

**AQUECIMENTO SOLAR DA ÁGUA PRODUZIDA DE PETRÓLEO**

Rogério Pitanga Santos<sup>1</sup>, Osvaldo Chiavone-Filho<sup>2</sup>, Juliana Bregenski Schuhl<sup>3</sup>, Magna A. Santos Bezerra<sup>4</sup>, Josette Lourdes Sousa de Melo<sup>5</sup>, Jackson Araújo de Oliveira<sup>6</sup>, Vívian Tavares de Andrade<sup>7</sup>, Rafael E. Moura Ramos<sup>8</sup>

**Copyright 2008, Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis - IBP**

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2008*, realizada no período de 15 a 18 de setembro de 2008, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2008*.

## Resumo

No presente trabalho foram levantados dados experimentais de aquecimento solar para água comum e solução salina. O aquecedor solar é constituído de um coletor plano e de um reservatório térmico isolado (“boiler”). O objetivo é quantificar a variação de temperatura dos fluidos ao longo dos experimentos, relacionando-a com as variáveis ambientais, especialmente a radiação solar. Assim, é possível prever como se dará o aquecimento solar da água de produção, meta de longo alcance. O aquecedor solar faz parte de um sistema de tratamento de água de produção, e sua função é pré-aquecer o fluido que entra em um destilador solar, aumentando assim a produtividade de água destilada. Foi utilizada uma solução aquosa salina de cloreto de sódio (NaCl), 1000 mg/L, simulando concentrações encontradas em água produzida. Os experimentos mostraram que o sistema de aquecimento é capaz de aquecer o fluido a temperaturas próximas a 70 °C, atingindo temperaturas maiores que 50 °C mesmo em dias com pouca radiação solar. Além disso, o sistema coleta energia especificamente para promover maior taxa de aquecimento e através do reservatório térmico mantém a temperatura, aspectos importantes para integração com a destilação solar.

## Abstract

In this work, experimental data of solar heating for common water and saline solution were measured. The solar heater is formed by a flat-plane collector and a thermal reservoir (“boiler”). The objective is to quantify the variation of fluids’ temperature, and correlate it to environment variables, especially solar irradiation. Thereby, it is possible to estimate the solar heating of produced water of petroleum. The solar heater is part of a system of treatment of produced water, and its function is to pre-heat the fluid that enters into the solar distiller, increasing the productivity of distilled water. A saline solution that represents produced water was used in the experiments, using sodium chloride (1000 ppm). The experimental data demonstrates that the solar heater is capable to heat the fluid to temperatures close to 70°C, reaching temperatures close to 50 °C even during cloudy days with low solar radiation. Furthermore, the solar collector energy system provides a higher rate of heating and through of the thermal reservoir the temperature can remain longer. These are important aspects to the integration with solar distillation.

<sup>1</sup> Graduação, aluno de Engenharia Química - UFRN

<sup>2</sup> PhD, professor de Engenharia Química – UFRN

<sup>3</sup> Mestre, Engenheira Química – CENPES

<sup>4</sup> Mestre, Doutoranda em Engenharia Química - UFRN

<sup>5</sup> Doutora, professora de Engenharia Química – UFRN

<sup>6</sup> Doutor, professor de Engenharia Química – UFRN

<sup>7</sup> Mestre, Engenheira Química – CENPES

<sup>8</sup> Graduação, aluno de Engenharia Química - UFRN

## 1. Introdução

Atualmente, há uma preocupação crescente com o destino dos rejeitos da indústria do petróleo. O rejeito de maior volume em todo o processo de produção e exploração de petróleo são as águas de produção (Azevedo, 1998), que é a água produzida junto com o petróleo. Em campos maduros, a produção de água pode chegar a mais de 90% da produção total (Thomas, 2001). Há de se destacar o fato de que a mesma contém compostos orgânicos e inorgânicos dispersos, e não pode ser descartada sem tratamento prévio. Esses tratamentos são dispendiosos e complexos, e o descarte desses grandes volumes de água produzida pode até ser considerado desperdício de água.

