

Desenvolvimento de um destilador solar portátil com aplicação em comunidades rurais no Rio Grande do Norte

Paulo Vinícius De Souza Oliveira
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró, Brasil
Pauloviniccius012@gmail.com

Fabiana Karla De Oliveira Martins Varella Guerra
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró, Brasil
fkv@ufersa.edu.br

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%. Com relação à qualidade da água destilada pelo destilador solar, observou-se uma melhora significativa dos parâmetros estudados quando se comparada à água salobra, ou seja, água antes de ser destilada, comprovando que o uso do sistema é viável.

Palavras-chave – Destilação solar, energia solar, água salobra.

I. 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 [1].

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 [1].

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, os mesmos apresentam, em sua maioria, baixas vazões e altos níveis de salinidade na água extraída [2].

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, 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 [3].

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 [3]. 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, este artigo tem como objetivo projetar e confeccionar um destilador solar portátil para tratamento de água, com aplicação em comunidades rurais do Rio Grande do Norte, realizando juntamente a isso, ensaios empíricos buscando verificar diversos parâmetros, como a eficiência do protótipo desenvolvido, e por fim, a qualidade da água antes e após a dessalinização solar.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. Processo de destilação solar

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 [4].

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 [5].

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. Ao fim do processo, diversas substâncias nocivas à saúde são deixadas para trás, como excesso de sais, minerais, impurezas e microrganismos [5]. A Fig. 1 apresenta o esquema de funcionamento do destilador solar.

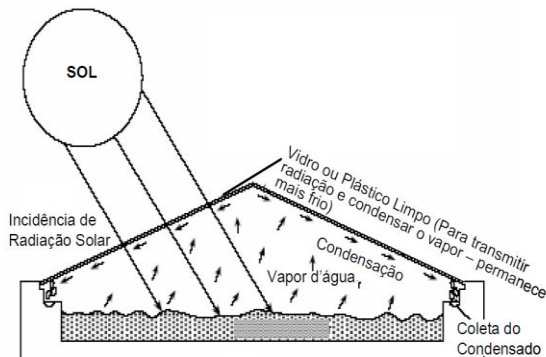


Fig. 1: Funcionamento de um destilador solar [4].

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.

B. Tipos de destiladores solares

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 [6].

Nos sistemas ativos, além do aproveitamento da radiação solar, é aplicada uma parcela extra de energia ao destilador, buscando acelerar o processo de evaporação [6]. 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 [7].

Já 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 [7]. 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 [8]. Outros modelos estudados são o com cobertura piramidal, cobertura hemisférica e bacia côncava.

1) Destilador solar convencional

O destilador convencional mais comumente utilizado, é caracterizado por possuir um formato retangular, ser composto por dois vitrais inclinados onde recebem a radiação solar e um reservatório de água salobra. O sistema de recolhimento da água destilada é composto por um controle

de nível e calhas que recebem e transportam o produto final, ou seja, a água destilada. A depender do tamanho do destilador, ele pode ser considerado como portátil (menor que 2m² de área) ou estacionário (maior que 2m² de área) [8]. A Fig. 2 apresenta o modelo de destilador convencional estacionário.



Fig. 2: Destilador solar convencional estacionário [9].

2) Destilador solar de múltiplo efeito

O destilador de múltiplo efeito é caracterizado por apresentar o teto com uma inclinação única e o interior dividido internamente em estágios. Geralmente o equipamento apresenta um número de estágios inferior a dez, onde cada compartimento é abastecido de água salobra e possui sua própria lâmina de vidro, trabalhando de forma independente, logo o efeito da destilação é multiplicado, aumentando assim a produtividade quando se comparado ao destilador convencional [8].

Toda a água salobra que passa pelos estágios e não é evaporada, é coletada por uma calha para retornar ao sistema, renovando assim o ciclo. Já a água destilada é coletada por outra calha, onde é levada para um recipiente externo [8]. A Fig. 3 mostra o modelo de destilador de múltiplo efeito.

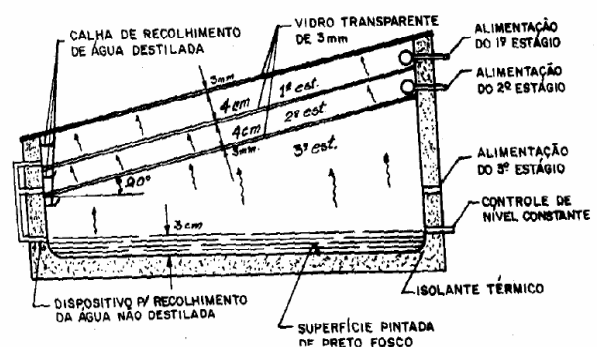


Fig. 3: Destilador solar de múltiplo efeito [9].

