

## **RESULTADOS PRELIMARES DE UM NOVO PROTÓTIPO DO DESSALINIZADOR TÉRMICO COM RECUPERAÇÃO DE CALOR E AQUECIMENTO DIRETO POR GÁS NATURAL**

**Anderson Pereira Rodrigues, anderson\_ufc@yahoo.com.br**  
**Maria Eugênia Vieira da Silva, eugenia@ufc.br**

<sup>1</sup>Universidade Federal do Ceará, Av. Humberto Monte, S/N, Campus do Picó  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica  
Bloco 715 – 1º Andar  
CEP: 60455-760  
Fortaleza - CE

**Resumo:** *O presente trabalho tem como objetivos o desenvolvimento de um protótipo e o estudo dos parâmetros operacionais de um dessalinizador térmico com recuperação de calor, operando pelo aquecimento controlado de gás natural. O novo protótipo do dessalinizador foi concebido e fabricado para permitir a sua operação em regime permanente, com a temperatura pré-estabelecida no tanque de armazenamento de água salobra, e para possibilitar o estudo dos seus parâmetros operacionais. O protótipo possui seis estágios, um tanque de armazenamento, um trocador de calor para a superfície condensadora, queimadores e um cilindro de gás natural com controle de pressão e de vazão. Foram usados dois tipos de queimadores: circular e de flauta. As medições incluíam as temperaturas no tanque (superfície de evaporação), no trocador de calor (superfície de condensação), a massa de gás natural consumida, a massa de água salobra e de condensado (água dessalinizada) produzida. O parâmetro estudado no presente trabalho foi o nível de água no tanque. Este nível está associado ao armazenamento de calor no sistema, que influencia tanto o início da produção de condensado após o acionamento dos queimadores, quanto após seu desligamento (ou corte no fluxo de gás natural). O tanque possui dimensões de 0,27m de largura, 0,52m de comprimento e 0,10m de altura. Foi observado que o volume de água de 3 litros apresentou melhor resultado, com uma produção de 1,39 L em 2 horas de aquecimento e 1 de desligamento. A temperatura média da água no tanque foi de 92°C e de 42°C na superfície de condensação.*

**Palavras-chave:** *dessalinizador térmico, gás natural, recuperação de calor*

### **1. INTRODUÇÃO**

De toda a água encontrada nas fontes superficiais ou subterrâneas, menos de 3% é doce, ou seja, possui um volume reduzido de sais que permite o seu consumo por seres humanos. Além disso, esse volume não está devidamente distribuído de forma a suprir toda a população mundial. O aumento da população mundial e da poluição ocasiona um aumento da necessidade de mais água límpida. Uma das alternativas para a obtenção de água doce é a partir do tratamento de água salobra e da água do mar. Para torná-las potáveis, ou seja, apropriada ao consumo humano, uma das alternativas é o uso de um dessalinizador solar.

Dessalinizadores solares térmicos com recuperação de calor têm sido desenvolvidos e testados nos últimos anos e resultados mais recentes foram apresentados em Schwarzer *et al.*, 2008. Esses dessalinizadores operam com uma fonte de calor variável, a radiação solar, o que dificulta a identificação da influência das variáveis de processo e dos parâmetros geométricos construtivos. No dessalinizador térmico com recuperação de calor, a água salobra ou salgada é aquecida em um tanque de armazenamento. O aquecimento é pela queima do gás natural em queimadores circulares, possibilitando sua operação em regime permanente. A água aquecida é evaporada e sobe no tanque, condensando nas paredes inferiores de uma bandeja metálica (primeiro estágio), instalada acima do tanque. Ao condensar, o vapor transfere calor para a água desse primeiro estágio e o condensado é coletado no exterior do tanque. Os processos de evaporação e condensação caracterizam a sistema de recuperação de calor. O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um novo protótipo dessalinizador térmico com recuperação de calor para operação em regime permanente, possibilitando o estudo dos parâmetros geométricos e das variáveis independentes dos processos de evaporação e condensação que ocorrem na torre de dessalinização. Foi estudando o nível da água no tanque de armazenamento para uma temperatura da água salobra em torno de 90°C. O nível da água influencia diretamente o

