

DESSALINIZADOR SOLAR PORTÁTIL PARA APLICAÇÃO EM COMUNIDADES RURAIS NO RIO GRANDE DO NORTE

Fabiana Karla O. M. Varella Guerra (UFERSA) - fkv@ufersa.edu.br

Paulo Vinicius Oliveira (UFERSA) - paulovinicius012@gmail.com

Luiz José de Bessa Neto (UFERSA) - luizjbessa@outlook.com

Resumo:

Com a escassez de água se tornando um problema cada vez mais crônico ao redor do mundo, surge a necessidade de produzir água através de processos de dessalinização. A dessalinização ou destilação solar, caracteriza-se por ser um processo simples e barato, utilizando a energia proveniente do sol para produzir água de boa qualidade. Dessa forma, o presente trabalho tem como proposta projetar e construir um destilador solar portátil de cobertura piramidal que tenha eficiência e portabilidade, para ser utilizado em locais que têm dificuldade de acesso à água potável, como nas zonas rurais do Rio Grande do Norte. Para fins de estudo e verificação do funcionamento do equipamento, foram realizados ensaios onde foram medidos parâmetros em diferentes locais do protótipo. Ao fim dos ensaios, analisou-se o comportamento do destilador solar através dos indicadores medidos, a saber, temperatura do ambiente; temperatura na superfície da cobertura; temperatura do vapor de água; temperatura da água salobra; temperatura da água destilada e a radiação solar, onde o mesmo apresentou um bom comportamento, alcançando uma eficiência de aproximadamente 20%, comprovando que o uso do sistema é viável.

Palavras-chave: *Destilação solar, Energia Solar, Água Salobra*

Área temática: *Mercado, economia, política e aspectos sociais*

Subárea temática: *Impactos sociais, econômicos e ambientais de energias renováveis*

DESSALINIZADOR SOLAR PORTÁTIL PARA APLICAÇÃO EM COMUNIDADES RURAIS NO RIO GRANDE DO NORTE

Paulo Vinícius De Souza Oliveira - paulovinicius012@gmail.com

Universidade Federal Rural do Semiárido, Centro de Engenharias, Departamento de Engenharia e Tecnologia

Fabiana Karla de O. M. Varella Guerra - fkv@ufersa.edu.br

Universidade Federal Rural do Semiárido, Centro de Engenharias, Departamento de Engenharia e Tecnologia,
Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica

Luiz José de Bessa Neto – luizjbessa@outlook.com

Universidade Federal Rural do Semiárido, Centro de Engenharias, Departamento de Engenharia e Tecnologia

Resumo. Com a escassez de água se tornando um problema cada vez mais crônico ao redor do mundo, surge a necessidade de produzir água através de processos de dessalinização. A dessalinização ou destilação solar, caracteriza-se por ser um processo simples e barato, utilizando a energia proveniente do sol para produzir água de boa qualidade. Dessa forma, o presente trabalho tem como proposta projetar e construir um destilador solar portátil de cobertura piramidal que uma eficiência e portabilidade, para ser utilizado em locais que tem dificuldade de acesso à água potável, como nas zonas rurais do Rio Grande do Norte. Para fins de estudo e verificação do funcionamento do equipamento, foram realizados ensaios onde foram medidos parâmetros em diferentes locais do protótipo. Ao fim dos ensaios, analisou-se o comportamento do destilador solar através dos indicadores medidos, a saber, temperatura do ambiente; temperatura na superfície da cobertura; temperatura do vapor de água; temperatura da água salobra; temperatura da água destilada e a radiação solar, onde o mesmo apresentou um bom comportamento, alcançando uma eficiência de aproximadamente 20%, comprovando que o uso do sistema é viável.

Palavras-chave: Destilação solar, Energia Solar, Água Salobra

1. INTRODUÇÃO

A água vem se tornando ao longo do tempo um bem cada vez mais precioso, devido à sua crescente escassez. Embora seja um recurso considerado inesgotável devido ao seu ciclo natural de evaporação e precipitação, a água de boa qualidade está se tornando mais escassa devido principalmente à problemas como poluição e mal planejamento da distribuição do recurso hídrico, restando a muitas famílias consumirem águas contaminadas, que resultam em malefícios à saúde a curto e longo prazo. O Brasil, por ex., apresenta cerca 12% de toda a água doce do planeta, porém esse recurso se encontra mal distribuído, pois 70% da água disponível no país se encontra na região Norte, onde vive apenas 7% da população, dentre os 30% restantes, apenas 3% se distribuem por toda a região Nordeste, que é formada por 9 estados, dentre esses o Rio Grande do Norte (RN), que será o foco deste trabalho (LOPES, 204).

Dentro deste contexto, o clima semiárido que compõe a maior parte do Rio Grande do Norte, apresenta ausência de chuvas em grande parte do ano, associado às altas temperaturas, que provocam uma evaporação elevada dos rios, lagos e açudes disponíveis na região. Junto a isso, boa parte do estado é coberto por rochas cristalinas que quando ocorre a perfuração de poços e os mesmos apresentam, em sua maioria, baixas vazões e altos níveis de salinidade na água extraída (MARINHO, 2012). Em função da dificuldade de muitas famílias terem acesso ao recurso de qualidade, soluções como produzir água potável através da água do mar e salobra, vem ganhando cada vez mais espaço. Dentre as tecnologias existentes para produção de água potável, como as tradicionalmente utilizadas, osmose reversa e a eletrólise da água, segundo Faria *et al.* (2015), a destilação solar surge como uma solução atraente, visto que é sustentável, pois utiliza a energia solar como combustível, e não gera poluentes, além de ser considerada de fácil manuseio e de baixo custo, ao ser comparada com outras tecnologias convencionais com a mesma finalidade.