3) Destilador solar de mecha

De acordo com [8], o destilador de mecha no que se refere a construção interna, é semelhante ao destilador de múltiplo efeito, sua diferença fundamental está na maneira de como a água salobra é direcionada para ser destilada dentro do equipamento. No destilador em questão, o mecanismo que transporta a água salobra é conhecido como mecha, que consiste de um tecido poroso conectado à chapas metálicas e a um sistema de rolos tensores que são mergulhados no recipiente contendo água salobra.

facilita o escoamento da água destilada para o reservatório final. A Fig. 6 mostra um protótipo do destilador solar com cobertura piramidal.

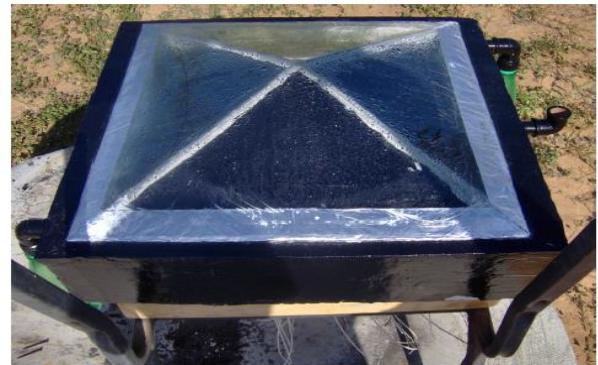


Fig. 4: Destilador solar do tipo mecha [9].

6) *Destilador solar com cobertura hemisférica*

Este tipo de destilador se destaca dos demais por possuir uma cobertura em formato hemisférico, juntamente com sua bacia em formato de funil. A Fig. 7 apresenta o destilador com cobertura hemisférica.



Fig. 5: Destilador solar de condensação separada [8].

7) *Destilador de bacia côncava*

Este tipo de destilador se caracteriza por possuir uma bacia em formato côncavo juntamente com um teto piramidal, que segundo [7] o formato do teto aumenta a área de captação e evaporação do sistema. O funcionamento do dispositivo é semelhante ao piramidal e ao convencional, se diferenciando apenas pelo formato da bacia. A Fig. 8 mostra o destilador solar de bacia côncava.

3

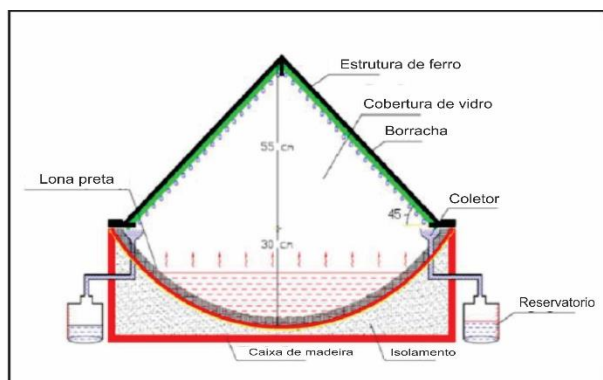


Fig. 8: Destilador solar de bacia côncava [7].

Além dos modelos citados anteriormente, diversos outros vem sendo estudados e criados com o objetivo de aumentar a eficiência e exposição aos raios solares, entre outros aspectos.

C. Componentes do destilador solar

Antes de elaborar o projeto de um destilador solar, é de fundamental importância conhecer e identificar os possíveis materiais que podem compor cada componente do sistema, visto que a escolha deles irá afetar diretamente na qualidade do projeto final e nos resultados obtidos nos ensaios a ele submetido. Dessa forma, deve-se escolher a matéria-prima mais adequada, visando atingir alguns parâmetros, tais como, a busca por uma maior eficiência, maior custo benefício, boa durabilidade e obtenção fácil na região de implementação.

1) Tanque

O tanque é o componente do destilador solar onde fica armazenada a água salobra, logo esse é um local onde será o foco da incidência dos raios solares. Por este motivo, o material a ser escolhido deve suportar temperaturas elevadas, ser à prova d'água, liso e pintado ou originalmente de cor escura para que possa absorver a maior radiação possível [12].

Outro fator que deve ser levado em consideração é a corrosão do material ao contato com a água salobra, com o tempo o material do tanque pode vir a rachar, danificando o sistema, algo que afeta diretamente na durabilidade do destilador. A Tabela 1 apresenta uma comparação entre alguns materiais a serem utilizados na construção do tanque.

Tabela 1: Comparativo de materiais para o tanque [12].