O uso da energia solar para tratamento de águas surge como uma alternativa interessante, já que utiliza uma fonte de energia gratuita, abundante e não poluente. Uma das maneiras de tratar águas com energia solar é através do destilador solar, um processo que imita, em pequena escala, o ciclo natural da água. Esse método é bastante eficaz na remoção de certos contaminantes, especialmente os sais. Segundo Bezerra (2004), através da destilação solar, as remoções de sais da água de produção são superiores a 98%. Porém, esse método tem algumas limitações, destacando-se a sua baixa produtividade. Segundo Maluf (2005), contando com um valor típico de energia solar incidente como de 4 a 5 kWh/m<sup>2</sup> dia, o valor típico de produção para esses números serão de apenas 2 a 2,7 kg/m<sup>2</sup> dia de água.

Uma das alternativas para aumentar a produtividade de um destilador solar é utilizar sistemas híbridos ou compostos, como o dessalinizador solar híbrido apresentado por Lopes (2004). O uso de um coletor solar para pré-aquecer a água que entra no destilador é um exemplo de um sistema composto, e aumenta a produtividade de água destilada, ou seja, aumenta o volume de água de produção que é tratada.

El-Nashar e Qamhiyeh (1991) apresentaram o desempenho de 5 anos de operação da planta solar de dessalinização de água de Abu Dhabi, Emirados Árabes. A planta constituída de uma estação de coletores solares evacuados, com 1862 m<sup>2</sup> de área útil, tanques de estocagem térmica estratificada de 300 m<sup>3</sup>, dimensionados para proporcionar a operação do dessalinizador 24 h/dia, e um dessalinizador tipo Multi-Efeito (MED) de 18 estágios, com capacidade máxima de produção de 120 m<sup>3</sup>/dia, projetado pela Sasakura Inc. Esta planta operou entre 1985 e 1989, e produziu uma média de 110 m<sup>3</sup>/dia de água doce, com uma eficiência média de aproveitamento da energia solar em torno de 48%. A planta citada mostra que para obter-se uma maior produção de água doce, faz-se necessária a utilização de sistemas convencionais de dessalinização, como os do tipo MSF e MED, acoplados a sistemas de captação de energia solar de alto desempenho, como coletores planos evacuados, capazes de atingir até 120 °C, ou concentradores cilíndrico-parabólicos, capazes de atingir até 280 °C, além de um volume de reservatório térmico capaz de dar estabilidade à operação do dessalinizador.

Decidiu-se pelo uso de um sistema de aquecimento solar de água utilizado em residências (aquecedor solar), que é formado por um coletor solar e um reservatório térmico ("boiler"). O aquecedor solar será acoplado ao destilador solar, formando um sistema que será chamado de sistema solar.

Este trabalho objetiva estudar o perfil de temperatura de fluidos aquecidos no aquecedor solar, relacionando-o a variáveis ambientais, em especial à radiação solar. Assim, pode-se prever como se dará o pré-aquecimento da água de produção, e o quanto este contribuirá no aumento de produtividade do destilador solar.

## 2. Revisão da Literatura

### 2.1. Coletor Solar

No aquecedor solar utilizado no presente trabalho, o principal equipamento é o coletor solar plano com cobertura, já que o mesmo é o responsável pelo aquecimento da água.

Os coletores solares planos são os mais comumente utilizados no aquecimento solar da água. Os elementos constituintes são: placa metálica absorvedora, tubos (serpentina), aletas, cobertura de vidro, caixa e isolamento térmico. O coletor funciona da seguinte maneira: os raios de sol atravessam o vidro da tampa, esquentam a placa absorvedora e as aletas (de cobre ou alumínio, e pintadas com tinta escura que ajuda na absorção da radiação solar), e o calor passa para os tubos ou serpentina (geralmente de cobre), esquentando a água que está dentro da serpentina.

Segundo Esteban (2000) e Lopes (2004), os coletores solares podem ser utilizados em conjunto com o destilador solar para melhorar a eficiência deste, através do pré-aquecimento da água.

