

## ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA SOB EXPOSIÇÃO DIRETA E INDIRETA DE UM AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA

Rivaldo Ferreira de Abreu, [rivaldoabreu@ifba.edu.br](mailto:rivaldoabreu@ifba.edu.br)<sup>1</sup>  
José Ubiragi de Lima Mendes, [ubiragi@ct.ufrn.br](mailto:ubiragi@ct.ufrn.br)<sup>1</sup>  
Luiz Guilherme Meira de Souza, [lguilherme@dem.ufrn.br](mailto:lguilherme@dem.ufrn.br)<sup>2</sup>  
Dorgival A. da Silva Júnior, [dorgival10@yahoo.com.br](mailto:dorgival10@yahoo.com.br)<sup>2</sup>  
Davi Sales Mendes, [ktovi@hotmail.com](mailto:ktovi@hotmail.com)<sup>3</sup>

<sup>1</sup>IFBA, Barbalho, Salvador-BA.

<sup>2</sup>PPGEM-UFRN, Centro de Tecnologia-Campus Universitário, Natal-RN.

<sup>3</sup>Graduação-UFRN.

TEMA 4: Energia Solar

**Resumo:** A eficiência de um aquecedor de água solar está intimamente relacionada com inúmeros parâmetros, dentre os quais, o posicionamento da superfície absorvedora com relação à irradiação. Objetivando verificar o grau de influência desta disposição, analisou-se a eficiência de um aquecedor solar de água com os tubos através dos quais fluíam água para aquecimento, diretamente voltados para a irradiação solar e, fez-se uma análise comparativa com o mesmo aquecedor quando os tubos não estavam diretamente voltados para a irradiação solar. Para ambos os casos foram medidas variações de temperatura na água, nos tubos e nas superfícies do aquecedor, assim como foram verificados as variações na eficiência para as duas disposições.

**Palavras-chave:** Aquecimento, energia solar, temperatura, água, radiação.

### 1. INTRODUÇÃO

O aquecimento global é uma realidade incontestável. As previsões são em alguns casos mais catastróficas que os alertas que os cientistas ambientais nas últimas décadas vêm fazendo. A substituição de combustíveis convencionais, principalmente do petróleo e seus derivados, por fontes renováveis de energia atingem caráter de imprescindibilidade. Nesse contexto a energia solar tem merecido um destaque especial, juntamente com a energia eólica, que foi a fonte energética que mais avançou nas últimas décadas.

A natureza está respondendo as agressões praticadas pelo homem. O avanço das marés, a alteração do calendário das chuvas, a diminuição da espessura da camada de gelo nos pólos e o aumento perceptível da temperatura ambiente em todas as partes do mundo, são marcas profundas que traduzem a reação do planeta à agressão massiva do ser humano a sua sustentabilidade.

Nas duas últimas décadas as energias alternativas estiveram no centro das discussões principalmente nos países mais desenvolvidos. Conscientes de que o planeta não suporta mais tanta agressão, busca-se encontrar formas alternativas de geração de energia, que não acarretem em danos tão profundos como gerados pelas fontes fósseis.

Segundo o Balanço Energético Nacional (**BEN 2008**), 45% do consumo de energia elétrica no Brasil é direcionado para o setor de edificações ([www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)). O setor residencial responde por 23% do consumo nacional de energia e o consumo do chuveiro elétrico é o segundo maior em uma residência, correspondendo a 25%, perdendo apenas para o refrigerador/freezer que corresponde a 30%. Sua utilização atinge o horário de pico das 18:00 às 19:00 horas, correspondendo a 8,5% da demanda nacional de energia neste horário (**Reis, 2009**).

Estes dados apontam a importância da substituição da fonte elétrica pela fonte solar para a obtenção de água quente principalmente para diminuir-se o consumo de energia elétrica convencional, aliviando a matriz energética brasileira. Esse trabalho apresenta um sistema de aquecimento solar de água para fins residenciais, composto por um coletor solar plano alternativo e um reservatório térmico para o armazenamento da água quente produzida pelo coletor. A placa absorvedora do coletor é composta por oito aletas para alojar os tubos absorvedores aumentando a área de troca térmica entre placa e tubos absorvedores. Estudar-se-ão duas configurações para determinar-se qual a configuração mais eficiente: tubos voltados para cima e tubos voltados para baixo.