O destilador solar apresenta seu funcionamento de forma semelhante ao ciclo natural da água, de forma que a energia solar evapora a água salgada ou salobra que fica depositada no equipamento, condensando-a posteriormente em água potável para consumo humano, apresentando alto grau de pureza (FARIA *et al.*, 2015). Logo, a utilização desse mecanismo para a produção de água potável se torna uma alternativa atrativa para ser utilizada no Estado do Rio Grande do Norte, principalmente em comunidades rurais, onde a falta de água tem sido um tema recorrente nos últimos anos. Dessa forma, por todo o exposto, o presente artigo tem como objetivo confeccionar um destilador solar visando auxiliar a qualidade de vida da população que reside em áreas rurais, e tem como foco a portabilidade desse protótipo, pois agrega a possibilidade de transportar o sistema para diversos lugares em comunidades rurais do Rio Grande do Norte.

2. DESTILAÇÃO SOLAR

Segundo Soares (2004) a destilação solar pode ser definida basicamente como o processo onde através do aquecimento da água salobra ou salgada pelos raios solares, ocorre a produção de vapor d'água que é condensado em uma superfície e coletado como água purificada. O processo de destilação ocorre no equipamento chamado destilador solar,

que tem como função reproduzir em pequena escala, os processos de evaporação, condensação e precipitação como mencionado anteriormente. Esse dispositivo é formado basicamente e mais usualmente por um tanque raso em conjunto com uma tampa de vidro, onde o mesmo pode ser de diversos tamanhos e formatos (SÁ, 2012).

No destilador solar, a radiação atravessa o vidro aquecendo a água salobra, fazendo com que a mesma evapore, o vapor sobe e é condensado na parte interna do teto de vidro do destilador, onde escorre até ser coletado nas canaletas. Ainda de acordo com Sá (2012), ao fim do processo, diversas substâncias nocivas à saúde são deixadas para trás, como excesso de sais, minerais, impurezas e microrganismos. A Fig. 1 apresenta o esquema de funcionamento do destilador solar. É válido lembrar, que embora existam diversos tipos de destiladores solares, o princípio de funcionamento é o mesmo para todos, logo a diferença na geometria de cada modelo irá ter influência direta na sua eficiência.

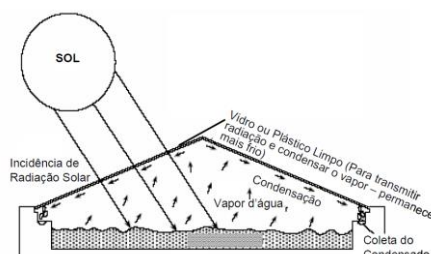


Figura 1 - Funcionamento de um destilador solar (Soares, 2004).

Os destiladores solares podem ser classificados em duas categorias, os sistemas ativos e passivos, onde essa divisão ocorre de acordo com o tipo de energia que é utilizado no compartimento que contém água salobra. Nos sistemas ativos, além do aproveitamento da radiação solar, é aplicada uma parcela extra de energia ao destilador, buscando acelerar o processo de evaporação (JORGE, 2011). Essa energia extra provém de equipamentos externos, como o coletor solar plano por exemplo, sendo esse tipo de sistema mais utilizado para escala comercial devido à sua maior eficiência (TEXEIRA, 2013).

Ainda segundo Teixeira (2013), os sistemas passivos não utilizam fonte extra, utilizando apenas a energia do sol para evaporar a água salobra, o que torna o processo mais lento, porém menos dispendioso, sendo assim economicamente viável para o fornecimento de água potável. Esse tipo de sistema será o foco deste trabalho, e por isso será estudado com mais detalhes do que o sistema ativo. Dentre os destiladores solares passivos, os modelos mais utilizados são os convencionais; de múltiplo efeito; de mecha; e de condensação separada (BEZERRA, 2001). Outros modelos estudados são o com cobertura piramidal, cobertura hemisférica e bacia côncava. A seção 2.2.1 tratará sobre o destilador solar com cobertura piramidal, pois devido às suas vantagens, destacadas na seção subsequente, foi o modelo escolhido para o desenvolvimento do presente trabalho.

2.1 Destilador solar com cobertura piramidal

O destilador solar com cobertura piramidal é caracterizado por possuir a possibilidade de captar a energia solar através de quatro faces, se diferenciando assim dos modelos citados anteriormente. O fato de possuir quatro vidros possibilita a absorção da radiação por todos os lados, trazendo versatilidade ao equipamento, visto que ele não sofrerá perda de rendimento devido ao posicionamento do sol (RIBEIRO *et al.*, 2011). O funcionamento do referido destilador é semelhante ao do tipo convencional, pois a água salobra fica armazenada em uma bacia retangular no interior do equipamento, onde a radiação solar aquece e evapora a água, condensando no teto piramidal que possui uma angulação pré-definida, onde facilita o escoamento da água destilada para o reservatório final. A Fig. 2 mostra um protótipo do destilador solar com cobertura piramidal.

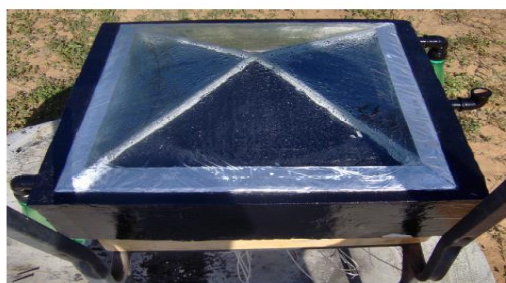


Figura 2 - Destilador solar com cobertura piramidal (Ribeiro, 2008).

