

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

RESULTADOS INICIAIS DE TESTES DE LONGO PRAZO DE DESSALINIZADOR TÉRMICO ACOPLADO A UM FOGÃO SOLAR COM AQUECIMENTO INDIRETO

Eliezer Batista da Costa Neto, eliezercostta@hotmail.com¹
Rafael Herculano, rafaelherculano.eng@gmail.com¹
Maria Eugênia Vieira da Silva, eugenia@ufc.br¹
Klemens Schwarzer, prof.kschwarzer@t-online.de²
Paulo Alexandre Costa Rocha, paulo.rocha@ufc.br¹
José Davi Rodrigues Silva, davirodrigues1339@hotmail.com¹
Kaio Hemerson Dutra, kaiohdutra@hotmail.com¹
Diego Caitano de Pinho, diegopynho@gmail.com¹

¹Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, bloco 714 - Pici, Fortaleza, Brasil,

²IBEU, Alemanha,

Resumo: Um grande problema que vem atingindo muitas regiões do planeta, principalmente aquelas que estão sob condições ambientais desérticas, é a falta de água. Por esse motivo, atualmente, já existem técnicas de tornar a água salobra em potável, tal como o processo da destilação. Com esse intuito, foi desenvolvido pelo LESGN-UFC (Laboratório de Energia Solar e Gás Natural da Universidade Federal do Ceará) uma unidade de dessalinização circular que funciona como um acessório para um sistema de fogão solar de aquecimento indireto já construído anteriormente. A premissa do seu funcionamento é utilizar uma das placas do fogão já citado como um meio de insumo energético para o processo de dessalinização. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é analisar estatisticamente, e a longo prazo, como o sistema se comporta quando testado sob diversas condições, implementando várias configurações de funcionamento, a fim de determinar qual é seu arranjo de operação mais eficiente. Foram utilizadas variáveis, tais como: a quantidade de isolamento nos estágios de dessalinização, a utilização ou não de refletor, e a utilização ou não de uma placa adjacente funcionando em paralelo ao processo de dessalinização, que ocorre na outra placa do mesmo fogão.

A metodologia utilizada para avaliar a qualidade do processo de dessalinização foi a mensuração do volume de água potável produzida, junto com uma análise de condutividade das amostras, além da utilização de um sistema de aquisição de dados para coleta e armazenamento de valores de temperatura e radiação, a fim de se fazer uma análise de eficiências, tanto do sistema em geral como de cada estágio de dessalinização por si só. Os resultados apontam que o uso de refletor, juntamente com a utilização de isolamento até o 2º estágio, promovem uma maior eficiência do aparato, produzindo uma maior quantidade de água dessalinizada. O melhor resultado até então em relação à produção, foi a dessalinização de 7540ml em uma dia, atingindo nesta ocasião parâmetros de: 155,20 ml/MJ, COP igual a 2,23, GOR com valor de 1,08 e eficiência global do sistema de 36,10%. Outro ponto importante a ressaltar é que a faixa de valores para a condutividade das amostras fica em média de 1 a 15 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$.

As perspectivas futuras são de continuar aumentando a quantidade de isolamento nos testes e estudar como se comporta o sistema dividindo a carga térmica do coletor para as duas placas. Além disso, também deverá haver o desenvolvimento de um sistema de reabastecimento de água na torre de dessalinização, a fim de tornar o processo menos intermitente.

Palavras-chave: Energia Solar, Fogão Solar, Aquecimento Indireto, Dessalinizador.

1. INTRODUÇÃO

Um grande problema que vem assolando a muitos, principalmente famílias atingidas por efeitos da seca ou por condições ambientais naturalmente desérticas, é a falta de água potável. Muitos desastres e distúrbios climáticos tanto por causas naturais quanto por consequência de ações antrópicas têm tornado esse bem, tão essencial à vida, cada vez mais escasso.

Por esse motivo, atualmente, já existem técnicas de tornar a água salobra em potável, tal como o processo da destilação, técnica antiga e que já faz parte do nosso conhecimento sobre o ciclo natural da água. Uma das vantagens desse processo é que para seu funcionamento não se faz necessário níveis de temperatura demasiadamente altos, logo, o insumo energético também não precisa ter uma ordem de grandeza muito elevada, podendo facilmente ser suprido por energia solar térmica, que é uma fonte limpa, virtualmente inesgotável, gratuita e abundante em boa parte do planeta.

Estudos com fins acadêmicos tiveram como principal temática a escassez hídrica e energética. O LESGN-UFC (Laboratório de Energia Solar e Gás Natural da Universidade Federal do Ceará) foi o berço de vários projetos dentre os quais estão um fogão solar (Schwarzer e Vieira, 2008) e o desenvolvimento de um sistema dessalinizador circular adjunto (Costa, 2013), o qual funciona a partir de uma das placas do mesmo fogão servindo de fonte de calor para o processo de dessalinização.

O presente trabalho está envolvido com o aperfeiçoamento do sistema de dessalinização circular já citado, um novo protótipo de panela foi desenvolvido (Herculano, 2015). Houve acompanhamento nos processos de criação, fabricação e instalação desse novo componente. O foco foi a continuação do estudo sobre o sistema, fazendo análises sobre como acessórios, sendo entre eles, refletor e isolamento, afetam o desempenho do aparato desenvolvido.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Existem muitos elementos que compõem o sistema fogão-dessalinizador. Além de tubulações de interligação de componentes, porções de isolamento e algumas partes estruturais de fixação e apoio, existem três unidades construtivas que merecem maior destaque e que serão mais detalhadas abaixo:

2.1. Coletor Solar Plano

O coletor solar plano apresentado na Fig.1, basicamente é a parte do sistema que capta a energia necessária para acionar os ciclos de troca de calor. Ele é responsável por transformar a energia luminosa proveniente do sol em uma carga térmica. Ele é composto por três unidades principais: cobertura transparente, absorvedor e suporte.