Outra inovação do trabalho é a utilização de raspas de pneu como isolante térmico, colocado sobre a superfície inferior interna do coletor. A utilização desse elemento representa uma contribuição ecológica, pelo uso racional das sucatas de pneu que trazem grandes danos ao ambiente.

Serão avaliadas as viabilidades térmicas e econômicas do sistema de aquecimento solar de água que utiliza tubos de PVC e chapa de alumínio de calha como superfícies absorvedoras, e cujo reservatório térmico foi confeccionado a partir de um tambor de polietileno de 200 litros utilizado para armazenamento de água ou lixo residencial. Tal reservatório apresenta custo muito menor que os reservatórios convencionais fabricados em cobre ou inox.

Avaliar-se-á, também, a susceptibilidade à degradação térmica dos tubos absorvedores de PVC através da quantificação da temperatura média da superfície externa dos mesmos, diagnosticando-se se é atingida a temperatura crítica para o início do processo térmico degradativo, em torno de 60° (Souza, 2002).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema de aquecimento construído é formado por um coletor solar plano e um reservatório térmico. O coletor do sistema de aquecimento solar apresenta áreas externa e interna de 1,50 m<sup>2</sup> e 1,30 m<sup>2</sup>, respectivamente.

A cobertura transparente é um vidro plano de 3,0 mm de espessura; a chapa absorvedora é uma chapa de alumínio de 0,5 mm ondulada com oito aletas; a grade absorvedora é formada por oito tubos de PVC com diâmetro externo de 20 mm, ligados em paralelo através de joelhos e conexões em tê do mesmo material e mesmo diâmetro; o isolante térmico utilizado foi a raspa de pneu e a caixa do coletor foi construída em compensado de 15 mm de espessura. A Figura 1. mostra o coletor montado, com todos os elementos constituintes.



Figura 1. Coletor para aquecimento de água montado.

O reservatório térmico (RT 200) foi confeccionado a partir de um elemento base, um tambor de polietileno de 200 litros. O reservatório foi aberto em sua tampa superior e foi colocado no interior de um tambor confeccionado em fibra de vidro com espessura em torno de 5,0 mm. A tampa do reservatório foi construída em fibra de vidro. No espaço entre os dois elementos básicos, cilindro de fibra e tambor de polietileno foi colocada uma camada de EPS triturado. O reservatório térmico do sistema de aquecimento RT200 encontra-se mostrado na Figura 2.



Figura 2. Reservatório térmico do sistema de aquecimento – RT200.

O sistema de aquecimento foi ensaiado para duas configurações distintas: CONFIGURAÇÃO I – Com os tubos absorvedores voltados para cima e CONFIGURAÇÃO II - com os tubos voltados para baixo (Costa, 2007, Santos, 2008, Reis, 2009). A Figura 3 mostra as duas configurações testadas.

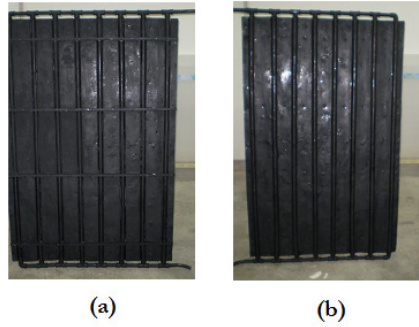


Figura 3. Configurações do conjunto absorvedor testado – (a) tubos para cima  
(b) tubos para baixo

O sistema de aquecimento proposto funciona em regime de termossifão para um volume de água de 200 litros e foi ensaiado para a determinação de sua eficiência térmica. Foram medidos parâmetros que o caracterizam e são necessários para a análise do seu desempenho térmico. Foi também avaliada a susceptibilidade dos tubos de PVC, de atingirem o nível crítico para o início da degradação térmica em torno de 60 °C.

A inclinação em relação à horizontal dada aos coletores foi de 15,5° S isso em função da latitude do local, no caso de Natal, que é de 5,5° S.

Foram medidas as temperaturas de entrada e saída do fluido do coletor, as temperaturas da superfície superior da placa absorvedora, as temperaturas dos tubos absorvedores, as temperaturas da água contida no reservatório em vários pontos (fundo, 1/4, 1/2, 3/4, topo) e radiação solar global.