2.2 Eficiência da destilação solar

A eficiência de um destilador solar está relacionada a sua capacidade de aproveitar a energia inserida sobre o sistema para realizar o processo de destilação da água salobra. Logo, os sistemas são mais eficientes quando conseguem produzir maior quantidade de água dessalinizada, utilizando menos energia. Essa eficiência é um fator dependente de diversos

fatores, tais como os materiais utilizados, as dimensões, a localização geográfica, regime de ventos, etc. Como todo sistema, o destilador também apresenta perdas que fazem com que parte da energia solar total seja dissipada. Segundo Maluf (2005), alguns exemplos de perdas típicas são a reflexão da radiação incidente no vidro (10%), absorção no vidro (10%), perdas por radiação para o céu (3,7%), por convecção do vidro para o ambiente (12,2%), de isolamento do tanque (7%) e outras perdas de vazamentos de calor através do vento e diferença de temperatura (9,7%).

Dessa forma, de toda a energia que incide sobre o destilador solar, apenas algo em torno de 38% a 43% são utilizados no processo de evaporação da água salobra, limitando assim a eficiência do sistema (SILVEIRA, 2014). Com isso, um projeto bem elaborado juntamente com um local adequado é de fundamental importância para que o sistema de dessalinização solar apresente bons índices de eficiência.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Construção do destilador solar

Após o estudo das etapas necessárias para se construir o destilador solar, bem como após analisar os diversos materiais que podem se adequar a essa construção, foi possível projetar o protótipo do dessalinizador solar. O projeto teve como objetivo maximizar dois pontos, eficiência e portabilidade. A eficiência é importante pelos motivos estudados anteriormente, e a portabilidade agrega a possibilidade de aplicar o sistema em diversas comunidades rurais ao longo do RN. Os materiais utilizados no destilador solar foram escolhidos visando o maior custo benefício além de garantir uma boa isolamento, resistência a temperatura e durabilidade. Outro ponto importante foi a disponibilidade dos mesmos na região, o que facilitou a construção do equipamento. Os ensaios do destilador solar foram realizados no entorno do prédio de Engenharias I da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Leste, localizado em Mossoró/RN. O local escolhido facilitou o experimento, visto que a incidência solar é alta durante as horas de sol pleno, e o fato de ocorrer dentro do campus viabilizou os equipamentos para realizar as medições, assim como permitiu um monitoramento mais intenso da prática.

3.1.1 Tanque

O tanque do destilador solar, onde foi depositada a água salobra, foi construído de vidro comum de 4 mm de espessura, e optou-se por utilizar esse tipo de material, pois o vidro apresenta bom comportamento térmico, resistência à salinidade e ainda evita que a água salobra (antes do processo de destilação) e destilada (após o processo) entrem em contato uma com a outra. A vedação do vidro foi feita com silicone, material mais adequado para esse tipo de serviço.

O reservatório é em formato de base quadrada, possuindo 0,0576 m² de área, com uma altura de 10 cm, totalizando 0,00576 m³ de volume, dessa forma o tanque tem capacidade de suportar até 5,76 litros de água salobra. No entanto, o reservatório ainda irá ser acrescido de isolamento térmica e revestimento, que será mostrado posteriormente. A Fig. 3 apresenta o reservatório do destilador construído.

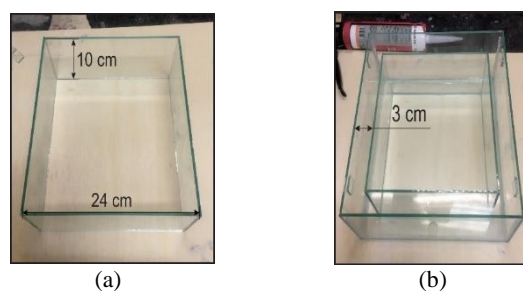


Figura 3 - Reservatório: (a) Individualmente (b) Inserido no destilador (Oliveira, 2018).

3.1.2 Cobertura

Com relação a cobertura, foi utilizado em sua construção o vidro comum de 4 mm de espessura, que como já citado no referencial teórico, tal material apresenta a melhor relação custo benefício para essa utilização. Conforme mostrado anteriormente, a angulação da cobertura é um parâmetro de extrema relevância quando se visa atingir um bom desempenho do destilador solar, devendo ter atenção redobrada na concepção do projeto e na construção. Para a estrutura de cobertura do tipo piramidal optou-se por utilizar o ângulo de 25°, que segundo um estudo realizado por Soares (2004), esta angulação permite atingir maior otimização ao projeto, pois o escoamento ocorre de maneira igual em todas as faces da cobertura de vidro. Ainda segundo Soares (2004), pelos ensaios realizados, essa angulação poder ser utilizada em todo o território brasileiro.

Como se trata de uma estrutura piramidal de vidro, sua construção ocorre a partir de quatro módulos em formato triangular, que são posteriormente unidos através da utilização do silicone, formando a estrutura desejada. A base da pirâmide é quadrada, logo cada módulo deve ter o comprimento equivalente a um lado do quadrado, sendo esse valor de

33 cm. Para uma angulação de 25° e base de 30 cm, o valor calculado da altura de cada triângulo foi de 16,8 cm. A Fig. 4 exibe uma ilustração da estrutura piramidal em corte.

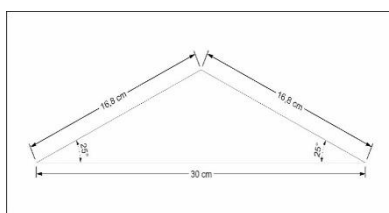


Figura 4 - Estrutura piramidal em corte (Oliveira, 2018).

Após o projeto, foi possível construir a cobertura piramidal. A Fig. 5 apresenta a cobertura piramidal construída.

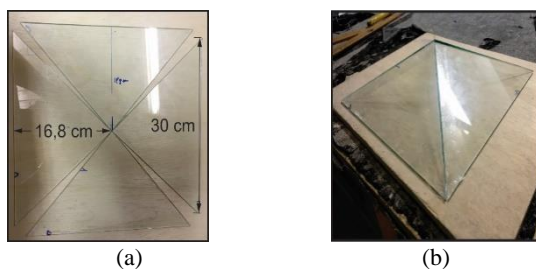


Figura 5 - Cobertura piramidal: (a) Módulos (b) Estrutura construída (Oliveira, 2018).