O absorvedor é composto por uma tubulação de cobre em forma de grade: tubos ascendentes aletados com placas finas são distribuídos ao longo da área do coletor sendo por sua vez unidos a outras tubulações em formato de flauta, por conta da quantidade de furos que recebem para realizar as conexões, uma fica na parte de cima e a outra na parte inferior do componente. A superfície absorvedora fica na face superior da aleta, ela é composta por uma fina camada de tinta, cuja a absorvidade é muito alta e a refletividade é muito baixa, que recobre totalmente a área da peça. O suporte é a estrutura que sustenta e isola termicamente, por baixo e pelas laterais, as tubulações evitando perdas por condução. O vidro que compõe a cobertura transparente tem alta transmitância, assim como baixa refletividade, e fica acima da grade, fechando e isolando o sistema do ambiente ao redor, evitando perdas por convecção e radiação, criando um efeito estufa dentro do coletor.

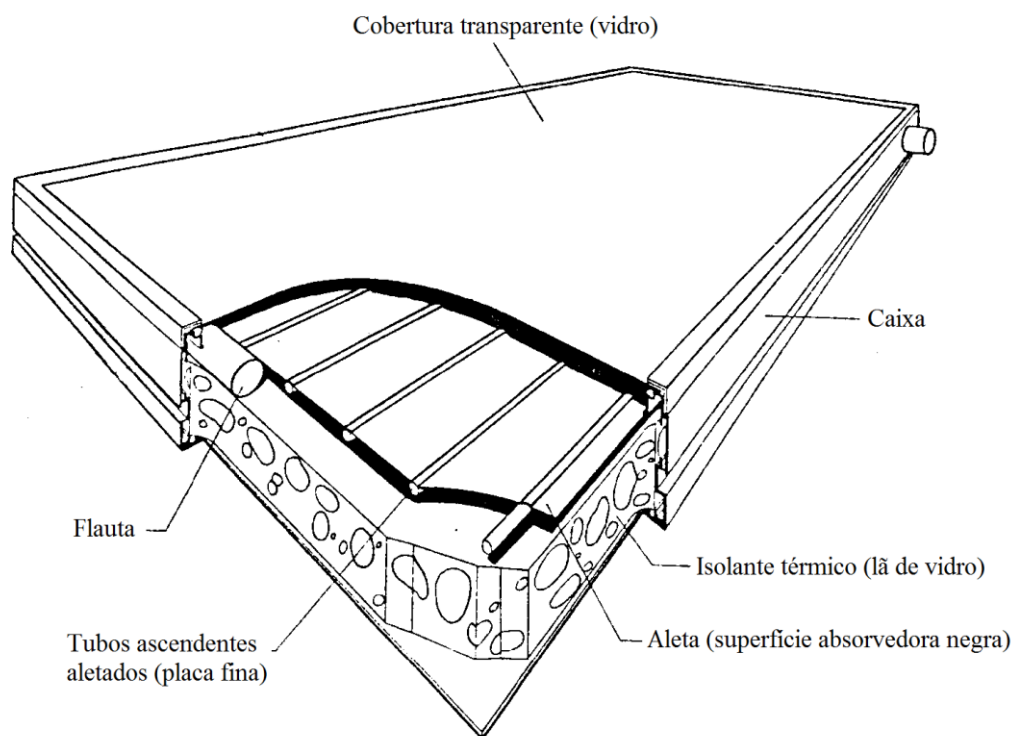


Figura 1. Ilustração apontando quais são os componentes de um coletor solar plano (Norton, 1991).

Um fato a se ressaltar sobre como o coletor funciona é a circulação do fluido de trabalho por dentro das tubulações. Esta pode ser do tipo forçada, elevando a pressão a partir de uma bomba, ou pode ser do tipo que funciona a partir do efeito de termossifão, o projeto apresentado nesse texto utiliza esse tipo de operação: as partes mais aquecidas do fluido têm sua massa específica reduzida e por empuxo sobem para a parte superior do coletor. As partes menos aquecidas, ou seja, em grande parte o volume de fluido que já cedeu calor para os outros componentes do sistema, tem uma densidade maior e por conta da atração gravitacional desce.

Combinando e fazendo um rearranjo da equação de perda de carga em um escoamento laminar viscoso incompressível nas tubulações (Sissom e Pitts, 1972) com a equação do aumento de pressão por empuxo, adquire-se uma expressão para determinação do fluxo de massa no coletor (Costa, 2012), ela é demonstrada pela Eq. (1).

$$(\dot{m}) = \frac{(\rho_2 - \rho_1) \cdot g \cdot \Delta X_G \cdot \pi \cdot \bar{\rho} \cdot D^4}{128 \cdot \Delta X_F \cdot \mu} \quad (1)$$

Onde ΔX_G (m) é relativo à diferença de nível entre a entrada e saída do coletor, respectivamente pontos 1 e 2, g (m/s²) é o valor da aceleração da gravidade no local do experimento, ρ (kg/m³) é a massa específica do fluido em cada ponto ($\bar{\rho}$ é a média desses dois valores), ΔX_F (m) é o valor do comprimento da tubulação que o fluido de trabalho tem que percorrer dentro do coletor para completar um ciclo, D (m) é diâmetro da tubulação e μ (kg/m.s) é a viscosidade absoluta média do fluido naquele instante.