As temperaturas de entrada e saída do fluido do fluido no interior do reservatório térmico foram medidas entre 8:00 e 15:00 horas, a cada de 30 minutos; as temperaturas da placa absorvedora foram medidas entre 11:00 e 13:00 horas, período de radiação máxima e constante, onde se avaliou a perda máxima apresentada pelo coletor. A temperatura final da água aquecida foi medida após as sete horas de funcionamento.

Os ensaios foram realizados em dias de boas condições solarimétricas, altos índices de radiação solar global e baixa nebulosidade para permitir uma análise comparativa mais real entre os vários dias de ensaio.

A susceptibilidade ao início do processo de degradação térmica pode ser estimada através dos níveis de temperatura alcançados pela superfície externa dos tubos absorvedores, que não devem alcançar 60°C.

O sistema de aquecimento proposto, nas suas duas configurações, encontra-se mostrado na Figura 4.



Figura 4. Sistema de aquecimento em ensaio.

Os parâmetros que melhor caracterizam a eficiência térmica de um coletor solar são o rendimento térmico e o coeficiente global de perdas, que podem ser determinados utilizando-se as equações descritas a seguir.

$$P_{inc} = I.A \quad (1)$$

$$P_{abs} = \tau_v \cdot \alpha_p \cdot I.A \quad (2)$$

$$P_u = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (3)$$

$$P_p = P_{abs} \cdot P_u \quad (4)$$

$$U_{loss} = P_p / A \cdot (T_{mp} - T_a) \quad (5)$$

$$\eta_t = P_u / A.I \quad (6)$$

Onde:

$P_{inc}$  = potência incidente no coletor

$P_{abs}$  = potência absorvida pelo coletor

$P_u$  = potência transferida ao fluido de trabalho

$T_a$  = temperatura ambiente

$A$  = área do coletor

$\dot{m}$  = vazão mássica, em kg/s.

$c_p$  = calor específico do fluido

$\Delta T$  = diferença de temperatura do fluido obtida no sistema

$\alpha_p$  = absorptividade da placa

$\tau_v$  = transmissividade do vidro

$I$  = radiação solar global, em  $\text{kW/m}^2$ .

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

A Tabela 1 mostra os resultados médios gerais obtidos para os três dias de ensaios no coletor para a configuração I - **tubos voltados para cima**.

Tabela 1. Resultados médios gerais obtidos para os três dias de ensaios - configuração I.

<i>DIAS DE ENSAIO</i>	$\Delta T$ (°C)	$I$ ( $\text{kW/m}^2$ )	$\eta_t$ (%)
<i>DIA 1</i>	<i>13,1</i>	<i>0,66</i>	<i>47</i>
<i>DIA 2</i>	<i>13,6</i>	<i>0,69</i>	<i>46</i>
<i>DIA 3</i>	<i>13,6</i>	<i>0,69</i>	<i>46</i>
<i>MÉDIA</i>	<i>13,4</i>	<i>0,68</i>	<i>46,3</i>

Os dados das tabelas mostram que a temperatura de saída do coletor sempre esteve acima dos 40°C, sendo a maior média horária registrada de 49,1 °C. A temperatura de entrada no coletor, no início dos testes, sempre esteve praticamente igual à temperatura ambiente.

A eficiência média do coletor nesta configuração ficou em torno de 46,3%, abaixo em relação aos coletores convencionais (com eficiência superior a 55%), porém superior a maioria dos coletores alternativos, com eficiência térmica em torno de 30 a 35%.

A média da radiação solar global para todos os dias ensaiados esteve em torno de 680  $\text{W/m}^2$ , demonstrando-se a escolha correta para o ensaio comparativo entre as configurações. Foram escolhidos dias de baixa ou ausência de nebulosidade para a caracterização de condições solarimétricas próximas para todos os dias de ensaio.

A Tabela 2 apresenta os níveis de temperatura da água aquecida em vários pontos do reservatório para cada dia de ensaio.

Tabela 2. Níveis de temperatura da água aquecida em vários pontos do reservatório para cada dia de ensaio - configuração I.