início da produção de condensado e o tempo de operação do dessalinizador após o fechamento do fluxo de gás natural para o queimador. Quando o nível da água é mais elevado, é necessário um maior tempo de aquecimento e para o início da produção de condensado. Por outro lado, por armazenar mais calor no sistema, a produção continua a existir após o fechamento das válvulas de fluxo de gás. Essa produção continuada é maior para um nível de água maior.

Nos testes do nível de água no tanque, temperaturas em torno de 90°C foram mantidas através do controle do fluxo de gás. O dessalinizador foi operado em uma bandeja ou estágio e um trocador de calor (Figura 1) foi instalado na superfície de condensação, de forma a manter sua temperatura em torno dos 40°C.

O objetivo dos testes foi a determinação do nível de água no tanque (massa de água) para se encontrar a mais alta taxa de produção de condensado por kg de gás natural consumido.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O conhecimento da dessalinização remota à época dos antigos egípcios. O primeiro protótipo significativo (dessalinizador de tanque) foi instalado em 1972 por *Charles Wilson* em *Las Salinas* no Chile.

A dessalinização é um tema que vem sendo estudada por muitos pesquisadores há algumas décadas. Os trabalhos iniciais foram apresentados por Telkes (1955), Löf (1961), Cooper (1969), e Clark (1990).

A maioria dos modelos teóricos para estudar o desempenho de dessalinizadores térmicos, em particular os com aquecimento solar, têm tido como base o trabalho apresentado por Dunkle (1961). O modelo apresentado por Dunkle para determinar a produção de água vem sendo modificado por vários autores. Tsilingiris (2009) apresentou uma revisão dos modelos publicados e apresentou sugestões aos coeficientes do modelo.

García-Rodríguez (2003) apresentou uma revisão bibliográfica sobre dessalinização usando energias renováveis e as tecnologias disponíveis para a indústria.

Mathioulakis *et al.* (2007) apresentaram uma revisão bibliográfica do estado da arte em sistemas de dessalinização solar térmica. As diferentes tecnologias foram apresentadas pelos autores, que também descreveram instalações de grande capacidade com produção diária de 130 a 200.000 litros

## 3. PROTÓTIPO EXPERIMENTAL DO DESSALINIZADOR TÉRMICO A GÁS NATURAL

A dessalinização é comumente realizada através de dois processos: térmico e mecânico. Na dessalinização térmica, o agente de separação é o calor. Na dessalinização mecânica, bombas de alta pressão forçam fluxos de água salgada através de filtros que capturam as partículas de sais e minerais, deixando passar apenas a água pura (osmose reversa).

A dessalinização térmica da água salgada é um processo de separação que consiste na evaporação na evaporação das moléculas de H<sub>2</sub>O da água salgada, seguido de um processo de condensação. A energia térmica necessária para o processo de evaporação é o calor proveniente da queima do gás natural que é transferido para o tanque, que por sua vez transfere para a água salgada.

No presente trabalho, o calor necessário para o processo de dessalinização térmica foi obtido com a queima do gás natural. A obtenção de água dessalinizada é decorrente da evaporação da água salobra ou salina por meio de aquecimento pela queima do gás natural. A água evaporada, ao entrar em contato com a bandeja do dessalinizador, condensa devido à diferença de temperatura com essa superfície, escoam pelas paredes inclinadas da bandeja e por canais laterais de escoamento de condensado, para ser coletada do lado externo da torre.