É importante conhecer os aspectos teóricos relacionados ao funcionamento dos coletores solares. Duffie (1991) e Lopes (2004) foram os autores consultados, onde o primeiro elabora o balanço energético no coletor, enquanto Lopes se dedica à descrição das partes constituintes de um coletor, como cobertura e placa absorvedora.

### 2.1.1. Cobertura do coletor solar

A cobertura do coletor é responsável por provocar o efeito estufa, ou seja, permitir a passagem de radiação de ondas curtas, que é absorvida pela placa absorvedora, e impedir a passagem de radiação de ondas longas emitida pela placa. Assim, a radiação solar atravessa a cobertura, mas a radiação emitida pela placa não, o que aprisiona o calor dentro da estrutura, provocando o efeito estufa. Além disso, a cobertura reduz as perdas térmicas por convecção entre a placa absorvedora e o ambiente exterior. Dos vários materiais que podem ser utilizados, o mais recomendado é o vidro, pois apesar de ser mais difícil de manusear e mais pesado, não degrada quimicamente na presença de radiação ultravioleta (comprimentos de onda entre 290 e 400 nm) e não permite uma perda grande de energia para o exterior.

Lopes (2004) mostra que quanto maior a porcentagem de óxido de ferro do vidro, maiores são as perdas por absorção, o que significa que menos radiação solar é efetivamente transmitida e útil para o aquecimento. Outro fator importante é o ângulo de incidência da radiação no vidro, que deve ser ajustado de acordo com a localização do coletor. A sugestão do fabricante é que a inclinação do coletor seja igual à latitude do local acrescida de 10°. No caso da cidade de Natal, cuja latitude é de 6°, a inclinação ideal do coletor é 16°.

### 2.1.2. Placa absorvedora

A placa absorvedora é o item mais importante do coletor solar plano, pois é esta que é efetivamente responsável pelo aquecimento da água. A placa é constituída do conjunto chapa-tubo, formando uma única peça.

Os materiais mais comuns utilizados na placa absorvedora são o cobre e o alumínio. O segundo é mais barato, porém o primeiro tem maior condutividade térmica e maior resistência à corrosão. A condutividade térmica do cobre é igual a 92 cal/s.m.°C, quase o dobro da do alumínio (49 cal/s.m.°C), o que justifica o uso do cobre, mesmo que este seja mais caro (Lopes, 2004).

### 2.1.3. Balanço energético no coletor solar plano

A equação básica de balanço de energia para o coletor solar plano é (Duffie e Beckham, 1991):

$$Q_u = A_C [S - U_L (T_{pm} - T_a)] \quad (1)$$

Na Equação 1,  $Q_u$  é o calor útil, ou seja, a energia efetivamente aproveitada pelo coletor para aquecimento da água,  $A_C$  é a área do coletor,  $S$  é a diferença entre a radiação solar incidente e as perdas óticas (devido à reflexão e absorção na cobertura),  $U_L$  é o coeficiente de transferência de calor,  $T_{pm}$  é a temperatura média da placa absorvedora e  $T_a$  é a temperatura ambiente. Essa equação compreende alguns termos difíceis de serem mensurados, como o  $S$ , que depende dos valores de radiação direta, difusa e refletida, do ângulo de incidência da radiação e de propriedades da cobertura, como transmitância. Outro termo difícil de calcular é o  $U_L$ , que depende de uma série de variáveis, como: temperaturas da placa, da cobertura e ambiente, emissividades da cobertura e da placa, espessura do isolamento, espaçamento entre a placa e a cobertura, entre outros. Apesar da complexidade dos cálculos, os termos  $S$  e  $U_L$  são possíveis de serem calculados se características de construção do coletor e dados de radiação forem conhecidos. Já o termo  $T_{pm}$  é bastante difícil de mensurar, pois é uma função do *design* do coletor, da radiação solar incidente e das condições de entrada do fluido. Assim, esse termo é substituído pela temperatura de entrada do fluido ( $T_{fi}$ ), uma variável fácil de mensurar, através da adição do fator de remoção do coletor ( $F_R$ ). O balanço de energia no coletor pode então ser representado pela Equação 2.

$$Q_u = A_C F_R [S - U_L (T_{fi} - T_a)] \quad (2)$$

O fator de remoção depende de características de construção do coletor e das temperaturas de entrada e saída do fluido, e, portanto, é mais fácil de ser mensurado do que o termo  $T_{pm}$ .