<i>DIAS DE ENSAIO</i>	$T_{baixo}$ (°C)	$T_{1/4}$ (°C)	$T_{1/2}$ (°C)	$T_{3/4}$ (°C)	$T_{cima}$ (°C)
<i>DIA 1</i>	38,7	39,2	40,5	41,5	41,8
<i>DIA 2</i>	38,5	39,1	41,2	42,2	42,5
<i>DIA 3</i>	38,8	40,4	42,2	42,9	43
<i>MÉDIA</i>	<i>38,7</i>	<i>39,6</i>	<i>41,3</i>	<i>42,3</i>	<i>42,3</i>

$$T_{média} = 40,8^\circ\text{C}$$

O sistema foi capaz de propiciar água quente no final do dia, com temperatura em média de 4,0°C acima da temperatura considerada ideal para o banho, que é de 36°C demonstrando assim ser possível em 1(um) dia funcionamento, atingir o seu objetivo, mesmo tendo uma eficiência térmica inferior em relação aos coletores convencionais e apesar de estar sendo ensaiado em um período de temperatura ambiente inferior, altos índices de umidade relativa e condições solarimétricas inferiores as registradas na estação de verão convencional.

Em todos os pontos do reservatório térmico obtiveram-se níveis de temperatura acima da temperatura exigida para o banho, entre 34 e 36°C. A diferença entre o nível de temperatura mais elevado, na parte de cima do reservatório e o menor, na parte de baixa, correspondeu a 8,6% o que demonstra que quase toda água contida no tambor esteve perto da uniformidade pretendida.

A Tabela 3 mostra os resultados médios gerais obtidos para os três dias de ensaios no coletor para a configuração II – tubos voltados para baixo.

Tabela 3. Resultados médios gerais obtidos para os três dias de ensaios - configuração II.

<i>DIAS DE ENSAIO</i>	$\Delta T$ (°C)	I (kW/m <sup>2</sup> )	$\eta_t$ (%)
<i>DIA 1</i>	10,2	0,66	36
<i>DIA 2</i>	9,6	0,64	35
<i>DIA 3</i>	10,3	0,68	36
<b>MÉDIA</b>	<b>10</b>	<b>0,66</b>	<b>35,7</b>

A eficiência média do coletor nesta ficou em torno de 35,7%, dentro da faixa correspondente aos coletores alternativos, com eficiência térmica em torno de 30 a 35%.

A média da radiação solar global para todos os dias ensaiados esteve em torno de 660 w/m<sup>2</sup>. Foram escolhidos dias de baixa ou ausência de nebulosidade para a caracterização de condições solarimétricas próximas para todos os dias de ensaio.

A Tabela 4 apresenta os níveis de temperatura da água aquecida em vários pontos do reservatório para cada dia de ensaio.

Tabela 4. Níveis de temperatura média em vários pontos do reservatório térmico para cada dia de ensaio - configuração II

<i>DIAS DE ENSAIO</i>	T <sub>baixo</sub> (°C)	T <sub>1/4</sub> (°C)	T <sub>1/2</sub> (°C)	T <sub>3/4</sub> (°C)	T <sub>cima</sub> (°C)
<i>DIA 1</i>	36	37	38,5	39,4	40,3
<i>DIA 2</i>	35,5	36,5	38,2	39	39,5
<i>DIA 3</i>	36,5	38,4	39,6	40,2	40,7
<b>MÉDIA</b>	<b>36</b>	<b>37,3</b>	<b>38,8</b>	<b>39,6</b>	<b>40,2</b>

$$T_{\text{média}} = 38,4^{\circ}\text{C}$$

O sistema foi capaz de propiciar água quente no final do dia, com temperatura em média de 2,0 a 4,0°C C acima da temperatura considerada ideal para o banho, que está na faixa entre 34 e 36°C, demonstrando assim ser possível em 1(um) dia funcionamento, atingir o seu objetivo, mesmo tendo uma baixa eficiência térmica em relação aos coletores com vencionais.

No que diz respeito aos níveis de temperatura medida em vários pontos do reservatório térmico, percebe-se que estiveram acima dos níveis médios exigidos para o banho, entre 34 e 36°C. A diferença entre o nível de temperatura

mais elevado, na parte de cima do reservatório e o menor, na parte de baixa, correspondeu a 10,5%, o que demonstra que quase toda água contida no tambor esteve perto da uniformidade pretendida.

### 3.1. Resultados de perda térmica para determinação da eficiência térmica do coletor estudado.

#### 3.1.1. Perda térmica – CONFIGURAÇÃO I

Para avaliar a perda térmica do coletor solar foram medidos os níveis de temperatura de parâmetros inerentes a esse processo, que se encontram mostrados em seus valores médios na Figura 5 para a configuração I.