Tipo de material	Durabilidade	Custo	Disponibilidade local	Limpeza	Portabilidade	Toxicidade
Aço esmaltado	alta	alto	baixa	alta	média	baixa
Borracha EPDM	alta	alto	baixa	alta	alta	baixa
Borracha butil	alta	alto	baixa	alta	alta	baixa
Manta asfáltica	alta	médio	média	média	média	[N]
Cimento amianto	alta	médio	baixa	média	média	alta
Polietileno	média	baixo	baixa	média	alta	baixa
Concreto	média	baixo	alta	média	baixa	baixa
Madeira	baixa	[N]	[N]	média	média	baixa
Fibra de vidro	média	médio	baixa	alta	média	baixa

[N]: Não conhecido ou depende de condições locais

A profundidade da água inserida no tanque também se torna um fator importante a ser analisado, visto que para pequenos filamentos de água ele se secará rapidamente, criando um maior depósito de sal, diminuindo a eficiência do sistema. Quantidades de água salobra na faixa de 1,5 a 2,5 cm apresentam um maior rendimento, já profundidades maiores influenciam em uma maior evaporação noturna, quando a temperatura do ar exterior é menor [12].

2) Cobertura

A cobertura do destilador solar é o componente mais importante do sistema, pois é através dela que os raios solares irão passar para que ocorra todo o processo, além de manter o calor armazenado dentro do equipamento. Logo, segundo [12] a escolha do material a ser utilizado na cobertura é o limiar entre ter um rendimento elevado ou não.

O vidro temperado é considerado a melhor alternativa para a construção da cobertura, visto que ele apresenta resistência a altas temperaturas e que nele, ao invés de se ter pequenas gotas de água na condensação (prejudiciais ao sistema), se formam lâminas, aumentando a eficiência em cerca de 6% [12]. No entanto, o vidro temperado apresenta alto custo e o fato de que não se pode corta-lo depois de temperar, dificulta a sua implementação, logo, o vidro comum de 3 ou 4 mm se torna a opção mais viável, pois apresenta características semelhantes com um custo inferior [12].

Além do material utilizado, outro fator preponderante é o tipo de inclinação. Para uma cobertura de dupla inclinação, como é o caso da piramidal, quando são utilizadas em locais de baixa latitude como o nordeste brasileiro, apresentam um maior rendimento quando se comparada a cobertura de inclinação única [6].

De acordo com [9], para um destilador solar de dupla inclinação instalado no nordeste brasileiro, ao se utilizar 20° de inclinação nas estações mais quentes do ano e 45° nas estações mais frias, obteve-se os melhores níveis de eficiência do sistema.

3) Isolação

O isolamento térmico tem como objetivo evitar perdas de calor entre o tanque com água salobra e o ambiente, pois uma isolamento ruim pode causar queda de temperatura da água e consequentemente diminuição na eficiência do sistema, logo deve ser pensada e elaborada com cuidado.

Em tanques pequenos, como o desenvolvido no trabalho em questão, o uso de isolamento pode aumentar em até 14% o rendimento, sendo ela inserida por baixo e nas laterais do recipiente de água salobra. Quanto aos materiais, variam de acordo com o tamanho do sistema, sendo utilizados materiais isolantes como isopor para destiladores pequenos, até o próprio solo em equipamentos mais robustos feitos de alvenaria sobre a terra [12].

4) Vedação

A vedação é responsável por fixar o vidro utilizado ao restante da estrutura, suportar altas temperaturas e conseguir manter o calor dentro da estrutura, além de não influenciar no sabor da água destilada. Dos materiais de vedação, o mais adotado e de melhor eficiência é o silicone [12].

D. 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. 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%) [12].

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 [10]. 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.

E. Padrões de Potabilidade da Água

Os padrões de potabilidade da água no Brasil, são regidos pela portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde juntamente com a Resolução nº 357 de 17 de março de 2005 do CONAMA. A partir dessas duas normativas se estabelecem os valores máximos possíveis das características físicas, organolépticas¹ químicas e bacteriológicas da água potável.

Segundo [13], água potável é aquela própria para o consumo humano, em que os parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos estejam conforme o padrão de potabilidade nacional, não oferecendo assim riscos à saúde.

Com relação aos parâmetros de aceitação para o consumo humano, a água potável não deve possuir gosto e odor, e conter cor e turbidez dentro dos limites aceitáveis. Os parâmetros químicos estabelecem que a água não deve possuir substâncias nocivas ou tóxicas além dos limites pré-estabelecidos [4].

Para os parâmetros biológicos, a água não deve conter microrganismos patogênicos, e com relação a radiação, não pode ultrapassar os valores de referência para o padrão de potabilidade [4].

III. METODOLOGIA

A. 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.

1) Tanque

O tanque do destilador solar, onde foi depositada a água salobra, foi construído de vidro comum de 4 mm de espessura, visto que o vidro apresenta bom comportamento térmico, resistência a 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 térmico e revestimento, que será mostrado posteriormente. A Fig. 9 apresenta o reservatório do destilador construído.