3.1.3 Isolação térmica

A isolamento térmica tem como função conter o máximo de energia térmica possível dentro do reservatório, evitando perdas para o ambiente externo. O projeto da isolamento térmica do destilador solar foi baseado na dos recipientes térmicos, como a garrafa de café, por ex., onde se utilizam camadas de superfícies espelhadas e de materiais de baixa condutividade térmica. O principal componente utilizado na isolamento foi o isopor de 6 mm de espessura, tal material tem como característica uma baixa condutividade térmica, ser leve e possuir 98% de ar em sua estrutura juntamente com 2% de poliestireno (SILVEIRA, 2014). Na construção, o isopor foi pintado de preto, com o objetivo de absorver o máximo possível da radiação solar incidente, e foi colocado em camadas, onde entre as camadas foi inserido o papel alumínio, que foi utilizado como material refletor, tendo a função de evitar perdas por radiação. A Fig. 6 expõe o sistema de isolamento térmica construído.

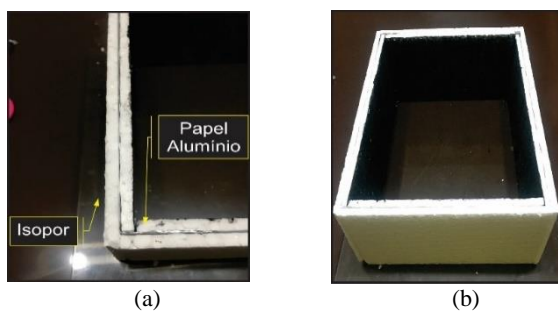


Fig. 6 - Sistema de isolamento: (a) Detalhe das camadas (b) Isolação Construída (Oliveira, 2018).

3.1.4 Revestimento

O revestimento do reservatório é uma etapa importante, pois tem como objetivo manter a água salobra isolada dos outros componentes do sistema, além de contribuir com a isolamento térmica. O material utilizado para o revestimento foi a lona preta própria para estufas, que tem como uma de suas características a alta absorção de calor, resistência a temperaturas elevadas, maleabilidade e não elimina resíduos na água salobra, evitando possíveis maus cheiros. A lona foi inserida ao destilador cobrindo o interior do tanque onde contem a isolamento térmica, ao fim do processo, a área útil do reservatório para ser utilizada no processo de destilação foi de $0,042 \text{ m}^2$, com uma altura útil de 9 cm, totalizando $0,00378 \text{ m}^3$ de volume, desse modo o destilador tem a capacidade de inserção de 3,78 litros de água salobra.

3.1.5 Sistema de escoamento

O sistema de escoamento é responsável por receber a água destilada após o processo de condensação na cobertura. Dessa forma, é fundamental que o mesmo seja eficiente, não contendo vazamentos que possam levar a perda do produto final e não libere resíduos. No projeto do destilador, o sistema de escoamento ocorre a partir do processo de condensação da água limpa, a mesma escorre pela cobertura piramidal e goteja no recipiente de coleta onde fica armazenada. O recipiente apresenta área de $0,033 \text{ m}^2$ e altura de 10 cm, totalizando $0,0033 \text{ m}^3$ de volume, tendo assim uma capacidade de 3,3 litros de água destilada. Ao fim do período de análise o produto final pode ser coletado através de uma torneira, que é ligada ao fundo do destilador por um “joelho” de PVC. A Fig. 7 expõe o sistema de escoamento do destilador solar piramidal.

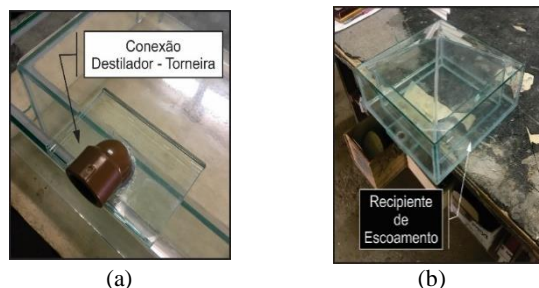


Figura 7: Sistema de escoamento: (a) Detalhe da conexão (b) Recipiente de escoamento (Oliveira, 2018).

3.2 Protótipo do destilador solar

Um dos problemas enfrentados por destiladores solares, é o fato de que sua higienização é trabalhosa, só sendo possível muitas vezes em sistemas de grande escala. A falta de limpeza periódica no reservatório faz com que uma quantidade elevada de sais fique depositada ao fundo do tanque de água salobra, diminuindo a eficiência do sistema ao longo do tempo (RIBEIRO, 2008). Visando a possibilidade de limpeza do tanque e do sistema como um todo, foi adicionado a cobertura piramidal um sistema de encaixe no destilador, onde através de dois suportes o usuário pode retirar a tampa e inserir novamente água salobra, e/ou realizar a limpeza do equipamento. Além do sistema de encaixe, todo o sistema de isolamento e cobertura é facilmente retirável do reservatório, para possíveis trocas, reparos ou limpezas. Outro componente adicionado ao projeto final foi o suporte do destilador, que tem como função evitar o contato do sistema com o chão, prevenindo possíveis danos externos. O suporte foi construído utilizando quatro “apoios” de madeira de boa qualidade, onde os “apoios” da parte traseira do destilador possuem 8,5 cm de altura e os da parte dianteira 8 cm, isso possibilita uma inclinação que facilita o transporte da água destilada dentro do sistema de escoamento. A Fig. 8 apresenta o destilador solar construído.