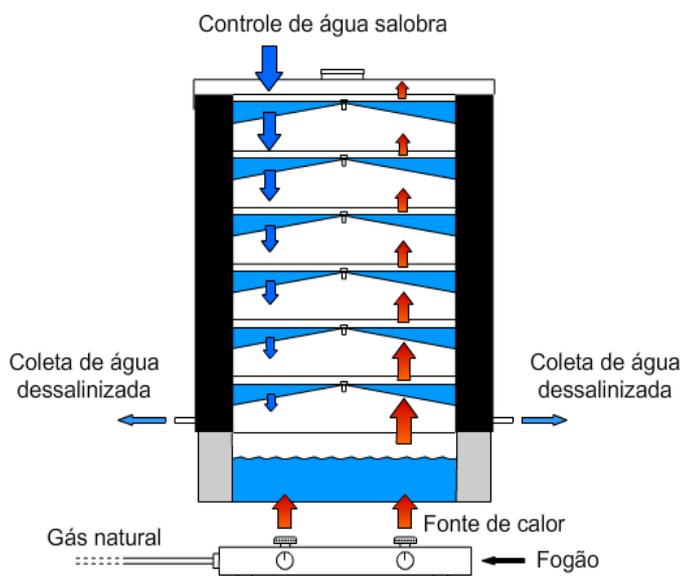


Figura 1. Desenho esquemático do protótipo.

### 3.1. Princípio de Funcionamento

A Figura 1 mostra o desenho esquemático do protótipo do dessalinizador. Em seu funcionamento, a água salobra é aquecida no tanque, onde é evaporada e transfere calor para a água da bandeja imediatamente superior ao condensar nessa superfície. O calor recebido por esse estágio é utilizado para aquecer a água salobra nessa bandeja e o processo de recuperação se repete para os demais estágios. O vapor d'água condensado nas bandejas escoam pelas paredes inclinadas dos estágios e é coletado em um reservatório externo à torre de dessalinização. É importante observar que parte dessa energia térmica cedida ao dessalinizador é perdida para o ambiente pelas paredes laterais da torre, por algum vazamento de vapor e pela temperatura mais elevada da água produzida. Os componentes do protótipo são: um tanque de armazenamento de água salobra com isolamento térmico e queimador(es) de gás natural, compondo a unidade de aquecimento; sete estágios de empilhados com suas bandejas e canais de escoamento, formando a torre de dessalinização.

### 3.2. Protótipo Experimental

A Figura 2 mostra uma fotografia do protótipo do dessalinizador, instalado em uma bancada móvel. Nessa fotografia, o queimador é um fogão comercial para gás de cozinha (butano) com dois queimadores que foram modificados para operação com gás natural. Ao lado do dessalinizador está mostrado o cilindro de abastecimento de gás natural, que foi uma adaptação do sistema veicular de gás natural. Os componentes do dessalinizador estão descritos a seguir.



Figura 2. Fotografia do protótipo experimental com 6 estágios.

#### Tanque de armazenamento:

O tanque foi fabricado em chapas de aço inoxidável 316 de 3mm. Suas dimensões são 0,27 m de largura, 0,52 m de comprimento e 0,10 m de altura, com capacidade de 14 litros de água. O isolamento é de 50mm de espessura, de lã de vidro. Foram usados rebites para fechar as chapas de aço inoxidável que envolvia o isolamento, de forma a facilitar sua manutenção e substituição quando necessário.

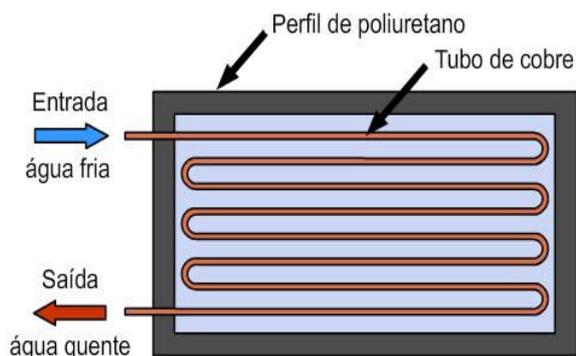
#### Estágios:

Os estágios são formados por canais de escoamento e por bandejas. Os canais de escoamento são de poliuretano e possuem ligação com o exterior da torre através de tubos de cobre instalados horizontalmente. Esses tubos possibilitam a coleta da água dessalinizada. As bandejas dos estágios foram feitas com chapas de aço inoxidável 316 com 1,2mm. A inclinação das bandejas foi de 10° com a horizontal para facilitar o escoamento de condensado. A capacidade de cada bandeja era de 2 litros d'água.