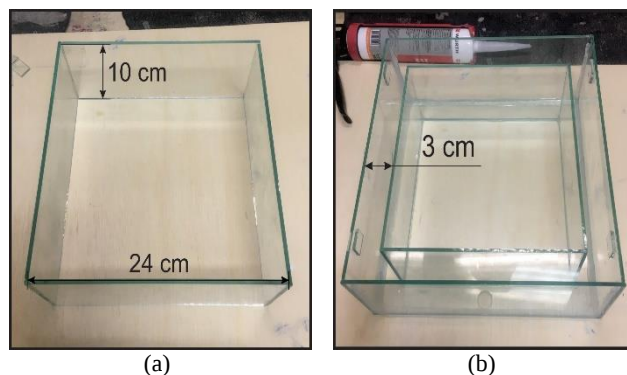


Fig. 9: Reservatório: (a) Individualmente (b) Inserido no destilador (Autoria própria).

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. Levando em consideração que o destilador solar será utilizado na região Nordeste, para uma estrutura de cobertura do tipo piramidal, o ângulo em que ocorre a maior otimização do projeto é 25°, e nesse ângulo o escoamento acontece de maneira igual nas quatro faces do vidro, além de proporcionar economia de material [4].

¹ Propriedades organolépticas são definidas como as características particulares dos materiais que são percebidas pelos cinco sentidos humanos [13].

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. 10 exibe uma ilustração da estrutura piramidal em corte.

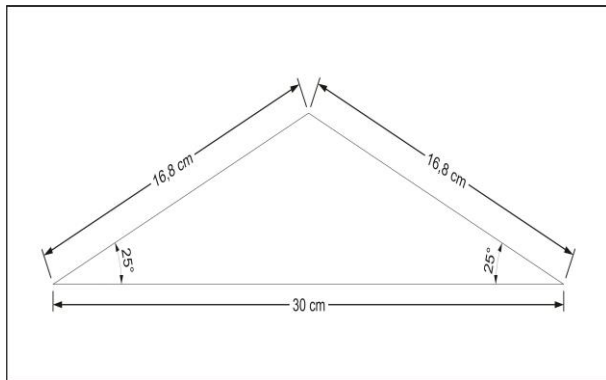


Fig. 10: Estrutura piramidal em corte (Autoria própria).

Após o projeto, foi possível construir a cobertura piramidal. A Fig. 11 apresenta a cobertura piramidal construída.

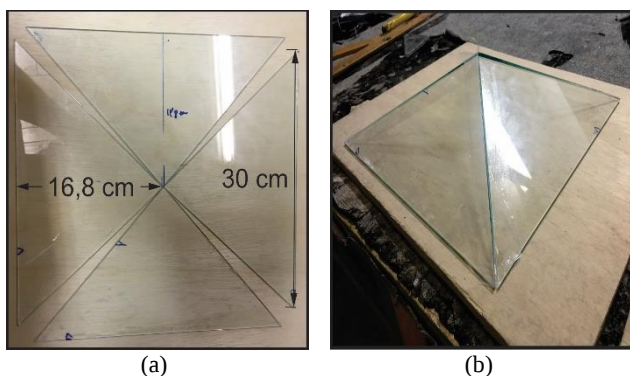


Fig. 11: Cobertura piramidal: (a) Módulos (b) Estrutura construída (Autoria própria).

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 [10].

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. 12 expõe o sistema de isolamento térmica construído.

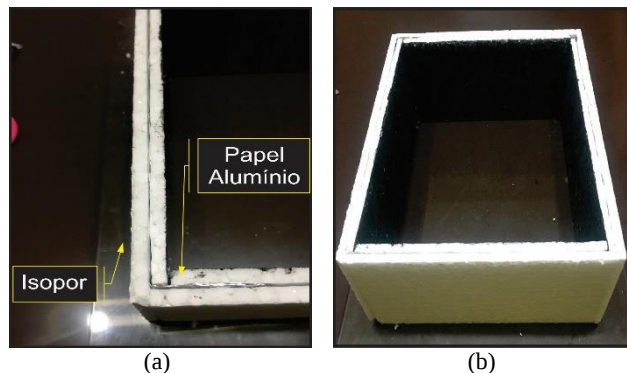


Fig. 12: Sistema de isolamento: (a) Detalhe das camadas (b) Isolação Construída (Autoria própria).

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.

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. 13 expõe o sistema de escoamento do destilador solar piramidal.

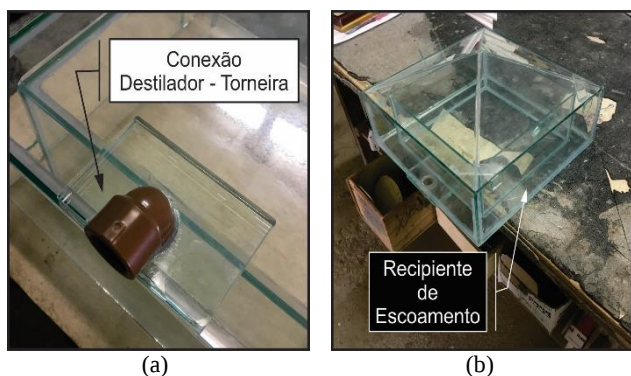


Fig. 13: Sistema de escoamento: (a) Detalhe da conexão (b) Recipiente de escoamento (Autoria própria).