A mensuração do fluxo de massa será de fundamental importância para o cálculo das trocas térmicas.

2.2. Painel e torre de dessalinização

A panela nada mais é do que um trocador de calor. Ela funciona analogamente como um tanque para o processo de dessalinização que irá ocorrer na torre acima dela. O calor Q_C vem do fluido do coletor que escoar dentro da cavidade da panela. Ela trabalha de maneira bem parecida com um trocador de tubo duplo, ela tem parede dupla, o fluido de trabalho, no caso óleo DowTherm A, chega bem quente na conexão de entrada e fica em contato com todas as paredes desse volume de controle, passando calor para a água que está do outro lado da parede mais interna. Veja a Fig. 2 para melhor entendimento:

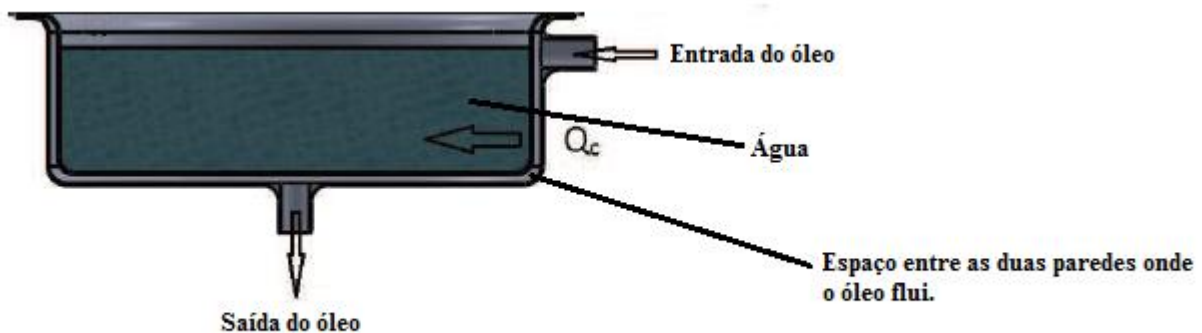


Figura 2. Ilustração mostrando como funciona a troca de calor (Costa, 2013).

Já a torre é composta por três estágios de dessalinização, estes ficam conectados verticalmente. A vista em perfil do primeiro estágio atrelado a panela pode ser observada juntamente com algumas fotos do acoplamento da torre na Fig. 3. Além da panela, nas faces superiores das superfícies cônicas existe uma certa quantidade de água, que além de ser dessalinizada irá servir para troca de calor.

O processo de dessalinização ocorre a partir do momento que o fluxo de calor do óleo para a panela está intenso, de modo que a água presente ali adquira alta pressão de vapor dentro daquele volume de controle, este delimitado pela panela, pelas paredes laterais do estágio 1 e pela sua superfície de baixo, que é cônica. O vapor ao entrar em contato com a chapa de aço que forma a parte de baixo do primeiro estágio, esta que divide aquele meio gasoso da água líquida que está acima, cede calor para a mesma e condensa. Como a superfície é inclinada, a gotícula ali formada escorre e cai em um ponto estratégico para ser coletada, o cachimbo. Esse mesmo efeito de condensação ocorre nas paredes laterais, pois o ar ambiente que circunda o sistema rouba calor, as gotículas neste caso escorrem para uma calha lateral existente.

O processo se repete com os estágios acima. Por exemplo, a água que fica no primeiro estágio, aquece com a energia cedida pelo vapor que condensou anteriormente, assim evapora e repete o processo de condensação cedendo calor para a água que está no estágio 2 e assim sucessivamente. Essa troca térmica em cadeia se chama recuperação de calor.

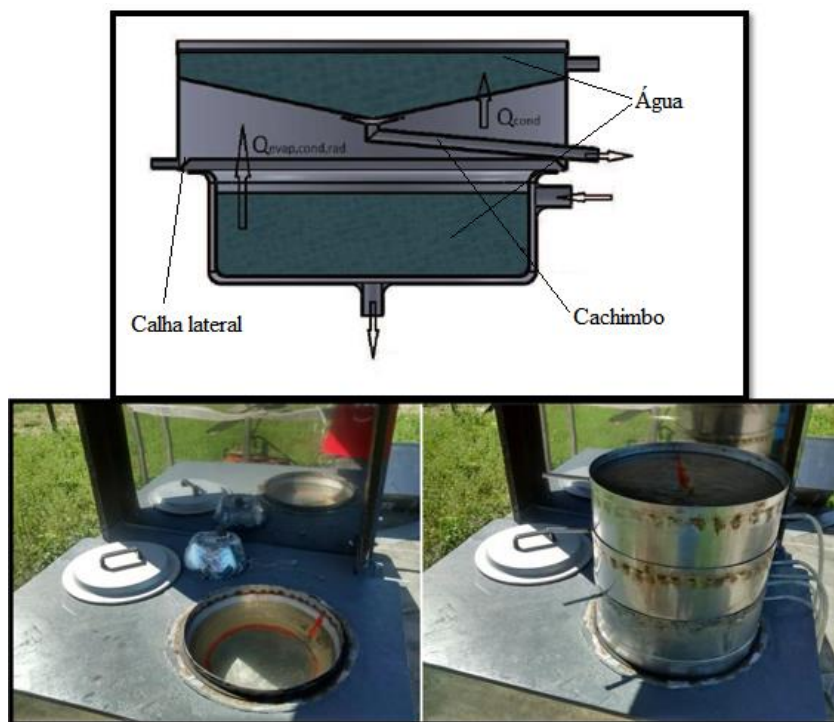


Figura 3. Ilustração demonstrando o encaixe da panela com a torre (imagem adaptada de Costa, 2013; e de Herculano, 2015).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este tópico apresenta os materiais e a metodologia utilizada nos experimentos com o sistema fogão-dessalinizador circular, juntamente com o modo que foram feitas as análises matemáticas e estatísticas.