### 3.2.1. Medições Experimentais

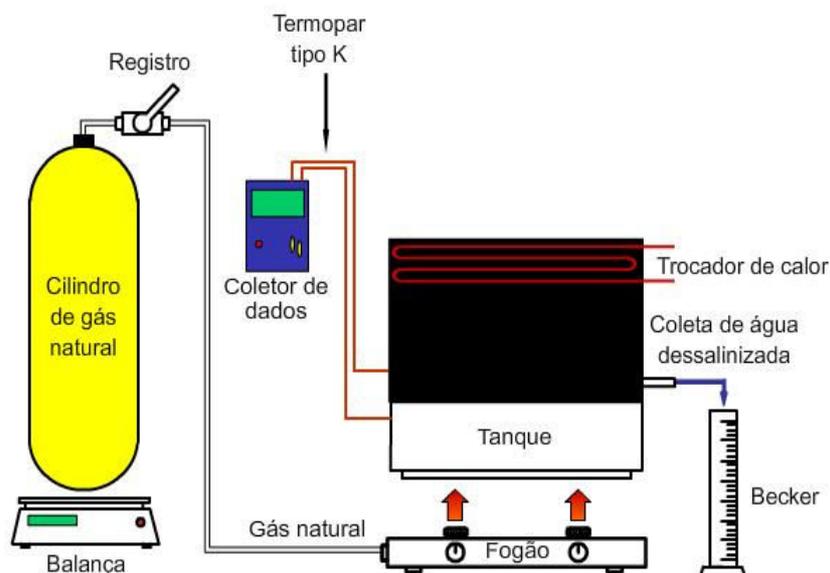
A fim de que fossem realizadas as medições experimentais para estudo do nível da água no tanque de armazenamento, foram desenvolvidos um arranjo específico na torre de dessalinização e um sistema de medição e coleta de dados. Nesse estudo do nível da água no tanque foi importante manter tanto a temperatura de evaporação (em torno de 90°C) e de condensação (em torno de 40°C) em valores constantes, de forma que o nível da água fosse a única variação de um experimento para o outro.

O arranjo específico na torre de dessalinização era formado pelo tanque de dessalinização com cilindro de gás natural e queimador, e pelo primeiro estágio da torre. Foi fabricado um trocador de calor e instalado na bandeja do primeiro estágio, de forma a controlar sua temperatura e proporcionar temperaturas aproximadamente iguais na superfície de condensação em todos os testes de nível de água no tanque (Figura 3).



**Figura 3. Desenho esquemático do trocador de calor no primeiro estágio.**

O sistema de medição e coleta de dados incluía medições de temperatura (água de evaporação e condensação) com termopares tipo K, uma balança de precisão (com três casas decimais) para medição da massa de gás natural e tubos de *Becker* com marcadores a cada 10 ml para medição dos volumes de água de alimentação e de condensação. As medições de temperaturas eram realizadas a cada 2 segundos e os dados armazenados a cada 1 minuto em um coletor de dados. A balança analítica tinha a capacidade de armazenamento das medições e também uma saída digital para ligação direta com um microcomputador (Figura 4).



**Figura 4. Desenho esquemático do sistema de medições.**

Foram usados dois queimadores, um circular (fogão) e um de flauta. Para o estudo do nível da água no tanque, o tipo de queimador não influenciava as medições de produção, visto que as temperaturas de evaporação e de condensação eram mantidas constantes. O tipo de queimador influenciava somente o consumo de gás natural para manter a massa de água a temperatura desejada, pondo o sistema em regime permanente.