B. 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 [11].

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. 14 apresenta o destilador solar construído.

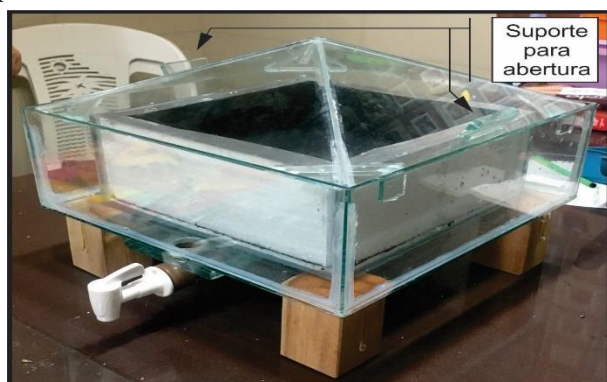


Fig. 14: Destilador solar construído (Autoria própria).

C. Local de estudo

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.

D. Metodologia dos ensaios

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, e pelo Laboratório de Química, ambos na UFERSA.

E. Procedimento de coleta de dados

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 utilizado para realizar as medições que serão consideradas nos resultados.

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.

F. 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.

Uma maneira de verificar o rendimento do sistema, é a partir da Equação 1 [10].

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

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).

G. Parâmetros para análise da água

A eficiência do sistema também está relacionada a qualidade da água destilada, visto que essa é a real finalidade do destilador solar. Dessa forma, tanto a água salobra como a destilada foram submetidas a testes para verificar alguns parâmetros físico-químicos que são importantes segundo a legislação de potabilidade da água citada anteriormente.

Os parâmetros físico-químicos analisados foram a turbidez; pH; condutividade; potássio (K^+); sódio (Na^+); cálcio (Ca^{2+}); magnésio (Mg^{2+}); cloreto (Cl^-); carbonato (CO_3^{2-}); bicarbonato (HCO_3^{2-}) e dureza. Além desses, foram avaliados ainda o gosto e o odor das amostras.

A análise ocorreu nos laboratórios de saneamento e no de solos e nutrição de plantas, ambos na UFERSA, sendo supervisionado ou realizado juntamente com um técnico responsável. A Tabela 2 apresenta os parâmetros físico-químicos analisados juntamente com o método utilizado.

Tabela 2: Parâmetros físico-químico analisados e equipamentos utilizados (Autoria própria).

Parâmetro	Método/Equipamento
Turbidez (uT)	Turbidímetro HI98703
pH	Phametro HQ440d
Condutividade (uS/cm)	Condutivímetro HQ40d
Gosto	Empírico
Odor	Empírico
Potássio (mmol _c /L)	Fotômetro de chama
Sódio (mmol _c /L)	Fotômetro de chama
Cálcio (mmol _c /L)	Titulação da solução EDTA
Magnésio (mmol _c /L)	Titulação da solução tampão
Cloreto (mmol _c /L)	Titulação da solução AgNO ₃
Carbonato (mmol _c /L)	Titulação da fenolftaleína
Bicarbonato (mmol _c /L)	Método da titulação
Dureza (mg/L)	Análise dos resultados anteriores

IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A. 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. 15 apresenta um comparativo do sistema com e sem a vedação, ou seja, com e sem o reparo.

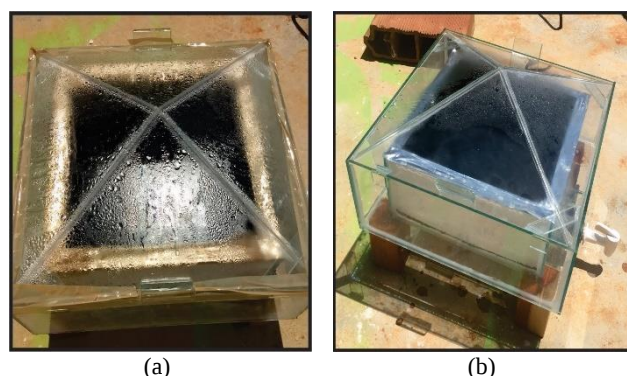


Fig. 15: Destilador solar: (a) Com a vedação (b) Sem a vedação (Autoria própria).

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. 16 apresenta o destilador após a realização dos reparos.



Fig. 16: Destilador solar ajustado (Autoria própria).

B. Estudo dos parâmetros

1) Temperatura do ambiente

O Gráfico 1 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.

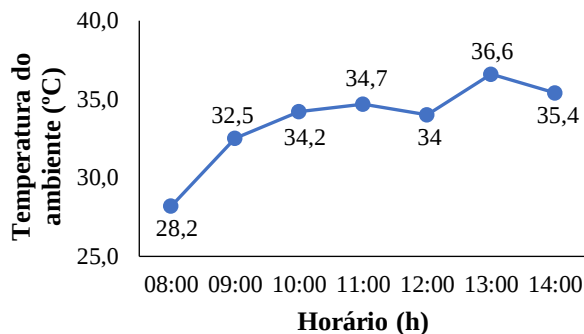


Gráfico 1: Temperatura do ambiente durante o dia de ensaio (Autoria própria).