3.1. Sistema de aquisição de dados

Nesse estudo foram utilizados um coletor de dados RDXL12SD da OMEGA, que permite a conexão e leitura de até 12 canais de temperatura. Ele lê dados de termopares tipo K, com fios de Cromo e Alumel, uma liga de Níquel e Alumínio. As temperaturas eram lidas e coletadas a cada 2 minutos.

Além disso, foi utilizada a estrutura de coleta de dados de radiação do LESGN para conseguir mensurar a quantidade de energia que o sistema acumulou ao longo de cada teste. Utilizou-se piranômetros para medir a radiação global e difusa, este utiliza um anel metálico em volta para impedir a passagem da radiação direta.

Medidas de condutividade foram alcançadas submetendo amostras de água dessalinizada à um outro equipamento da OMEGA, um condutivímetro CDB-70. Este aparelho possui cinco escalas de medição: $20\mu\text{S}/\text{cm}^2$, $200\mu\text{S}/\text{cm}^2$, $2000\mu\text{S}/\text{cm}^2$, $20\text{mS}/\text{cm}^2$ e $200\text{mS}/\text{cm}^2$. A condutividade elétrica sofre alterações com a temperatura. As amostras de água dessalinizada foram realizadas após entrarem em equilíbrio térmico com o ambiente.



Figura 4. Fotos dos equipamentos de medição utilizados nos testes. É mostrado na esquerda o datalogger e na direita os mensuradores de radiação. Fonte: próprio autor.

3.2. Acessórios

O conjunto de acessórios utilizados no procedimento de realização dos experimentos foi: 1 refletor para aumentar a incidência luminosa sobre o coletor, ele foi feito de chapa de aço inoxidável espelhada, e é colocado com angulação de 90° em relação ao plano do coletor; 3 isolamentos para as laterais dos estágios para evitar perdas para o ar ambiente, a quantidade deles que era utilizada dependia da natureza do experimento, foram feitos de manta de lã de vidro introduzida em um tecido preto costurado em forma de bolsa que era aberto na ponta para se colocar o material isolante dentro.



Figura 5. As fotos mostram o sistema montado com refletor, com 1,2 ou 3 isolamentos. A foto do canto superior central mostra como a lã está inserida no tecido. Fonte: próprio autor.

3.3. Procedimento de teste

A forma como os experimentos aconteciam dependia do tipo de teste que se queria realizar. Utilizando refletor ou não, a quantidade de isolamentos podia ser 1, 2, 3 ou nenhum, afim de se determinar qual era o melhor arranjo e o quanto este era melhor. Os tipos de arranjos testados no sistema foram: sem refletor, sem isolamento; com refletor, sem isolamento; com refletor, com isolamento no 1º estágio; com refletor, com isolamento no 1º e 2º estágios; e com refletor, com todos os estágios isolados.

O sistema era abastecido com água da CAGECE, empresa responsável pela distribuição de água no estado do Ceará, enchendo-se 11 litros na panela e 3,5 litros em cada um dos estágios subsequentes. Após isso, se preparava o datalogger OMEGA para começar a receber os dados, conectando os termopares no dispositivo. Os pontos de tomada de temperatura, foram oito: entrada do coletor, saída do coletor, entrada no trocador de calor da panela, retorno do trocador de calor da panela, temperatura da água da panela, da água do estágio 1 e do estágio 2, além da mensuração da temperatura ambiente. O estágio 3 não recebeu termopares, pois sua água não seria dessalinizada, serviria apenas para troca de calor.

O sistema era preparado no início da manhã do dia de realização do teste, ou mais comumente no final da tarde do dia anterior ao experimento. Iniciado o processo, o refletor que de manhã estava virado para o leste era trocado sistematicamente para o outro lado do coletor próximo ao meio-dia, a fim de continuar refletindo a radiação no período da tarde. Para avaliar os dados diurnos, media-se a produção e coletava-se amostras no fim da tarde. Devido a inércia térmica do sistema, ainda havia produção durante a noite que era coletada na manhã do dia seguinte.

3.4. Procedimento de análise

O desempenho do sistema foi avaliado se tomando como referência cinco parâmetros numéricos: produção em mL/MJ, COP, GOR, eficiência global e condutividade das amostras recolhidas. Estes serviram como meio de comparação, servindo para apontar qual era o melhor tipo de arranjo estrutural para o fogão-dessalinizador. O modo como são calculados é detalhado a seguir.

3.4.1. Produção (mL/MJ)

Basicamente se trata da divisão da produção total em um dia (24h) pela energia total recebida pela radiação incidente no coletor neste mesmo período. Este parâmetro é necessário, a fim de se obter uma melhor comparação, já que seria impróprio se comparar diretamente a produção de um dia chuvoso ou nublado com a quantidade de água dessalinizada de um dia com altos picos de radiação. A divisão pela energia recebida normaliza os dados, tornando a análise mais coerente.

3.4.2. COP

O coeficiente de desempenho para processos de dessalinização por recuperação de calor é definido como a razão entre toda a massa de água dessalinizada produzida pela torre e a massa de condensado produzido só no primeiro estágio. Esse parâmetro é demonstrado pela Eq. (2).

$$COP = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{m_1} \quad (2)$$

Onde m_i representa a massa dessalinizada no estágio i . Este parâmetro é adimensional.