A eficiência de um coletor solar ( $\eta$ ), representada pela Equação 3, é a razão entre a energia útil, ou seja, a energia convertida em calor para aquecimento da água, e a energia incidente. Assim, temos:

$$\eta = \frac{\int Q_u dt}{A_C \int G_T dt} \quad (3)$$

Onde  $G_T$  é a radiação solar incidente sobre o coletor.

Lopes (2004) sugere outras fórmulas para cálculo da energia útil  $Q_u$  e eficiência do coletor, derivadas das equações de Duffie, representadas pelas Equações (4) e (5).

$$Q_u = A_C F_R [G_T (\tau\alpha) - U_L (T_{fi} - T_a)] \quad (4)$$

$$\eta = F_R (\tau\alpha) - \frac{U_L (T_{fi} - T_{fo})}{A_C G_T} \quad (5)$$

Onde o termo  $(\tau\alpha)$  é o produto entre a transmitância da cobertura ( $\tau$ ) e a absorvidade da placa ( $\alpha$ ), e  $T_{fi}$  e  $T_{fo}$  são, respectivamente, as temperaturas de entrada e saída do fluido que passa pelo coletor.

O fator de remoção  $F_R$  é da ordem de 0,9 para coletores usando líquido, e o valor de  $U_L$  para coletores com cobertura simples se encontra entre 6 e 7 W/m<sup>2</sup>.K. Esses valores foram determinados experimentalmente e podem ser utilizados para um cálculo preliminar da eficiência do coletor.

## 2.2. Reservatório térmico

O reservatório térmico, também chamado de “boiler”, é como uma caixa d’água especial que mantém quente a água que passou pelo coletor solar. Assim, ele garante água quente mesmo nas horas em que a insolação é muito baixa ou inexistente (depois do pôr-do-sol, por exemplo). O reservatório, portanto, é a interface entre a captação solar, e o consumidor do sistema.

Para manter a água aquecida, o “boiler” deve contar com um baixo coeficiente de trocas térmicas com o ambiente e ser constituído de materiais que sejam resistentes à corrosão, que tenham uma boa rigidez estrutural e suportem temperaturas próximas a 100° C. A união destes requisitos acaba levando ao uso do aço inoxidável. No entanto, devido ao custo deste, outros metais, como o cobre, também são utilizados.

Para garantir um bom isolamento térmico, o tanque metálico é normalmente recoberto por um bom material isolante (lã de vidro ou poliuretano).

## 2.3. Aquecedor solar

O aquecedor solar é constituído basicamente de coletor solar e “boiler”. Além disso, são necessárias as conexões (tubos, geralmente de cobre) e uma reserva de água fria para alimentação do sistema, geralmente uma caixa d’água comum. Na Figura 1, tem-se representado o aquecedor solar, com as devidas conexões e a caixa d’água.

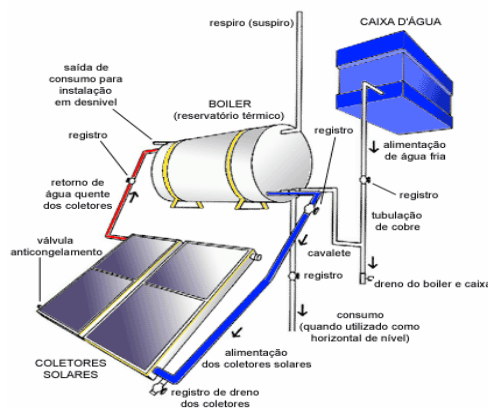


Figura 1. Esquema de aquecedor solar de água. Retirado do site [www.soletrol.com.br](http://www.soletrol.com.br)