Com o estudo dos valores obtidos através da medição, percebeu-se que durante o ensaio a temperatura do ambiente estava favorável ao experimento, apresentando valores acima da média de 31 °C da região nordeste [14]. 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.

2) Temperatura na superfície da cobertura

Os valores obtidos de temperatura na superfície da cobertura podem ser observados no Gráfico 2.

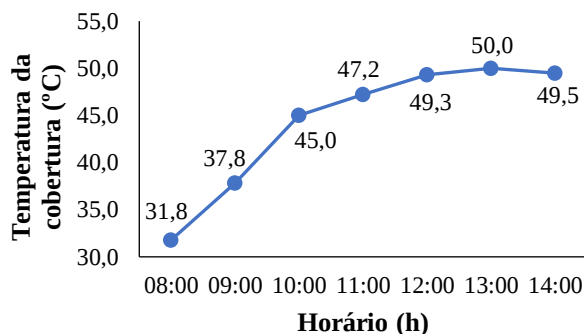


Gráfico 2: Temperatura da cobertura piramidal durante o dia de ensaio (Autoria própria).

Ao se analisar os valores exibidos pelo Gráfico 2, 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 44,37 °C, o que é satisfatório, pois comprova a eficiência do sistema em captar a energia solar.

3) 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. O Gráfico 3 apresenta os valores de radiação solar durante o dia de ensaio.

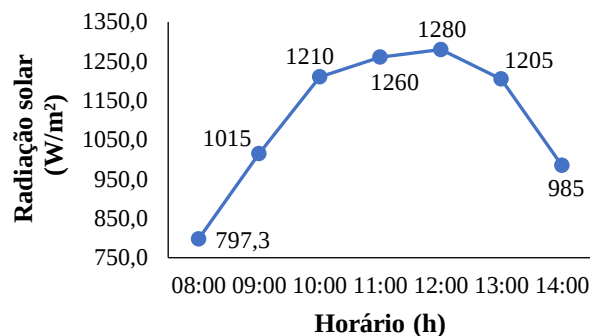


Gráfico 3: Radiação solar incidente no destilador durante o dia de ensaio (Autoria própria).

Através do Gráfico 3, 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) Temperatura do vapor de água

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. O Gráfico 4 exibe os valores de temperatura do vapor de água no interior do destilador.

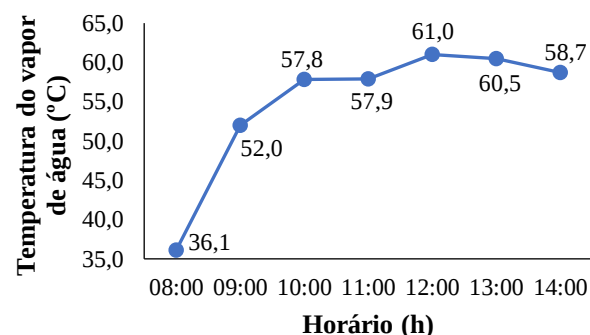


Gráfico 4: Temperatura do vapor de água durante o dia de ensaio (Autoria própria).

A partir dos valores mostrados no Gráfico 4, 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 [10] instalou-se o destilador no mesmo local, obtendo ao final uma média para esse parâmetro de 51 °C.

5) Temperatura da água salobra

O Gráfico 5 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.

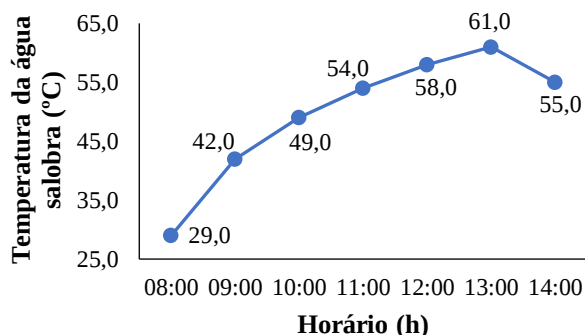


Gráfico 5: Temperatura da água salobra durante o dia de ensaio (Autoria própria).

Ao se analisar os valores obtidos no Gráfico 5, 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.

6) Temperatura da água destilada

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. O Gráfico 6 mostra o comportamento da temperatura da água destilada no dia do experimento.

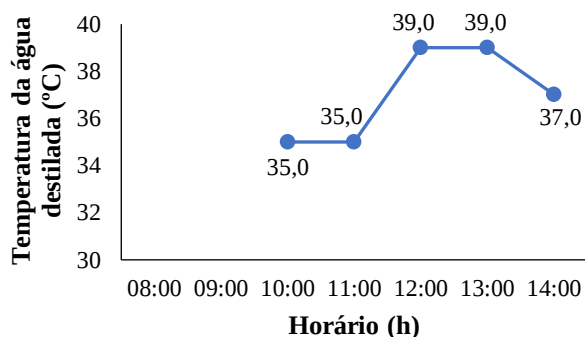


Gráfico 6: Temperatura da água destilada durante o dia de ensaio (Autoria própria).