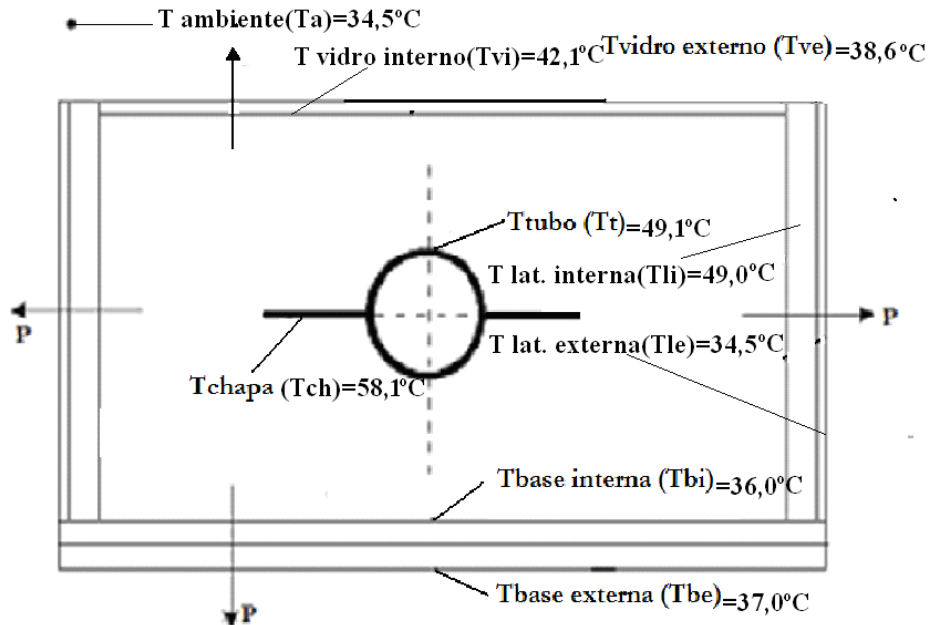


Figura 5. Parâmetros de perda térmica – configuração I.

Utilizando os valores contidos na Figura 4 calculou-se a perda térmica correspondente ao coletor, através do procedimento mostrado abaixo, obtendo-se o valor correspondente a 8,1 W/m<sup>2</sup>.K.

$$P_{inc} = I.A = 700. 1,3 = 910,0 \text{ Watts}$$

$$P_{abs} = \tau_v. \alpha_p. I.A = 0,85.0,9.700.1,3 = 696,7 \text{ Watts}$$

$$P_u = m.c_p. \Delta T = 33.15 = 495 \text{ Watts}$$

$$P_p = P_{abs} - P_u = 696,1 - 495 = 201,1 \text{ Watts}$$

$$U_{loss} = P_p / A.(T_{mp} - T_a) = 293,5 / 1,3.(53,6 - 34,5) = 8,1 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Esse valor está abaixo do limite superior de perda térmica para os coletores convencionais, em torno de 12 W/m<sup>2</sup>.K, o que demonstra a boa eficiência do isolamento térmico empregado. Esse resultado mostra que a raspa de pneu pode ser empregada como isolante térmico em coletores solares, representando uma opção ecologicamente correta para a substituição da lã de vidro, elemento isolante geralmente empregado.

#### 3.1.2. Perda térmica – CONFIGURAÇÃO II

Para a determinação da perda térmica da configuração II foram utilizados os parâmetros mostrados na Figura 6.