### 3.2.2. Realização de Medições Experimentais

Na realização das medições experimentais, as seguintes observações foram observadas:

- Alimentação da torre de dessalinização com água salobra;
- Ativação do sistema de aquisição de dados;
- Liberção do fluxo de gás no cilindro;
- Ativação do queimador;
- Verificação da quantidade de água dessalinizada produzida enquanto o queimador estava em funcionamento;
- Verificação da quantidade de água dessalinizada produzida enquanto o queimador não estava em funcionamento;

A verificação da quantidade de água dessalinizada produzida durante o funcionamento do queimador foi feita num período de 2 horas. O período de observação da produção com o queimador desligado (operação com o calor armazenado no tanque) foi de 1 hora. Foram realizados 3 experimentos, com os volumes de água no tanque de: 3 e 2 litros com o queimador linear e de 4 litros com o queimador circular.

## 3. RESULTADOS

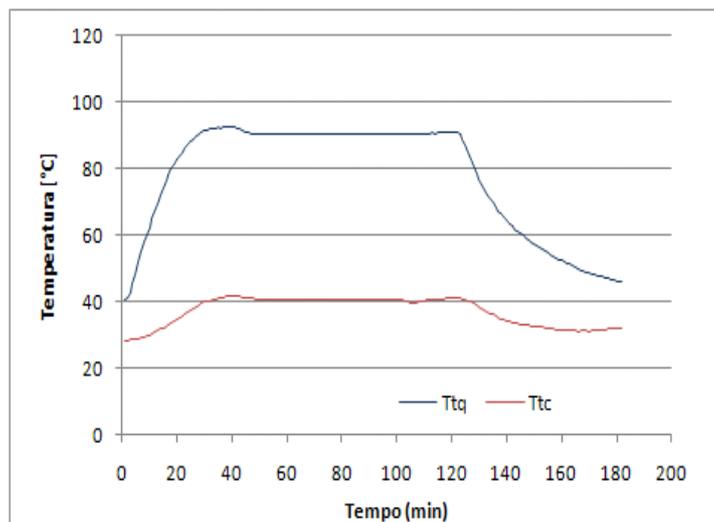
A Tabela 1 apresenta o resumo dos dados dos 3 experimentos realizados. As temperaturas de evaporação e de condensação foram mantidas aproximadamente constantes, de forma que somente o volume de água no tanque de armazenamento pudesse ser estudado. Devido à manutenção da temperatura de evaporação no mesmo valor para os 3 experimentos, foi isolada a influência do queimador, como era desejada.

Com os valores da tabela, pode-se observar que para este tanque de armazenamento, o volume de operação do dessalinizador deve ser de 3 litros. O volume maior, de 4 litros, resultou em menor produção, e o volume menor, de 2 litros, também resultou em menor produção. No primeiro caso, devido à inércia térmica e no segundo, ao reduzido armazenamento de calor.

**Tabela 1. Resumo dos dados dos experimentos.**

Queimador	Volume de água [L]	Temp. tanque [°C]	Temp. condensador [°C]	Produção [ml]
Circular	4	90,0	42	650
Flauta	3	90,5	40,5	1390
Flauta	2	89,2	40,6	1070

A Figura 5 mostra as medições de temperatura para o experimento com o queimador de flauta e o volume de 3 litros de água no tanque de armazenamento. Foram necessários aproximadamente 25 minutos para temperatura que a temperatura da água alcançasse 90°C. As temperaturas foram mantidas aproximadamente constantes durante os experimentos.



**Figura 5. Temperatura do tanque (Ttq) e no trocador de calor (Ttc) para um volume de 3 litros de água.**

Como o tipo de queimador e a distribuição de calor na superfície inferior do tanque (superfície de aquecimento) influenciam tanto o consumo total quanto o tempo de aquecimento (início transiente), esse parâmetros não foram comparados no presente estudo.