3.4.3. GOR

É o coeficiente de ganho de saída. Em relação ao projeto do presente texto, esta relação nada mais é do que a divisão da energia útil utilizada para evaporar a massa de água dessalinizada pela energia entregue à panela na troca de calor com o óleo do coletor. O cálculo desse coeficiente é dado pela Eq. (3).

$$GOR = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot h_{fg}}{(\dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot \Delta t)_O} \quad (3)$$

Onde m_i representa a massa de água dessalinizada no estágio i , h_{fg} representa a entalpia latente de evaporação da água, e o termo abaixo representa a energia cedida pelo óleo Dowtherm, por isso o sobrescrito “O”. O termo $\dot{m}$ representa o fluxo do fluido de trabalho, c_p o calor específico do mesmo, ΔT é a diferença de temperatura entre a entrada e saída do óleo na panela e Δt representa o tempo de operação do sistema. Vale ressaltar que este parâmetro também é adimensional.

3.4.4. Eficiência global (η_G)

Trata-se da divisão da energia útil necessária para evaporar a massa de água dessalinizada em um ciclo pelo tamanho do insumo energético recebido pela energia luminosa do sol no coletor.

$$\eta_G = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot h_{fg}}{A \cdot q \cdot \Delta t} \quad (4)$$

Onde A é a área útil do coletor plano, q é a radiação total média por unidade de área no dia e Δt é quantidade de tempo que o sistema ficou exposto ao sol. Este parâmetro é adimensional assim como os outros dois anteriores.

3.4.5. Condutividade

Este parâmetro é importante pois é ele que aponta se o processo de dessalinização está realmente funcionando ou não. Sendo numericamente representado pelo inverso da resistência elétrica das amostras, a condutividade mensura

indiretamente a quantidade de sais restantes nas amostras recolhidas. Tendo em vista que uma água salobra tem mais íons livres de sais em solução, este tem uma menor resistência e por consequência uma maior condutividade, assim como amostras de água dessalinizada têm baixíssimas condutividades por terem menos sal.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico serão apresentados os resultados dos testes realizados com o sistema fogão-dessalinizador circular. Esta análise é baseada nos parâmetros já citados e vai demonstrar sobre alguns deles, a partir de gráficos do tipo *boxplot*, uma comparação entre cada um dos arranjos estruturais experimentados.

Uma observação a ser feita é que os nomes dos arranjos que foram testados foram reduzidos para outros termos a fim de se adequar melhor a geometria do gráfico. Para título de informação, o arranjos foram reduzidos da seguinte maneira: “sem refletor, sem isolamento” é representado por “S/Ref./Isol”; “com refletor, sem isolamento” virou “C/Ref./Isol.”; “com refletor, com isolamento até o primeiro estágio” foi reduzido para “C/Ref./Isol. 1” e assim por diante.

4.1.1. Produção por energia inserida (mL/MJ)

O pior resultado isolado foi de 31,8 mL/MJ para o arranjo “com refletor e isolamento até o 3º estágio” (*outlier*), mas em média, o pior arranjo foi a combinação “sem refletor e sem isolamento”, conforme se pode ver no gráfico da Fig. 6. Já o maior resultado foi de 155,20 mL/MJ no teste “com refletor e isolamento até o segundo estágio” (outro *outlier*), sendo este o melhor arranjo pelo menos do ponto de vista deste parâmetro já que possui uma produção média de 100,91mL/MJ, com mais da metade dos seus dados acima de 107 ml/MJ. No dia de melhor produção por energia, tivemos a dessalinização de 7540mL de água, juntamente com a captação de 48,58 MJ de radiação.

Pode-se notar que a produção dos experimentos do tipo “com refletor e isolamento até o 3º estágio” tem de maneira não intuitiva resultados comparáveis a testes sem isolamento, tendo média de 80,9 mL/MJ e mediana de 83,60. Inicialmente, quando se insere isolamento nas laterais dos estágios, se está aumentando a temperatura dentro da torre, aumentando consequentemente a produção de água dessalinizada. Mas a quantidade água produzida também é função da diferença de temperatura entre os estágios, já que quanto maior essa diferença, maior será a condensação de um para o outro. Assim, uma boa explicação para este acontecimento é que com a utilização de três isolamentos, a distribuição de temperatura ficou mais uniforme dentro dos estágios, prejudicando o processo de dessalinização.