O funcionamento do aquecedor é bastante simples, e utiliza o princípio de circulação natural, denominado termossifão, que se baseia no fato de que, quanto maior a temperatura da água, menor sua densidade. No aquecedor solar, o reservatório térmico está em um nível mais alto que os coletores, e por gravidade, a água passa do reservatório térmico para os coletores. O sol então aquece a água que está nos coletores, que fica mais quente e menos densa, e tem a tendência de subir para o reservatório térmico e “empurrar” a água fria do reservatório térmico para os coletores, que

é então aquecida, gerando um ciclo que provoca a circulação natural da água. Quando há necessidade de água quente, ela é retirada do reservatório térmico, e a água fria da caixa d'água completa o volume do reservatório térmico, de modo que este esteja sempre cheio. A água fria da caixa esfria a água do reservatório térmico, o que dá continuidade ao processo de circulação.

Esse sistema é facilmente acoplado ao destilador solar, de modo que, quando o registro (ou válvula) de saída de água quente do reservatório térmico é aberto, esta seja conduzida ao destilador, onde será destilada.

### 3. Metodologia

O aquecedor solar (coletor solar plano e “boiler”) foi montado em um local de altitude elevada, que favorece a incidência de radiação solar. Foi instalada uma caixa d'água que serviu como fonte de água. Inicialmente, o sistema foi completado com água comum de torneira. O reservatório térmico e o coletor solar foram cheios, e então o sistema foi isolado, ou seja, a água circulava apenas no coletor e no “boiler”. A temperatura de interesse é a temperatura da água quente no reservatório térmico, já que é esta água que servirá como alimentação no destilador solar. A medida de temperaturas foi realizada com termopares de aço inox, em um poço existente no próprio reservatório térmico. Os dados foram coletados através de registradores, onde o intervalo de leitura era de um minuto, e ao final de cada experimento, os dados salvos nos registradores eram transmitidos para o computador. Além da temperatura da água, foram obtidos dados de temperatura do ar, radiação solar incidente e precipitação pluviométrica, dados estes que foram adquiridos juntos ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Após uma série de experimentos com água comum, o sistema foi esvaziado, e preenchido com solução salina, e mais experimentos foram conduzidos. Para preparação da solução salina, foi utilizado o Cloreto de Sódio. A concentração é de 1000 ppm de NaCl. A solução salina é representativa da água de produção, já que o principal foco da destilação solar é a remoção de sais.

A Figura 2 mostra o aquecedor solar montado, enquanto a Figura 3 mostra em detalhe o poço onde os termopares são colocados no “boiler”.



Figura 2. Aquecedor solar



Figura 3. Detalhe do poço para sensor de temperatura no “boiler”

### 4. Resultados e Discussão

Foram realizados, ao todo, oito experimentos de aquecimento solar de água comum. Foram analisados três experimentos do total, ou seja: 26 de Maio de 2008, 30 de Maio de 2008 e 03 de Junho de 2008.

O primeiro experimento, realizado em 26 de Maio de 2008, ocorreu entre 08:54 e 14:06. A Tabela 1 mostra os valores máximos e médios da temperatura da água do “boiler”, da temperatura do ar e da radiação solar nos dias em que foram realizados os experimentos. É importante ressaltar que os valores de radiação solar obtidos foram os valores médios, ou seja, a cada minuto, é obtido o valor médio da radiação incidente.

A figura 4 mostra o perfil de temperatura da água do “boiler” e do ar para os experimentos analisados, enquanto a figura 5 mostra o perfil da radiação solar global. Como se pode observar no gráfico, a temperatura da água no reservatório térmico no dia 26 é crescente, enquanto a temperatura do ar e a radiação solar são variáveis. Isso mostra a importância do reservatório térmico, já que o mesmo conserva a água quente mesmo quando a radiação solar diminui. Quanto à radiação solar, pode-se observar que essa variável cresce até meados de 12:00 (180 minutos), quando então começa a diminuir, o que é lógico, já que, por volta de 12:00, o sol atinge sua máxima potência. A temperatura do ar, por sua vez, sofre oscilações ao longo do dia, já que essa variável não depende apenas da radiação solar incidente, mas também dos ventos, da umidade do ar, entre outros fatores. Nota-se que a temperatura da água no “boiler” não sofre tantas oscilações. Não houve precipitação pluviométrica no período do experimento.