#### 4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Petrobras, pelo financiamento do projeto; à CAPES, pela bolsa de estudos; aos companheiros do Laboratório de Energia Solar e Gás Natural (LESGN) e os companheiros do programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFC.

#### 5. REFERÊNCIAS

- SCHWARZER, K., SILVA, M. E. V., HOFFSCHMIDT, B., SCHWARZER, T., 2008, "A new solar desalination system with heat recovery for decentralised drinking water production", *Desalination*, 248, 204-211.
- CLARK, J. A., 1990, "The steady state performance of solar still", *Solar Energy*, Vol. 44, pp. 43-49.
- COOPER, P. I., 1969, "Digital Simulation of Transient Solar Still Processes", *Solar Energy*, Vol. 12, pp. 313-331.
- DELYANNIS, E., 2003, "Historic Background of desalination and renewable energies", *Solar Energy*, Vol. 75, 357-366.
- DUNKLE, R. V., 1961, "Solar Water Desalination: The Roof Type Still and a Multiple Effect Diffusion Still", *International Heat Transfer Conference*, part V, pp. 895-902, Boulder-CO, USA.
- GARCIA-RODRÍGUEZ, L., 2003, "Renewable energy applications in desalination: state of the art", *Solar Energy* 75, 381-393.
- LÖF, G. O. G., EIBLING, J. A., BLOEMER, J. W., 1961, "Energy Balances in Solar Distillers", *A.I.Ch.E. Journal*, vol. 7, No. 4, 641-649.
- MATHIOULAKIS, E.; BELESSIOTIS, V.; DELYANNIS, E., 2007, "Desalination by using alternative energy: Review and state-of-the-art". *Solar Energy*, vol. 203, p. 346-365,
- TELKES, M., 1955, "Improved Solar Stills", *Transactions of the Conference on the Use of Solar Energy, the Scientific Basis*, Vol. 3, pp. 145-153, Tucson Arizona.
- TSILINGIRIS, P. T., 2009, "Analysis of the heat and mass transfer processes in a solar still – The validation of a model", *Solar Energy*, 83, 420-431.

## PRELIMINARY RESULTS OF A NEW THERMAL DESALINATION WITH HEAT RECOVERY PROTOTYPE DIRECTLY HEATED BY NATURAL GAS

Anderson Pereira Rodrigues, [anderson\\_ufc@yahoo.com.br](mailto:anderson_ufc@yahoo.com.br)  
Maria Eugênia Vieira da Silva, [eugenia@ufc.br](mailto:eugenia@ufc.br)

<sup>1</sup>Universidade Federal do Ceará, Av. Humberto Monte, S/N, Campus do Pici  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica  
Bloco 715 – 1º Andar  
CEP: 60455-760  
Fortaleza - CE

**Abstract:** The objectives of this article are the development and the operation parameter studies of a new thermal desalination unit, directly heated by a controlled natural gas burner. The unit was designed and built to allow steady state operation with predetermined temperature in the salty water tank and to help the study of its operation parameters. The unit has six stages, a storage tank, a heat exchanger to cool the condensation surface, burners, and a natural gas supply system with controlled pressure and temperature. Two types of burners were used: circular and pipe. The experimental measurements include temperature in the storage tank (evaporation surface), in the heat exchanger (condensation temperature), and the natural gas, salty water, and condensed (produced) masses. The parameter studied in this work was the level of water in the tank. This level is associated with the amount of heat stored in the unit, which influences the start of production after the burners are turned on as well as after they are turned off. The tank is 0,27m wide, 0,52m long, and 0,10m high. It was observed that a 3 liter mass of water in the tank presented the best results, with a production of 1,39 liters in 2 hours of direct heating and in 1 hour with the burners off. The average temperature in the tank was 92°C and 42°C in the condensation surface.

**Key-words:** *thermal desalination, heat recovery, natural gas*