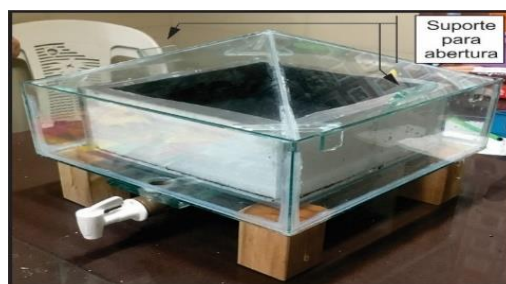


Figura 8: Destilador solar construído (Oliveira, 2018).

3.3 Metodologia dos ensaios e procedimento de coleta de dados

Com o intuito de testar o funcionamento do destilador solar proposto, foram realizados ensaios durante o período de 14 a 23 de agosto de 2018, sempre utilizando um litro de água salobra doada pelo setor de piscicultura da UFERSA, em que foram medidos parâmetros pré-determinados a cada uma hora, iniciando às 8:00h e finalizando às 14:00h. Os parâmetros escolhidos para serem analisados foram, temperatura do ambiente; temperatura na superfície da cobertura; temperatura do vapor de água; temperatura da água salobra; temperatura da água destilada e a radiação solar. Para medir corretamente cada parâmetro, foram utilizados termopares ligados a um alicate amperímetro na função termômetro; um anemômetro; um termômetro a *laser*; um termômetro digital e um medidor de radiação solar. Os equipamentos foram cedidos pelo Laboratório de Engenharia Elétrica e Mecânica da UFERSA.

Os experimentos ocorreram ao longo de oito dias, conforme mencionado anteriormente, sempre com pleno sol e pouca nebulosidade, no entanto dos oito dias, sete foram para analisar o sistema, identificar os erros e repará-los, como será explanado posteriormente neste artigo. Logo, o último dia de ensaios foi considerado nesta análise, pois os ensaios realizados tinham como finalidade validar o protótipo desenvolvido. O procedimento para coletar os dados se iniciou medindo a temperatura do ambiente, com a ajuda do anemômetro na função temperatura, em seguida foi medida a radiação solar, com o auxílio do medidor de radiação solar, posteriormente era medida a temperatura na superfície da cobertura,

utilizando o termômetro a *laser*, na sequência foi medida a temperatura do vapor de água, com o termômetro digital, e por último foram realizadas as medições da temperatura das águas salobra e destilada, ambas com o alicate amperímetro utilizando a função termômetro.

3.4 Eficiência

A eficiência de um destilador solar é um parâmetro importante, pois analisa a relação entre a quantidade de energia solar que o equipamento recebe pela produção de água limpa por um determinado período de tempo. Através da Eq. 1 é possível verificar o rendimento do sistema.

$$\eta = \frac{Q * 2,3}{G * A} \quad (1)$$

Onde:

η = Eficiência do sistema de destilação solar;

Q = Quantidade de água destilada ao fim de um dia de coleta (Litros/Dia);

G = Média diária da energia acumulada total (MJ/m²);

A = Área útil do destilador (m²).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise do protótipo construído

Os primeiros dias do período de ensaio foram utilizados para avaliar como o destilador estava se comportando durante as horas em que foi exposto ao sol. Com relação a resistência dos materiais utilizados, todos se comportaram de forma satisfatória, suportando as altas temperaturas a que foram submetidos. Dessa forma, o sistema não apresentou problemas com vazamento da água salobra e destilada, comprovando que os materiais utilizados eram de boa qualidade. Além de observar como os materiais se comportavam, também foi foco de análise se o sistema estava funcionando corretamente, ou seja, se a água salobra estava evaporando e condensando na cobertura piramidal. Ao longo do período de testes, foi observado que embora a temperatura da água salobra aumentasse de forma gradativa e satisfatória, o sistema não apresentava uma condensação suficiente na cobertura para produzir água destilada, tornando-o ineficaz.

Após propor algumas soluções que não surtiram efeito no comportamento do sistema, observou-se que, embora aparentemente o sistema de encaixe entre a cobertura piramidal e o destilador solar estivesse totalmente acoplado, na realidade existiam pequenas “brechas” entre os dois componentes, essa falha possivelmente foi causada devido ao corte manual do vidro, que apresenta imperfeições. Tais espaços fizeram com que grande parte do vapor de água formado dentro do destilador fosse perdido para o ambiente externo, dificultando a condensação na cobertura. A solução encontrada foi vedar o sistema de encaixe com fita adesiva, tal medida se mostrou satisfatória, visto que o nível de condensação melhorou significativamente, o que tornou possível a geração de água destilada. A Fig. 9 apresenta um comparativo do sistema com e sem a vedação, ou seja, com e sem o reparo.

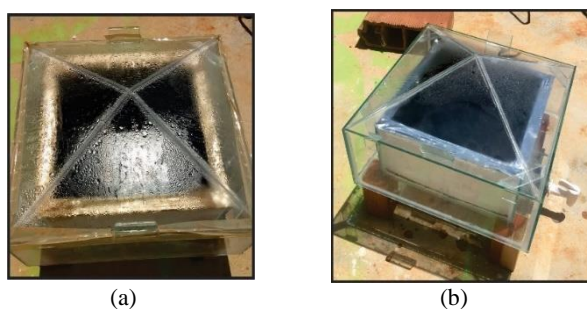


Figura 9 - Destilador solar: (a) Com a vedação (b) Sem a vedação (Oliveira, 2018).

Outro problema enfrentado, foi a temperatura elevada nas superfícies laterais do destilador, com isso ocorria que quando a água destilada chegava ao reservatório de escoamento, o mesmo estava muito quente, fazendo com que parte do produto final fosse perdido por evaporação. A solução encontrada foi revestir as laterais do equipamento com um material que evitasse a chegada dos raios solares nas laterais e ainda servisse como isolante térmico, dessa forma colocou-se papelão cercado todo o sistema. Com todos os problemas resolvidos, o destilador solar funcionou como esperado, sendo possível realizar as análises necessárias. A Fig. 10 apresenta o destilador após a realização dos reparos.