Já no experimento do dia 30 de Maio de 2008, apesar do valor máximo de radiação solar ter sido maior que o máximo do dia 26 de Maio, o valor médio de radiação solar no período do experimento foi menor, como se pode ver na Tabela 1. Além disso, ocorreram precipitações pluviométricas durante o experimento. Essa variabilidade com certeza influenciou no desempenho do aquecedor solar, o que mostra a influência da radiação solar no aquecimento. Porém, é importante destacar que as precipitações pluviométricas não provocaram uma grande queda de temperatura da água no “boiler”, o que demonstra a eficácia do mesmo em manter a temperatura alta da água. Os dados estão representados nas Figuras 4 e 5.

No experimento realizado em 03 de Junho de 2008, as medidas só foram iniciadas às 12:26, com a água do reservatório térmico já quente, com temperatura inicial de 59,4 °C. Apesar da eventual queda da radiação solar, no período da tarde, a temperatura do reservatório térmico permaneceu acima de 60 °C até o final do experimento, às 18:23, o que mostra que, uma vez que a água atinja temperaturas elevadas (devido à radiação solar), o reservatório térmico é eficaz em mantê-las altas mesmo quando a radiação solar diminui ou cessa (nesse experimento, a radiação solar é nula a partir das 18:00). Os dados estão representados nas Figuras 4 e 5.

Tabela 1. Valores máximos e médios da temperatura da água do boiler, da temperatura do ar e da radiação solar

Data	Valor máx da temperatura do boiler (°C)	Valor médio temperatura do boiler (°C)	Valor máx da temperatura do ar (°C)	Valor médio temperatura do ar (°C)	Valor máximo da radiação solar (W/m <sup>2</sup> )	Valor médio da radiação solar (W/m <sup>2</sup> )
26 de Maio	66,5	62,3	30	28,7	926	822,16
30 de Maio	53,9	50,3	28,9	26,9	1040	411,06
03 de Junho	65	64	28,8	27,4	888	365,6

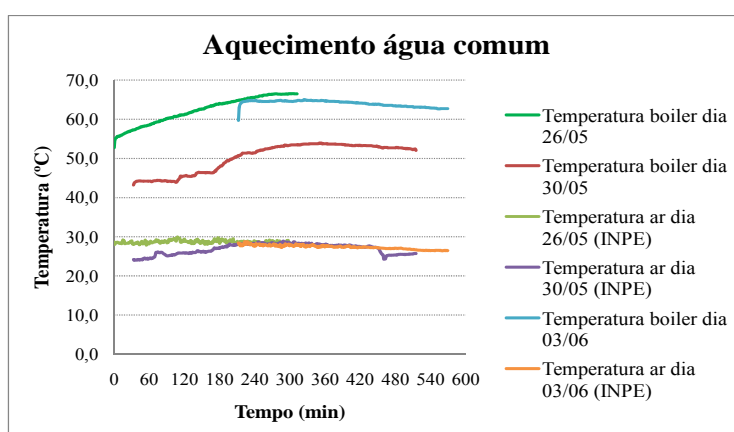


Figura 4. Temperatura da água no “boiler” e temperatura do ar (aquecimento água comum). O ponto zero do eixo x representa a hora 08:54 da manhã