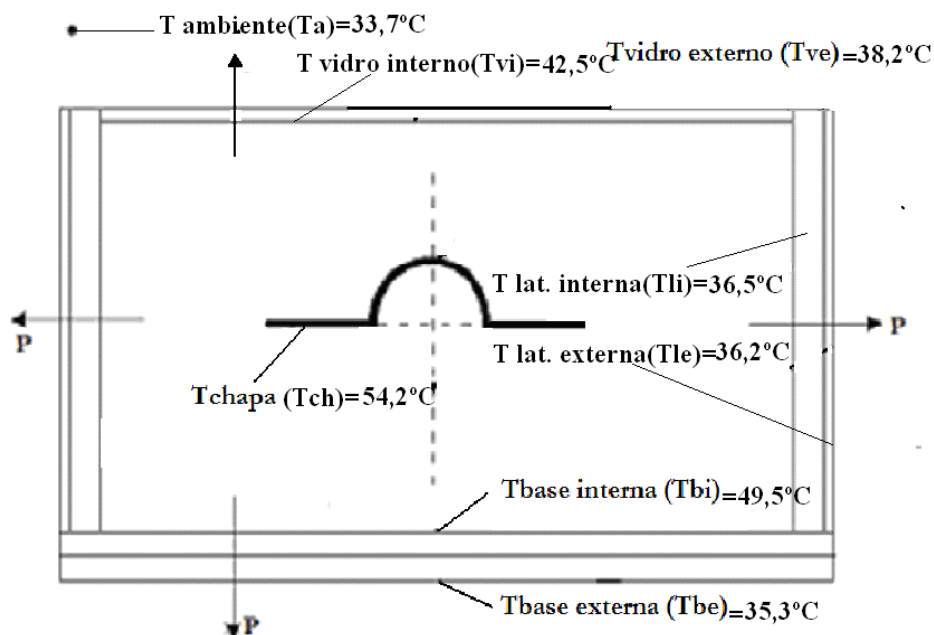


Figura 6. Parâmetros de perda térmica – configuração II.

Utilizando os valores contidos na Figura 6 calculou-se a perda térmica correspondente ao coletor, através do procedimento mostrado abaixo, obtendo-se o valor correspondente a 10,1 W/m<sup>2</sup>.K.

$$P_{inc} = I.A = 700. 1,3 = 910,0 \text{ Watts}$$

$$P_{abs} = \tau_v \cdot \alpha_p \cdot I.A = 0,85 \cdot 0,9 \cdot 700 \cdot 1,3 = 696,7 \text{ Watts}$$

$$P_u = m \cdot c_p \cdot \Delta T = 33 \cdot 12,2 = 402,6 \text{ Watts}$$

$$P_p = P_{abs} - P_u = 696,1 - 402,6 = 293,5 \text{ Watts}$$

$$U_{loss} = P_p / A \cdot (T_{mp} - T_a) = 293,5 / 1,3 \cdot (56,1 - 33,7) = 10,1 \text{ W/m}^2\text{K}$$

O valor encontrado está dentro do limite superior de perda térmica para os coletores convencionais, em torno de 12 W/m<sup>2</sup>.K, o que demonstra a boa eficiência do isolamento térmico empregado.

Os valores médios e máximos da temperatura da superfície externa dos tubos absorvedores de PVC, 49,0°C e 55,2°C estiveram bem abaixo da temperatura para início da degradação térmica, em torno de 60°C, o que demonstra que é viável a utilização de tubos de PVC como elementos absorvedores em coletores solares.

### 3.2. Comparação entre as duas configurações estudadas

As Tabelas 5 e 6 mostram os resultados médios obtidos para cada configuração estudada no que diz respeito aos parâmetros medidos e calculados para o diagnóstico comparativo entre as duas configurações estudadas.

Tabela 5. Resultados médios gerais para os dias de ensaio de cada configuração.

<b>CONFIGURAÇÃO</b>	<b>ΔT</b> (°C)	<b>I</b> (kW/m <sup>2</sup> )	<b>η<sub>t</sub></b> (%)	<b>U<sub>loss</sub></b> (W/m <sup>2</sup> .K)
<b>TUBOS PARA CIMA + RTA200</b>	13,4	0,68	46,3	8,1
<b>TUBOS PARA BAIXO + RTA200</b>	10,0	0,66	35,7	10,1
<b>DIFERENÇA</b>	25,40%	3,0%	23,0%	25%



A configuração que apresentou um melhor desempenho com relação a esses parâmetros foi a **I**, com os tubos voltados para cima, como já era esperado, uma vez que nessa posição os tubos recebem energia diretamente dos raios solares incidentes no coletor. Na configuração II os tubos são aquecidos secundariamente por condução.

No que diz respeito à diferença de temperatura gerada no coletor a configuração I foi 25,4% mais eficiente, para uma diferença de radiação de apenas 20 watts/m<sup>2</sup>, equivalente a 3,0%. A eficiência térmica da configuração I foi cerca de 30,0% mais eficiente e a perda térmica das duas configurações foi praticamente igual.

Tabela 6. Resultados médios gerais das temperaturas da água no reservatório para cada configuração estudada.