Figura 10 - Destilador solar ajustado (Oliveira, 2018).

Vale informar que os materiais selecionados para realizar esses reparos foram escolhidos visando aliar a boa funcionalidade, fácil acesso e manuseio, aumento da vida útil e custo razoavelmente baixo. O custo total do protótipo foi cerca de R\$80, sendo 80% do custo total representado pelo vidro comum e silicone. Essa porcentagem se explica devido ao fato que o vidro compõe basicamente todo o destilador, e junto a ele é necessário o silicone, que foi utilizado o de melhor qualidade, afim de evitar vazamentos e futuros gastos com reparos desnecessários.

4.2. Estudo dos parâmetros

4.2.1 Temperatura do ambiente e temperatura na superfície da cobertura

A Fig. 11 exibe os valores da temperatura do ambiente no dia do ensaio, ou seja, no dia 23/08/2018, sendo essa medição feita próxima ao destilador solar.

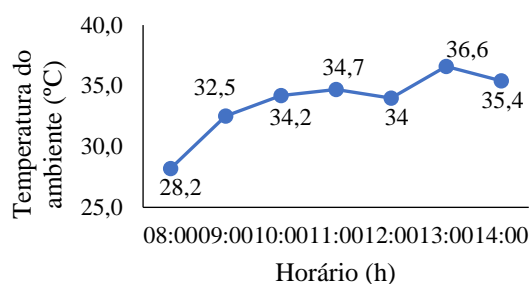


Figura 11 - Gráfico de Temperatura do ambiente durante o dia de ensaio (Oliveira, 2018).

Com o estudo dos valores obtidos através da medição, percebeu-se que durante o ensaio (*vide* Fig.11) a temperatura do ambiente estava favorável ao experimento, apresentando valores acima da média de 31 °C da região nordeste. Outro fato observado foi que não houve alterações bruscas de temperatura ao longo do dia, obtendo-se ao final uma temperatura média de 33,65 °C.

Os valores obtidos de temperatura na superfície da cobertura podem ser observados na Fig. 12, e ao analisá-la é possível verificar o aumento gradativo da temperatura na cobertura piramidal. Como não se trata de um material ideal, essa crescente é natural visto que o vidro absorve parte da energia recebida pela radiação solar, elevando sua temperatura. Outro fato importante, refere-se aos níveis de temperatura atingidos na cobertura, que foram considerados altos, obtendo-se uma média ao fim do experimento de 44,4 °C, o que é satisfatório, pois comprova a eficiência do sistema em captar a energia solar.

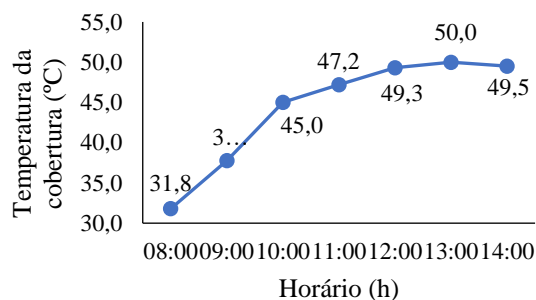


Figura 12 - Gráfico de Temperatura da cobertura piramidal durante o dia de ensaio (Oliveira, 2018).

4.2.2 Radiação Solar

A radiação solar é um parâmetro de fundamental importância para o sistema, visto que os níveis de radiação solar incidentes sobre o destilador provocam a evaporação da água salobra, dando início ao processo de destilação. A Fig. 13 apresenta os valores de radiação solar durante o dia de ensaio.

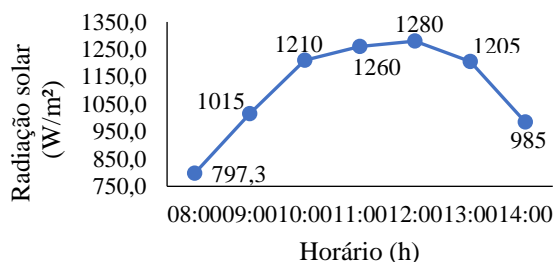


Figura 13 - Gráfico de Radiação solar incidente no destilador durante o dia de ensaio (Oliveira, 2018).

Através da Fig. 13, é possível notar que os índices de radiação a que o sistema foi exposto foram satisfatórios, se comportando de maneira crescente até as 12:00h, porém sem atingir níveis muito elevados. Após o pico do meio dia houve uma queda ao passar das horas, o que é natural, no entanto os valores ainda foram aceitáveis, contribuindo para o funcionamento do sistema. Ao fim da coleta de dados, obteve-se uma radiação média de 1.107,4 W/m².

4.2.3 Temperatura do vapor de água, temperatura da água salobra e temperatura da água destilada

A temperatura do vapor de água dentro do destilador solar está diretamente ligada à sua eficiência, visto que o sistema deve resguardar o máximo de energia possível para si, elevando assim a temperatura em seu interior e consequentemente a do vapor de água. A Fig. 14 exhibe os valores de temperatura do vapor de água no interior do destilador.

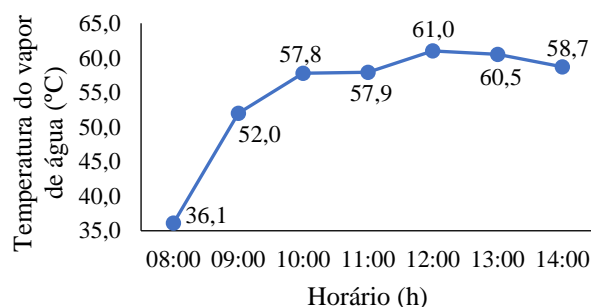


Figura 14 - Gráfico de Temperatura do vapor de água durante o dia de ensaio (Oliveira, 2018).