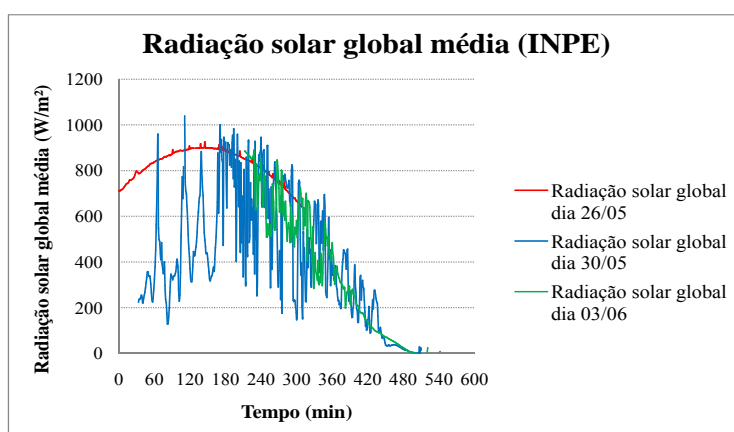


Figura 5. Radiação solar global média nos experimentos com água comum. O ponto zero do eixo x representa a hora 08:54 da manhã

Para comprovar a eficácia do “boiler”, realizou-se um experimento de dois dias seguidos. As medidas foram iniciadas às 09:42 do dia 10 de Junho de 2008, e finalizadas às 16:52 do dia 11 de Junho de 2008. O interesse era observar a queda de temperatura da água no “boiler” entre as 18:00 do dia 10, quando cessou a radiação solar, e as 06:00 do dia seguinte. Às 18:00 do dia 10, a água do “boiler” estava a 57,8 °C, e às 06:00 do dia seguinte, estava a 52,5 °C, ou seja, a queda de temperatura foi um pouco maior que 5 °C, o que é excelente, considerando um período de 12 horas em que praticamente não houve radiação solar. É interessante quantificar a queda de temperatura quando a água chegar a temperaturas próximas a 70 °C, porém em nenhum dos experimentos em dias seguidos essas temperaturas foram atingidas.

Por fim, realizou-se um experimento de dias seguidos utilizando uma solução aquosa salina, que ocorreu nos dias 18 e 19 de Junho de 2008, começando às 09:47 do dia 18 e terminando às 17:33 do dia seguinte. Nas Figuras 6 e 7, estão representados, respectivamente, os dados de temperatura e radiação solar durante o experimento, que mostram que foram atingidas temperaturas bastante satisfatórias com a solução salina (temperatura máxima igual a 65,5 °C e temperatura média igual a 53,7 °C). A temperatura da água às 18:00 do dia 18 era 53,4 °C, e às 06:00 do dia seguinte era 48,7 °C, ou seja, uma queda de temperatura menor que 5 °C, o que também é bastante satisfatório. Isso mostra que o aquecimento solar para solução salina é tão eficiente quanto para a água comum.

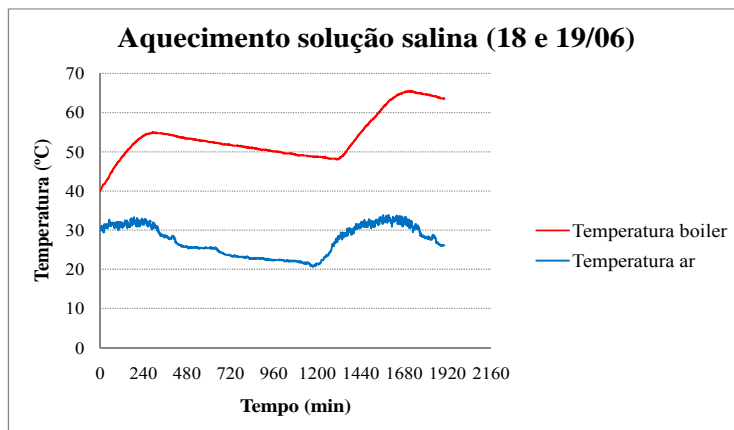


Figura 6. Temperatura da água no “boiler” e do ar (aquecimento de solução salina). O ponto zero do eixo x representa a hora 09:42 da manhã