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 (vide Gráfico 5).

C. Rendimento

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 [10]. Um 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 fim de ser realizada uma medição justa, foram desconsideradas gotículas de água que estavam condensadas na cobertura piramidal no momento da abertura do destilador solar, além de poucas gotas que não chegaram a escorrer pelo sistema de escoamento.

D. Eficiência

A eficiência do destilador solar pode ser calculada a partir da Equação 1 apresentada na metodologia (seção III 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 Equação 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, trata-se de 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% [3].

Outro projeto tomado como base foi construído no mesmo local em que o sistema proposto neste trabalho, ou seja, na Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O destilador 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% [10].

Comparando a eficiência encontrada aos 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 [10], 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.

E. Análise de custos

Para um projeto se tornar viável, além de um bom projeto, também deve apresentar uma boa relação custo benefício, de forma que seja acessível ao consumidor.

Para o projeto em questão foram selecionadas as matérias-primas que obedecessem justamente a essa relação, unindo boa qualidade com custo razoavelmente baixo, lembrando aqui que a ideia desse trabalho é o desenvolvimento de um destilador solar portátil, ou seja, que possa ser levado com o usuário residente em áreas rurais para qualquer lugar, garantido ao mesmo o acesso à água potável. A Tabela 3 mostra os custos detalhados de cada material utilizado no projeto.

Tabela 3: Detalhamento dos custos envolvidos na construção do destilador solar (Autoria própria).

Descrição	Custo (R\$)
Vidro comum (4 mm)	45,00
Folha de isopor (6 mm)	2,00
Lona preta (1 m ²)	5,50
Silicone	18,00
Joelho PVC	1,00
Torneira de plástico	5,50
Pés de madeira	Doação
Papel alumínio	Doação
Custo total	77,00

Ao se analisar a Tabela 3, é possível verificar que 81,8% do custo total envolvido foi com 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.

Outro fato a se observar, é que como os materiais escolhidos foram de boa qualidade, pelos motivos anteriormente expostos, o destilador solar poderá ter uma vida útil expandida, necessitando apenas de manutenção periódica na vedação e isolamento, que representam apenas 7,5% do custo total.

F. Estudo da potabilidade da água

Além de projetar, confeccionar, ensaiar o destilador solar e verificar sua eficiência, o presente trabalho também teve como foco verificar a potabilidade da água destilada pelo sistema proposto. Desta forma, a Tabela 4 apresenta um comparativo entre a água salobra e a água destilada com relação aos parâmetros de potabilidade mencionados na seção III. Além disso, também são apresentados os valores máximos permitidos pela legislação atual.

Tabela 4: Características da água salobra e destilada.

Parâmetro de controle	Água salobra	Água destilada	VMP* (Portaria nº 2.914/2011)
Turbidez (uT)	2,79	3,6	5,0
pH	7,69	6,79	6,0 – 9,5
Gosto	Levemente salgado	Ausência de gosto	Ausência de gosto
Odor	Levemente salobra	Ausência de odor	Ausência de odor
Condutividade (uS/cm)	5,46	6,22	-
Potássio (mmol _c /L)	0,78	0,10	-
Sódio (mmol _c /L)	21,65	2,17	0,12
Cálcio (mmol _c /L)	22,30	0,73	-
Magnésio (mmol _c /L)	19,70	0,77	-
Cloreto (mmol _c /L)	31,60	1,80	250
Carbonato (mmol _c /L)	0,20	Ausência	-
Bicarbonato (mmol _c /L)	5,20	0,80	-
Dureza (mg/L)	2100	75	500

* VMP: Valor Máximo Permitido.

Ao analisar os dados da Tabela 4, é notória a diferença dos parâmetros da água antes e após ser dessalinizada no destilador solar. Quando se tratam dos valores dos elementos químicos contidos nas amostras, todos obtiveram uma redução acima de 80% no produto final, tais parâmetros influenciam diretamente na dureza, onde se obteve uma redução significativa de 96,43%, permitindo que a água coletada do destilador seja potável nesse quesito. Além disso, a água destilada não apresentou gosto e nem odor, tornando-a atrativa ao consumo humano.

Embora tenha se obtido uma redução de 90 % de sódio no produto final, ainda não foi possível alcançar o valor padrão organoléptico de potabilidade de 0,12 mmol_c/L que a norma indica, no entanto, a redução obtida foi elevada e o fato de ainda não chegar nos valores requeridos não torna o sistema inválido.

V. 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 através de maneiras práticas e eficientes, permitindo o funcionamento adequado do destilador durante o experimento final, ocorrido no dia 23/08/2018.

