governo.

29409191949620612



INPI
INSTITUTO
NACIONAL
DA PROPRIEDADE
INDUSTRIAL
Assinado
Digitalmente

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
DIRETORIA DE PATENTES, PROGRAMAS DE COMPUTADOR E TOPOGRAFIAS DE CIRCUITOS INTEGRADOS

Certificado de Registro de Programa de Computador

Processo Nº: BR512022001479-3

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial expede o presente certificado de registro de programa de computador, válido por 50 anos a partir de 1º de janeiro subsequente à data de 01/11/2021, em conformidade com o §2º, art. 2º da Lei 9.609, de 19 de Fevereiro de 1998.

Título: SOFTWARE EMBARCADO PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E OTIMIZAÇÃO DE DESSALINIZADORES SOLARES

Data de criação: 01/11/2021

Titular(es): UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE; UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAIBA

Autor(es): CARLOS ANTÔNIO PEREIRA DE LIMA; KEILA MACHADO DE MEDEIROS; VANESSA ROSALES CONSERVA; DARLAN GUIMARÃES LEITE MAMEDE; LUIS REYES ROSALES MONTERO; KÊNIA KELLY FREITAS SARMENTO

Linguagem: C++

Campo de aplicação: BL-04; EN-02; EN-03; EN-04; SM-01; SM-02; SM-05

Tipo de programa: AT-01

Algoritmo hash: SHA-512

Resumo digital hash:

62d506eb76677be065ec54e32d964320ed31ded04334907665b1afcbe130fab44cc6eaf0b639a42bb6046486dc62e9ca62b9e9c41863a8ecb11ef4d9f5fd5797

Expedido em: 21/06/2022

Aprovado por:

Joelson Gomes Pequeno

Chefe Substituto da DIPTO - PORTARIA/INPI/DIRPA Nº 02, DE 10 DE FEVEREIRO DE 2021