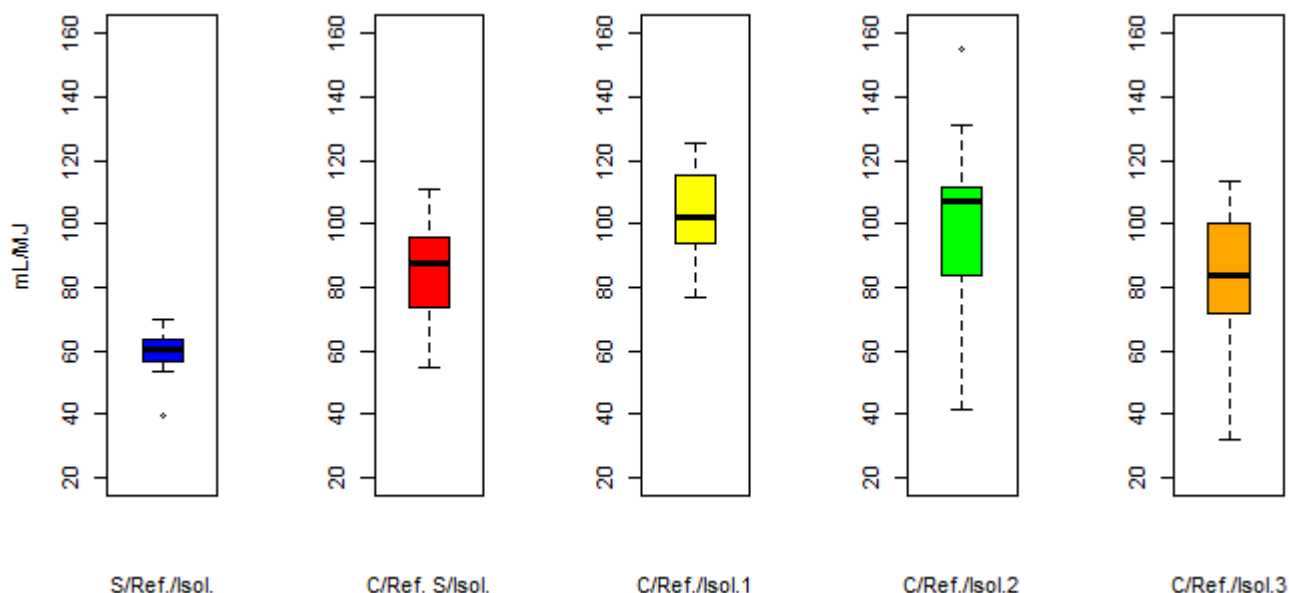


Figura 6 – Gráfico do tipo *boxplot* utilizando o parâmetro produção em mL/MJ como meio de comparação. (Fonte: próprio autor)

4.1.2. COP

Na Figura 7, podemos observar como os resultados estão distribuídos entre os arranjos. Tendo o pior resultado de 1,27 do teste tipo “sem refletor e sem isolamento” contra o melhor de 2,38 do tipo de “com isolamento até o 3º estágio”. O gráfico aponta que este último é o melhor arranjo, já que tem COP médio de 2,19, sendo a mediana do gráfico de *boxplot* para este arranjo um valor de 2,24. Em contradição ao resultado de mL/MJ, aqui os testes com isolamento até o

3º estágio obtiveram vantagem, isso se explica pelo fato que a quantidade água dessalinizada aumentava para os estágios mais acima e diminuía para os mais abaixo, já que o gradiente vertical de temperatura se encontrava maior na parte superior da torre. Diminuindo a participação do primeiro estágio na produção e aumentando para os estágios acima dele, o COP necessariamente tende a aumentar também.

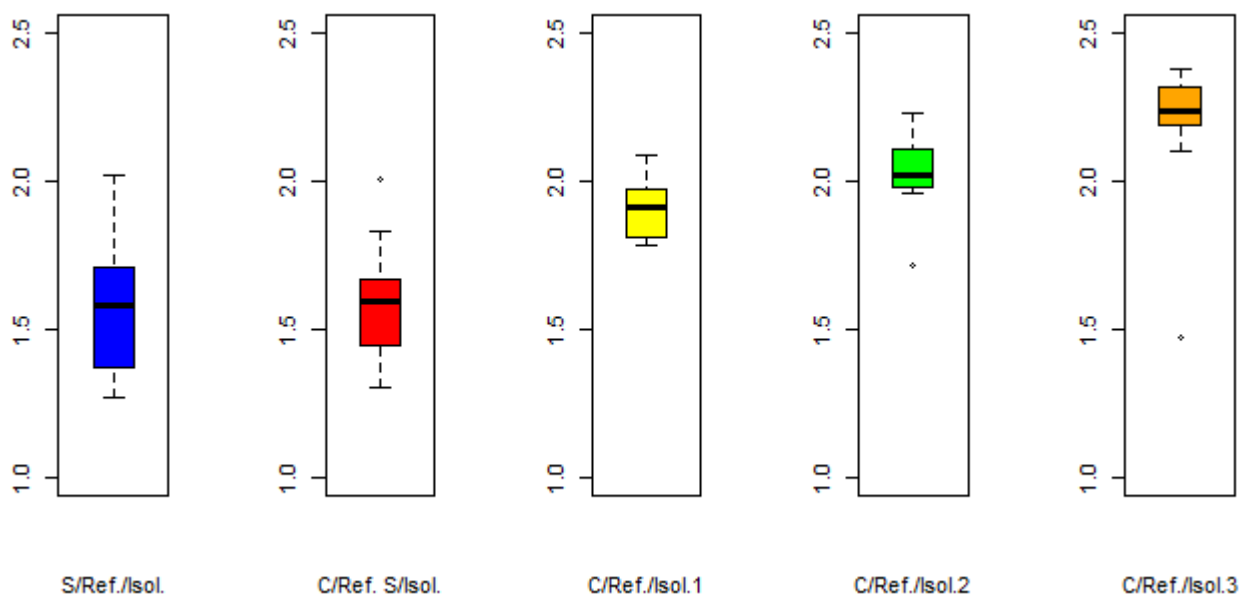


Figura 7 – Gráfico do tipo *boxplot* utilizando o parâmetro COP. (Fonte: próprio autor)

4.1.3. GOR

No gráfico mostrado na Fig. 8, pode-se ver que o melhor resultado se obtém novamente nos testes onde a torre de dessalinização está toda isolada nas laterais. Com o maior resultado sendo 1,54 (*outlier*), mas com média de 1,07.