<b>CONFIGURAÇÃO</b>	<b>T<sub>baixo</sub></b> (°C)	<b>T<sub>1/4</sub></b> (°C)	<b>T<sub>1/2</sub></b> (°C)	<b>T<sub>3/4</sub></b> (°C)	<b>T<sub>cima</sub></b> (°C)	<b>T<sub>média</sub></b> (°C)
<b>TUBOS PARA CIMA + RTA200</b>	38,7	39,6	41,3	42,3	42,3	40,8
<b>TUBOS PARA BAIXO + RTA200</b>	36	37,3	38,8	39,6	40,2	38,4
<b>DIFERENÇA</b>	7,00%	5,80%	6,00%	6,40%	5,00%	5,90%

Com relação aos níveis de temperatura no reservatório a uniformidade pretendida, T<sub>cima</sub> igual a T<sub>baixo</sub>, esteve próxima de ser alcançada para as duas configurações, porém as temperaturas da água nos vários pontos medidos para a configuração I foram superiores as obtidas com a Configuração II

Para uma maior garantia de fornecimento de água quente, com uma maior segurança na autonomia, recomenda-se a utilização da configuração I pela maior eficiência apresentada pelo sistema.

A Figura 7 mostra a estratificação dos níveis de temperatura medidos no reservatório térmico para as duas configurações estudadas.

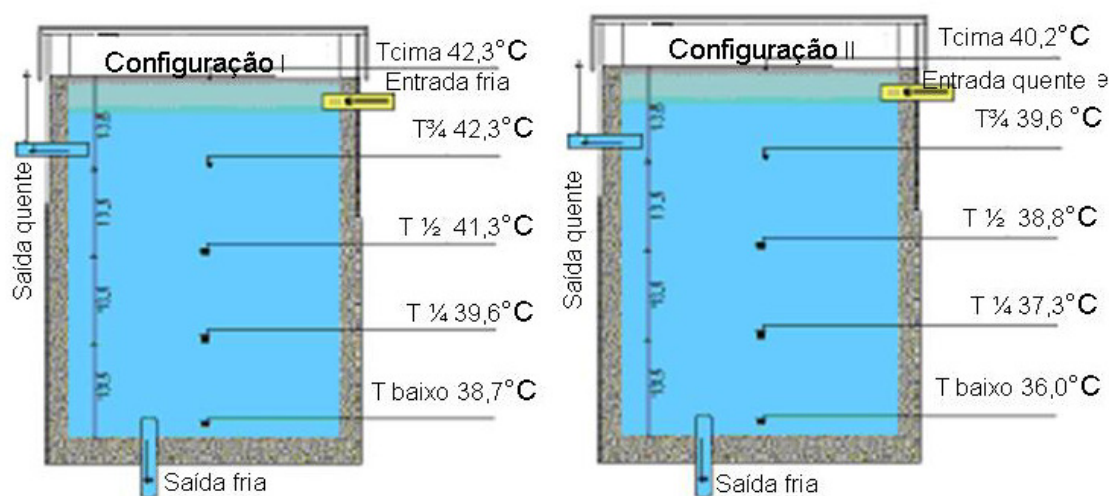


Figura 7. Estratificação no reservatório térmico dos níveis de temperatura medidos – configurações I e II.

### 3.3. Custos do sistema de aquecimento

O custo de fabricação do coletor por m<sup>2</sup> ficou em torno de R\$ 208,00 (US\$ 115,6). O custo de fabricação dos reservatórios térmicos **RTA200** e **RTA100** ficou em torno de R\$ 200,00 (Santos, 2008) e o custo de fabricação do sistema ficou, portanto, abaixo de R\$ 500,00, correspondente a US\$ 277,00.