O sistema de destilação solar proposto apresentou uma eficiência de aproximadamente 20%, e quando comparado a outros trabalhos da área, 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.

Com relação a análise da água destilada obtida no experimento, houve melhora em todos os quesitos estudados com relação a água salobra, chegando a obedecer a diversos parâmetros de potabilidade regidos pela legislação. No entanto, como existe uma quantidade elevada de outros critérios a serem obedecidos, que não foram possíveis de serem realizados no presente trabalho, mesmo com uma melhora significativa não é correto afirmar que a água vinda do destilador solar é potável, porém se mostrou bastante atrativo. Desta forma, sugere-se para futuros trabalhos que o sistema seja ensaiado novamente sob as mesmas circunstâncias, onde possa a água destilada obtida pelo mesmo ser submetida a tantos outros 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 a condições melhores de qualidade de vida.

REFERÊNCIAS

- [1] LOPES, Joaquim Teixeira. Dimensionamento e Análise Térmica de um Dessalinizador Solar Híbrido. 2004. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Uec, Campinas, 2004.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] JORGE, Bruno Miguel Jacinto. Simulação de processos de destilação solar de água salgad. 2011. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnica de Lisboa, Lisboa, 2011. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395143168489/Tese.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2018.
- [7] TEXEIRA, Joaquim Lopes. Dimensionamento e análise térmica de um dessalinizador solar tipo bacia com cobertura assimétrica. 2013. 188 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.
- [8] BEZERRA, Arnaldo Moura. Aplicações Térmicas da Energia Solar. 4. ed. João Pessoa: Ufpb, 2001.
- [9] BEZERRA, Magna Angélica dos Santos. Desenvolvimento de um destilador solar para tratamento de águas de produção de petróleo com vistas a sua utilização na agricultura e geração de vapor. 2004. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Ufrn, Natal, 2004. Disponível em: <http://www.nupeg.ufrn.br/documentos_finais/dissertacoes_de_mestrado/dissertacoes/magna.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2018.
- [10] SILVEIRA, Maria Teresa Targino Macedo. Análise da aplicabilidade e desempenho térmico de um destilador solar em mossoró-rn. 2014. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Ufersa, Mossoró, 2014.
- [11] RIBEIRO, Santos et al. Destilador solar de cobertura piramidal e isolamento em material compósito a base de gesso e eps. in: congresso 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.
- [12] 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.
- [13] MINISTÉRIO DA SAÚDE. Constituição (2011). Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. . Brasília, Disponível em: <http://bvms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 25 ago. 2018.
- [14] TODA MATÉRIA. Clima na região nordeste. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/clima-da-regiao-nordeste/>. Acesso em: 31 ago. 2018.



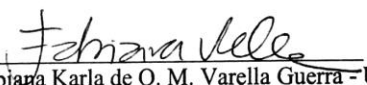
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA
CENTRO DE ENGENHARIAS

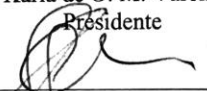
ATA DA DEFESA DE MONOGRAFIA

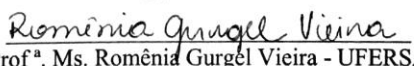
Às **15:50h** do dia 04 de setembro de 2018, no Laboratório de Energias Renováveis (LENERG), Campus Leste da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, sede em Mossoró/RN, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de monografia de autoria do aluno **Paulo Vinícius de Souza Oliveira**, aluno do curso de Engenharia Elétrica desta Instituição, com o título “Desenvolvimento de um destilador solar portátil com aplicação em comunidades rurais no Rio Grande do Norte”. A banca examinadora ficou assim constituída: Prof^a. Dr^a. Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra, presidente da banca e orientadora da monografia; Prof. Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior e Prof^a. Ms. Romênia Gurgel Vieira, como membros. Foram registradas as seguintes ocorrências: o aluno apresentou o trabalho e houve arguição por parte dos membros da banca. As sugestões de alterações textuais foram entregues ao aluno que se comprometeu em fazê-las na sua totalidade. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, em reunião fechada, tendo o aluno obtido as seguintes notas: 10,0; 10,0; 10,0. Apuradas as notas, verificou-se que o aluno foi **APROVADO** com média geral 10,0 fazendo jus, portanto, ao título de Engenheiro Eletricista. Para constar, eu, Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, 04 de Setembro de 2018.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.


Prof^a. Dr^a. Fabiana Karla de O. M. Varella Guerra - UFERSA
Presidente


Prof. Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior - UFERSA
Primeiro Membro


Prof^a. Ms. Romênia Gurgel Vieira - UFERSA
Segundo Membro

Av. Francisco Mota, 572 – Bairro Pres. Costa e Silva – Caixa Postal 137
CEP 59625-900 – Mossoró – RN – (84) 3315-1769 – Fax (84) 3315-1778
www.ufersa.edu.br