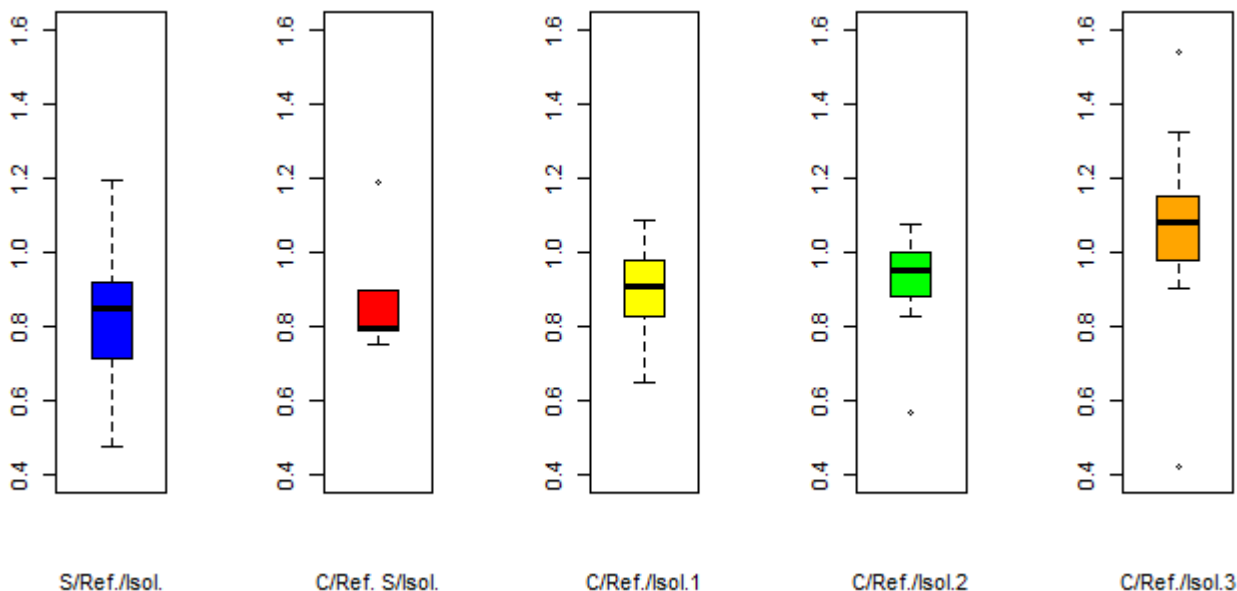


Figura 8 – Gráfico do tipo *boxplot* utilizando o parâmetro GOR. (Fonte: próprio autor)

4.1.4. Eficiência Global

Tendo em vista todo o sistema, não somente a unidade dessalinizadora, mas também o coletor plano do fogão solar utilizado, temos que a melhor eficiência está para o arranjo “com refletor e isolado até o 2º estágio”. Isto se deve, provavelmente, ao fato que a torre está isolada o suficiente para manter a temperatura da torre mais alta, mas sem

prejudicar de maneira significativa o gradiente de temperatura no sentido vertical, assim aumentando a produção e melhor aproveitando a energia recebida no coletor. Teve eficiência média de 23,7%, mas chegou a alcançar uma eficiência de 36,1%.

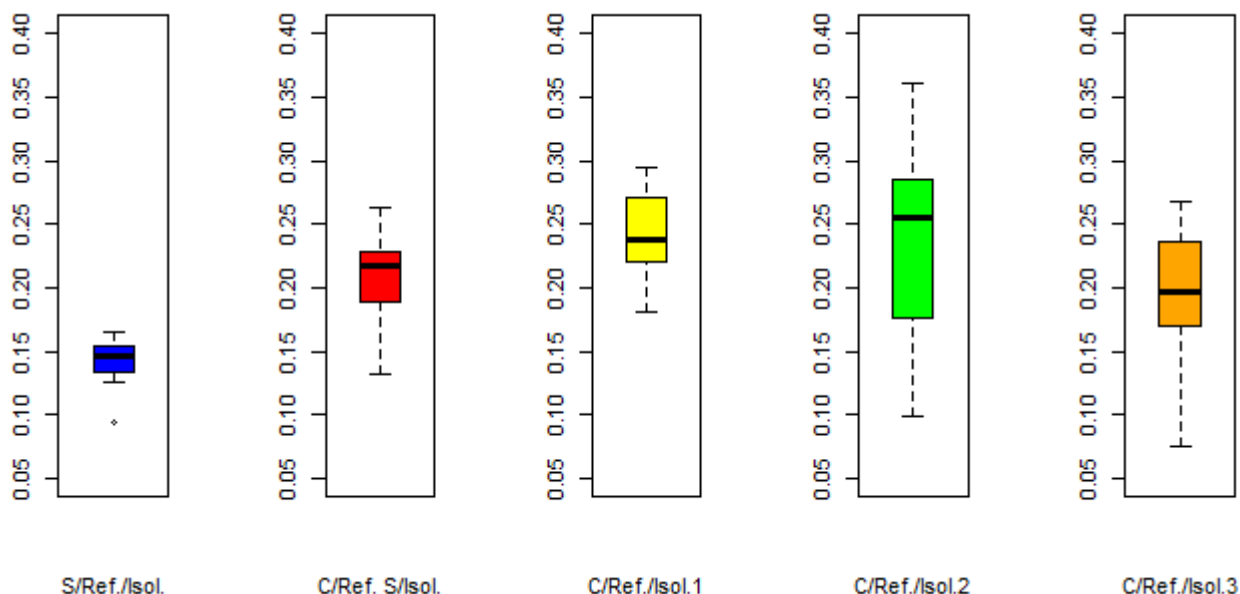


Figura 9 – Gráfico do tipo *boxplot* utilizando o parâmetro de eficiência global. (Fonte: próprio autor)

4.1.5. Condutividade

A condutividade, em geral, não variou de maneira perceptível de um modo de operação para o outro, ficando em média na faixa de 1 a 15 μS . Esses valores são excelentes em comparação com a água que foi introduzida para ser dessalinizada que tinha condutividade que ficava em torno de 700 a 800 μS (água da CAGECE).