A partir dos valores mostrados na Fig. 14, foi possível analisar que o sistema conseguiu absorver e conservar a energia que incidiu sobre ele, pois a temperatura do vapor de água se manteve crescente acompanhando os níveis de radiação, chegando ao pico de 61°C. Após o pico, não existiu queda acentuada de temperatura, comprovando que o equipamento conseguiu conservar o máximo de energia possível em seu interior. Ao final do dia de ensaio, a temperatura média do vapor de água foi de 54,85 °C, sendo esse um valor bastante satisfatório, visto que em Silveira (2014) instalou-se o destilador no mesmo local, obtendo ao final uma média para esse parâmetro de 51 °C.

A Fig. 15 apresenta os valores de temperatura da água salobra durante o dia de ensaio, o estudo desse parâmetro é importante, pois relaciona a radiação solar incidente sobre o destilador com a capacidade do sistema de direcionar e conservar essa energia para aquecer a água salobra.

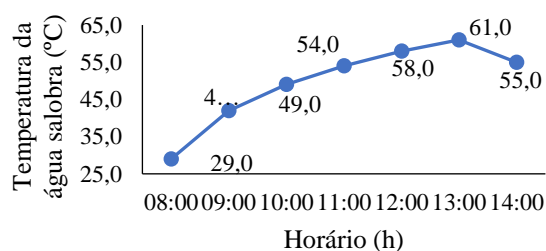


Figura 15 - Gráfico de Temperatura da água salobra durante o dia de ensaio (Oliveira, 2018).

Ao se analisar os valores obtidos na Fig. 15, percebeu-se que o comportamento do sistema, especialmente o do reservatório, isolamento e vedação foram satisfatórios, pois a temperatura da água salobra elevou-se até às 13:00h, chegando ao ápice de 61°C, decaindo somente na última hora de medição, pois houve uma queda da radiação solar incidente em 18,5%. Ao fim do período de análise se obteve uma temperatura média de 49,7 °C.

A análise do comportamento da temperatura da água destilada é importante, pois mostra se o sistema é capaz de conservar a água destilada, de maneira que ela não evapore novamente e seja perdida. A Fig. 16 mostra o comportamento da temperatura da água destilada no dia do experimento.

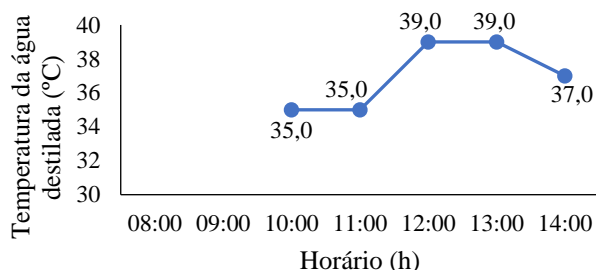


Figura 16 - Gráfico de Temperatura da água destilada durante o dia de ensaio (Oliveira, 2018)..

Como a produção de água destilada só se iniciou após às 9:00 h, a medição iniciou-se às 10:00 h. Analisando os valores obtidos, é perceptível que o comportamento da temperatura do produto final, ou seja, da água destilada, é inferior à da água salobra, evitando que a mesma não evapore e volte ao sistema, comprovando a eficácia do destilador solar, em especial do reservatório de água destilada. A temperatura média obtida foi de apenas 29,8 °C, sendo 19,9 °C abaixo da média quando comparada a temperatura registrada na água salobra.

4.3 Rendimento e eficiência

O rendimento do destilador solar é o parâmetro que representa a quantidade de água destilada produzida pelo sistema ao longo de um período de análise, e seu bom rendimento está diretamente relacionado a realização de todas as etapas de projeto e a construção do destilador de forma correta, além de outros aspectos como os fatores climáticos e locais. No dia do ensaio (dia 23/08/18), foi inserido um litro de água salobra no interior do destilador, e ao fim das sete horas de análise foram coletados 100 ml. A eficiência do destilador solar pode ser calculada a partir da Eq. 1 apresentada na metodologia (seção 3 deste trabalho). A quantidade de água destilada obtida ao fim do dia de ensaio (Q) foi de 100 ml ou 0,1 L. Com relação a energia acumulada média (G), foi obtido um valor de 1.107,4 W/m², o equivalente a 27,90 MJ/m², por último a área eficaz ocupada pelo destilador solar (A) foi de 0,042 m². A partir dos valores obtidos aplicados a Eq. 1, o destilador solar apresentou uma eficiência (η) de 19,62%. Portanto, de toda a energia incidente no sistema durante o dia de ensaio, o protótipo desenvolvido do destilador solar conseguiu transformar essa parcela em trabalho. A fim de verificar se a eficiência alcançada durante o experimento foi positiva ou não, buscou-se comparar o valor obtido com o de outros destiladores solares já desenvolvidos por outros autores. É evidente que por se tratar de outros projetos, alguns parâmetros não serão iguais ao do sistema construído neste trabalho, sendo essa apenas uma comparação inicial, servindo de base para futuros ajustes e correções.

Primeiramente analisou-se a eficiência de um destilador solar desenvolvido na Universidade Federal do Triângulo Mineiro, desenvolvido por Faria (2015) onde um destilador solar que também possui cobertura piramidal com área útil de 0,2025 m² e foram realizados 17 dias de análises na cidade de Conceição das Alagoas em Minas Gerais durante os meses de Abril e Junho, onde os valores obtidos de eficiência variaram de 15,2% a 56,5%.