## 4. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

1. O sistema solar de aquecimento demonstrou-se viável para o aquecimento residencial de água destinada ao banho, para uma família de quatro pessoas;
2. Dentre as configurações estudadas a **configuração I** mostrou-se mais viável por apresentar superioridade em relação aos parâmetros medidos e calculados;



3. Apesar de apresentar resultados inferiores a **configuração II** também pode ser utilizada para a obtenção de água quente para banho residencial;

4. O reservatório térmico utilizado mostrou-se viável para ser utilizado em sistemas de aquecimento, por apresentar um nível de perda térmica próximo aos reservatórios convencionais e um baixo custo;

5. O sistema solar de aquecimento apresentou uma significativa taxa de aquecimento, pois a temperatura no fundo do tambor esteve próxima da temperatura do nível superior, aproximando-se da obtenção de uma temperatura uniforme em toda massa líquida, ideal para um sistema de aquecimento;

6. A temperatura da superfície externa dos tubos de PVC esteve abaixo do nível crítico para início do processo de degradação térmica;

7. A perda térmica do coletor estudado esteve muito próxima do limite máxima para os coletores convencionais, em torno de 12W/m<sup>2</sup>.K, o que demonstra a eficiência dos isolantes térmicos empregados;

8. É necessário se fazer testes por um período mais longo para verificar a sua durabilidade e resistência às intempéries e assim confirmar sua competitividade com coletores disponíveis no mercado.

## 5. AGRADECIMENTOS

Ao PPGEM da UFRN; Ao CNPq; À Capes; Aos Laboratórios de Energia Solar e Mecânica dos Fluidos do NTI-UFRN.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Costa, R.N.A., 2007, “**Viabilidades Térmica, Econômica e de Materiais de um Sistema Solar de Aquecimento de Água a Baixo Custo Para Fins Residenciais**”, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, UFRN.

Duffie, J.A., BECKMAN, W.A., 1991, “**Solar Engineering of Thermal Processes**”, II edition, New York, John & Sons, 757 p.

Reis, E.P., 2009, “**Análise do desempenho térmico de um sistema de aquecimento solar utilizando coletor com superfície absorvedora em chapas de forro de PVC**”, 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Santos, N.R.G., 2008, “**Projeto, Construção e Análise de Desempenho de Coletores Solares Alternativos Utilizando Garrafas PET**”, 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Souza, L.G.M., 2005, “**Low cost alternative solar collector with PVC tubes absorption surface**” COBEM 2005 – Congresso Internacional de Engenharia Mecânica, Ouro Preto.

Souza, L.G.M., 2007, “**Alternative solar energy water heating system**”, COBEM 2007 – Congresso Internacional de Engenharia Mecânica, Brasília.

Souza, L.G.M., 2007, “**System of heating of swimming pool for solar energy**”, COBEM 2007 – Congresso Internacional de Engenharia Mecânica, Brasília.

Souza, L.G.M., et al., 2008, “**Sistema de aquecimento solar utilizando elementos recicláveis**”, CEBENS – ISES – CLA. II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Latinoamericana da ISES, Florianópolis/SC.

## 7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso, incluído no seu trabalho.

# COMPARATIVE ANALYSIS OF EFFICIENCY IN THE EXPOSURE OF A DIRECT AND INDIRECT SOLAR WATER HEATER

Rivaldo Ferreira de Abreu, [rivaldoabreu@ifba.edu.br](mailto:rivaldoabreu@ifba.edu.br)<sup>1</sup>

José Ubiragi de Lima Mendes, [ubiragi@ct.ufrn.br](mailto:ubiragi@ct.ufrn.br)<sup>1</sup>

Luiz Guilherme Meira de Souza, [lguilherme@dem.ufrn.br](mailto:lguilherme@dem.ufrn.br)<sup>2</sup>

Dorgival A. da Silva Júnior, [dorgival10@yahoo.com.br](mailto:dorgival10@yahoo.com.br)<sup>2</sup>

Reginaldo Dias dos Santos, [reginaldodias@yahoo.com.br](mailto:reginaldodias@yahoo.com.br)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>IFBA, Barbalho, Salvador-BA.

<sup>2</sup>PPGEM-UFRN, Centro de Tecnologia-Campus Universitário, Natal-RN.

Theme 4: Solar Energy

**Abstract.** *The efficiency of a solar water heater is closely related to numerous parameters, among which, the positioning of the absorber surface with respect to irradiation. To verify the degree of influence of this provision, we analyzed the efficiency of a solar water heater with tubes through which flowed water heating, directly facing the sunlight, and there was a comparative analysis with the same heater when the tubes were not directly facing the sunlight. For both cases were measured temperature variations in the water in pipes and on surfaces of the heater, as well as variations were observed in efficiency for the two provisions.*

**Keywords:** *heating, solar energy, temperature, water, radiation.*

The authors are solely responsible for the content of printed material included in his work ..