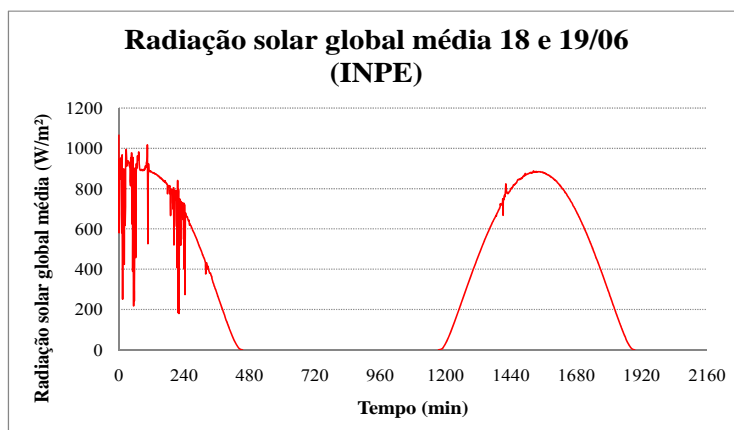


Figura 7. Radiação solar global média nos experimentos com solução salina. O ponto zero do eixo x representa a hora 09:42 da manhã

## 5. Conclusão

Os experimentos demonstraram que o aquecedor solar é eficiente no aquecimento de água, seja esta água comum ou solução aquosa salina, com o fluido atingindo temperaturas próximas a 70 °C nos dias de maior radiação solar, e temperaturas próximas a 50 °C em dias com pouca radiação solar.

Dentro do contexto do projeto para dessalinização de água produzida da UFRN, o aquecedor tem o papel de pré-aquecer a água que entra no destilador, aumentando assim sua produtividade. A faixa de temperaturas atingidas pelo aquecimento é satisfatória nesse sentido, já que a faixa de temperaturas na destilação solar se encontra entre 40 a 70 °C. O pré-aquecimento viabiliza a operação semi-contínua do destilador, com controle do nível da água. Os resultados obtidos são bastante promissores, já que a maioria dos destiladores solares opera em batelada, e a adoção de um regime semi-contínuo sem pré-aquecimento não seria eficiente, pois o sistema seria continuamente abastecido com água fria, o que prejudicaria a evaporação. Com o pré-aquecimento, a alimentação do destilador estará sempre aquecida, o que aumenta a eficiência do destilador, e viabiliza um aumento de escala, para atender a maiores vazões de água de produção.

A aquisição de mais dados experimentais permitirá fazer análises de eficiência do aquecedor, e o mesmo será acoplado ao destilador, onde se poderá mensurar o ganho na produtividade do destilador com o pré-aquecimento da água de produção.

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem à UFRN (Universidade Federal do Rio grande do Norte), ao PRH-ANP 14 (Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo), ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e ao CENPES (Centro de Pesquisa da Petrobras) pelo suporte financeiro no desenvolvimento deste trabalho.

## 7. Referências

AZEVEDO, E. B. Aplicação da fotocatalise para a degradação de poluentes das águas de produção de petróleo. 1998. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Química), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BEZERRA, M. A. Desenvolvimento de um destilador solar para tratamento de águas de produção de petróleo com vistas a sua utilização na agricultura e geração de vapor. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN, 2004.

DUFFIE, J. A., BECKHAM, W. A., 1991. Solar Engineering of Thermal Processes. 2ª Edição, J. Wiley, New York, 1991.

El-Nashar, Ali M., Qamhiyeh, Amer A., 1991, "Performance and Reliability of a Solar Desalination Plant During a Five-year Operating Period", Desalination, n. 82, pp. 165-174.

ESTEBAN C., FRANCO J., FASULO A. Distilador solar asistido con coletor solar acumulador. Universidad Nacional de San Luis, 2000.

LOPES J. T. Dimensionamento e Análise Térmica de um Dessalinizador Solar Híbrido. Universidade Estadual de Campinas, SP, 2004.

MALUF, A. P. Destiladores Solares no Brasil. Universidade Federal de Lavras, MG, 2005.

THOMAS, J. E. Fundamentos de Engenharia de Petróleo. Petrobrás, Rio de Janeiro, 2001.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://www.inpe.br>. Acessado em 26 de Maio de 2008.

Soletrol. Aquecedores Solares de água. Disponível em: <<http://www.soletrol.com.br>>. Acessado em 30 de Maio de 2008.