Vale enfatizar que essa água ainda não é própria para consumo, já que esta precisa ser diluída, pois apresenta uma baixíssima concentração de sais, podendo, se ingerida em grande quantidade sem ser tratada devidamente, causar danos ao organismo do indivíduo, devido as diferenças de pressões osmóticas entre esta água e as células do corpo da pessoa.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo comparar, com fins de análise, como se comporta o sistema fogão-dessalinizador circular quando testado de diferentes formas. Constatou-se que até certo ponto é benéfica a utilização de isolamento nas paredes laterais da torre de dessalinização, desde que não se prejudique a distribuição vertical de temperatura dentro do dessalinizador circular.

Em relação à perspectivas futuras, deverá ser realizado novos testes se utilizando a outra panela do fogão que até então estava inoperante. Isso se deve ao fato que seria interessante observar como se comporta o aparato quando a carga térmica do coletor é dividida. Além disso, deve ser dimensionado em breve um sistema de reabastecimento do dessalinizador, afim de tornar o processo de preparação para operação mais prático.

6. AGRADECIMENTOS

Aos integrantes do LESGN, à estrutura da UFC e ao financiamento do CNPq.

7. REFERÊNCIAS

- Costa, I. S. “Novos protótipos de dois dessalinizadores térmicos para operação no fogão solar com aquecimento indireto”. 2013. Dissertação (Mestrado em Eng. Mecânica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.
- Herculano, R.T. “Protótipo de panela-dessalinizador circular para fogão solar com aquecimento indireto”. 2015. Dissertação (Mestrado em Eng. Mecânica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.
- Schwarzer, K., Silva, M.E.V. “Characterisation and design methods of solar cookers”, 2008.
- Norton, B. (1991); Solar Water Heaters. In; (Eds.). Solar Energy thermal technology. . London; Springer Verlag, p. 161 189.

COSTA, I. S. ; ARAUJO, M. E. ; SILVA, M. E. V. ; MENDONÇA, O. A. ; PINHEIRO, F. N. . Determinação numérica e experimental da eficiência de um circuito de sifão térmico de aquecimento solar. In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM), 2012, São Luis- Maranhão, 2012.

SISSOM, L. E., PITTS D. R. Elements of transport phenomena. Nova York: McGraw-Hill, 1972.

8. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.

EARLY RESULTS OF LONG TERM TESTS OF A THERMAL DESALINATOR LINKED TO A SOLAR COOKER OF INDIRECT HEATING

Eliezer Batista da Costa Neto, eliezercostta@hotmail.com¹

Rafael Herculano, rafaelherculano.eng@gmail.com¹

Maria Eugênia Vieira da Silva, eugenia@ufc.br¹

Klemens Schwarzer, prof.kschwarzer@t-online.de²

Paulo Alexandre Costa Rocha, paulo.rocha@ufc.br¹

José Davi Rodrigues Silva, davirodrigues1339@hotmail.com¹

Kaio Hemerson Dutra, kaiohdutra@hotmail.com¹

Diego Caitano de Pinho, diegopynho@gmail.com¹

¹Universidade Federal do Ceará, Pici - Fortaleza, Brazil,

²IBEU, Germany,

Abstract: A major problem that is reaching many parts of the world, especially those that are under desert environmental conditions is the lack of water. For this reason, currently, there are techniques already become brackish water drinkable, such as the distillation process. To that end, it was developed by LESGN-UFC (Solar Energy Laboratory and Natural Gas of Universidade Federal do Ceará) a circular desalination unit that functions as an accessory for indirect heating of solar stove system ever built before. The premise of its operation is to use one of the pans from the stove already cited as a means of energy input to the process of desalination. In this context, the objective of this work is to analyze statistically, and long-term, how the system behaves when tested under various conditions by implementing various operating configurations in order to determine which is its most efficient operating arrangement. Some variables were used, such as the amount of insulation in the desalting stage, using or not the reflector and the use or not of an adjacent pan running in parallel to the desalination process that occurs in another pan of the same stove.

The methodology used to estimate the quality of the desalting process was to measure the volume of drinking water produced, along with an analysis of the conductivity of the samples, and the use of a data acquisition system for collecting and storing temperature values and radiation in order to make an analysis efficiencies of both the overall system and each desalination stage alone. The results indicate that the use of reflector, together with the use of insulation to the 2nd stage, promote increased efficiency of the apparatus, producing a larger amount of desalinated water. The best result so far for the production was the desalination 7540ml in a day, reaching in this occasion the following parameters: 155.20 ml / MJ, COP equal to 2.23, GOR with a value of 1.08 and overall efficiency of the system 36.10%. Another important point to emphasize is that the range of values for the conductivity of the samples is on average 1 to 15 $\mu\text{S} / \text{cm}$.

Future prospects are to continue increasing the amount of insulation in tests and study how it behaves the system dividing the heat load of the collector to the two pans. In addition, there should also be the development of a water replenishment system in the desalination tower in order to make the process less intermittent.

Keywords: Solar Energy, Solar Cooker, Indirect Heating, Desalinator.