Outro projeto tomado como base foi construído no mesmo local em que o sistema proposto neste trabalho, ou seja, na UFERSA. O destilador solar desenvolvido por Silveira (2014), apresentava cobertura de duas águas possuindo 1 m² de área útil, sendo submetido há dois dias de testes durante o mês de fevereiro, onde os rendimentos encontrados foram de 20% e 21%. Comparando a eficiência encontrada ao dos modelos citados anteriormente, é possível analisar que o valor obtido de aproximadamente 20% se encontra dentro de uma faixa aceitável de eficiência, tornando o sistema viável, especialmente quando comparado ao trabalho desenvolvido por Silveira (2014), pois foi realizado na cidade de Mossoró, ou seja, no mesmo clima e ambiente, modificando apenas o tipo de materiais utilizados, assim como a cobertura do destilador solar.

5. CONCLUSÃO

Os elevados índices de radiação solar a que a região do oeste potiguar, mas especificamente a cidade de Mossoró são submetidos durante todo o ano, foram essenciais para o bom funcionamento do destilador solar proposto, onde foram obtidos resultados satisfatórios. Os materiais utilizados no projeto foram selecionados visando sempre o melhor desempenho e eficiência, garantindo que o sistema não apresentasse problemas com vazamentos ou de outra natureza, além disso o uso de bons materiais permite também o aumento da vida útil do sistema de destilação solar, não sendo necessário reparos frequentes. Com relação aos problemas enfrentados durante os ensaios iniciais, todos foram

solucionados de forma prática e eficiente, permitindo o funcionamento adequado do destilador durante o experimento final, ocorrido no dia 23/08/2018, validando assim o protótipo desenvolvido.

O sistema de destilação solar proposto apresentou uma eficiência de aproximadamente 20%, e quando comparado a outros trabalhos da área (como foi mostrado na seção 4.3 deste trabalho), observou-se que essa é uma faixa de eficiência bastante positiva, devido principalmente ao grande número de perdas naturais do sistema, e também por possuir dimensões menores, e ser mais compacto em função da sua utilização ser portátil. Sugere-se para futuros trabalhos que o sistema seja ensaiado novamente sob as mesmas circunstâncias, onde a água destilada obtida seja submetida à ensaios visando classificar todos os parâmetros necessários para verificar a sua potabilidade.

Por fim, o destilador solar portátil de cobertura piramidal desenvolvido neste trabalho apresenta a união de fatores como portabilidade, praticidade de limpeza e manutenção, materiais de boa qualidade e um rendimento satisfatório. Podendo assim ser utilizado por toda região do interior potiguar, ajudando as pessoas a terem acesso a água de qualidade, e como consequência, acesso à condições melhores de qualidade de vida.

REFERÊNCIAS

- BEZERRA, Arnaldo Moura. Aplicações Térmicas da Energia Solar. 4. ed. João Pessoa: Ufpb, 2001.
- FARIA, E. V. et al. Desenvolvimento e construção de um destilador solar para dessalinização de água salgada em diferentes concentrações de sais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 38., 2015, São Carlos. Anais... . São Carlos: Enemp, 2015. p. 1 - 10.
- JORGE, Bruno Miguel Jacinto. Simulação de processos de destilação solar de água salgada. 2011. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011. Disponível em: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395143168489/Tese.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2018.
- LOPES, Joaquim Teixeira. Dimensionamento e Análise Térmica de um Dessalinizador Solar Híbrido. 2004. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Uec, Campinas, 2004.
- MALUF, Alexandre Prata. Destiladores solares no Brasil. 2005. 39 f. Monografia (Especialização) - Curso de Lato Sensu em Fontes Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- MARINHO, Francisco José Loureiro et al. Destilador solar destinado a fornecer água potável para as famílias de agricultores de base familiar. Revista Brasileira de Agroecologia, Campina Grande, v. 3, n. 7, p.53-60, 2012.
- OLIVEIRA, Paulo Vinícius de Souza. Desenvolvimento de um destilador solar portátil com aplicação em comunidades rurais no Rio Grande do Norte. 2018. 18f. TCC (Graduação) – Engenharia Elétrica, Ufersa, Mossoró, 2018.
- RIBEIRO, Santos et al. Destilador solar de cobertura piramidal e isolamento em material compósito a base de gesso e eps. in: congreso iberoamericano, 2008, Natal. Anais... . Galicia: M.vázquez, 2008. p. 1 - 6. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2754664>>. Acesso em: 24 ago. 2018.
- SÁ, Lidiane Freire de; JUCÁ, José Fernando Thomé; MOTTA SOBRINHO, Maurício A. da. Tratamento do lixiviado de aterro sanitário usando destilador solar. Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science. Taubaté, p. 204-217. out. 2012. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92823615016>>. Acesso em: 21 ago. 2018.
- SOARES, Clarissa. Tratamento de água unifamiliar através da destilação solar natural utilizando água salgada, salobra e doce contaminada. 2004. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Ufsc, Florianópolis, 2004.
- TEXEIRA, Joaquim Lopes. Dimensionamento e análise termica de um dessalinizador solar tipo bacia com cobertura assimétrica. 2013. 188 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

PORTABLE SOLAR DESALINATION SYSTEM FOR APPLICATION IN RURAL COMMUNITIES IN RIO GRANDE DO NORTE

Abstract. *Water scarcity become an increasingly chronic problem around the world, there is a need to produce water through desalination processes. Desalination or solar distillation is a simple and inexpensive process using the energy from the sun to produce good quality water. Thus, the present work aims to design and build a portable pyramidal solar distiller that combines efficiency and portability, to be used in places that have difficulty accessing drinking water, such as in rural areas of Rio Grande do Norte. For purposes of study and verification of the equipment operation, tests were performed where parameters were measured at different locations of the prototype. At the end of the tests, the behavior of the solar distiller was analyzed through the measured indicators, namely, ambient temperature; surface temperature of the cover; water vapor temperature; brackish water temperature; distilled water temperature and solar radiation, where it performed well, reaching an efficiency of approximately 20%, proving that the use of the system is viable.*

Key words: *Solar Distillation, Solar Energy, Brackish Water*