

COLETOR SOLAR ALTERNATIVO PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA RESIDENCIAL

Luiz Guilherme Meira de Souza¹, lguilherme@dem.ufrn.br
Alexandre Bolera Lopo², alexandre@ifba.edu.br
José Ubiragi de Lima Mendes³, ubiragi@ct.ufrn.br
Magno César Silva de Souza⁴, magnomecvahoo.com.br
Natanaeyfle Randemberg Gomes dos Santos⁵, natan_mec@yahoo.com.br
Luiz Guilherme Vieira Meira de Souza⁶, lguilherme_souza@hotmail.com

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Natal/RN

Resumo: *Apresenta-se um coletor solar a ser utilizado em um sistema para aquecimento de água destinada ao banho, cujas principais características são o baixo custo e fáceis processos de fabricação e montagem. A superfície absorvedora do coletor é formada por doze tubos de PVC de 25mm de diâmetro externo ligados em paralelo através de conexões em T do mesmo material. Os tubos absorvedores foram recobertos por aletas confeccionadas através de latas de cervejas e refrigerantes. Foram estudadas oito configurações entre placa absorvedora, isolante térmico de placas de EPS e reservatórios térmicos de 150 e 200 litros. O sistema absorvedor funcionou em regime de termo-sifão. Determinou-se a configuração mais eficiente para o fim proposto. Foram avaliados parâmetros térmicos que comprovaram a viabilidade do sistema de aquecimento estudado.*

Palavras-chave: *Coletor solar; aquecimento de água; energia solar; baixo custo*

1. INTRODUÇÃO

O aquecimento de água através por meio de coletores solares têm representado juntamente com as células fotovoltaicas, conversoras da energia solar em eletricidade, uma das aplicações mais viáveis de utilização, tanto residencial quanto industrial (Reis, 2009).

O setor residencial responde por 23 % do consumo nacional de energia e de acordo com manual de uma companhia de energia do Brasil 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 h às 19 horas, correspondendo a 8,5 % da demanda nacional de energia neste horário (Varella, 2004).

O relatório do Balanço Energético Nacional indica que o consumo de energia elétrica no Brasil foi 428.250 GWh, sendo que 95.585 GWh, foi direcionado para o setor residencial e desde, 17,3% ou 16.515 GWh foram utilizados pelo nordeste brasileiro. (MME, 2009)

Os dados apontam a importância da substituição da fonte térmica elétrica por fontes alternativas e renováveis como a fonte solar para a obtenção de água quente, visando à diminuição do consumo de energia elétrica convencional.

Buscando-se formas para reduzir o custo dos sistemas de aquecimento, vem-se estudando há mais de 15 anos no âmbito do Laboratório de Energia Solar da UFRN sistemas alternativos para tornar viável o uso da energia solar para o fim proposto tornando-a acessível a uma maior parcela da população, como forma de socializar o seu uso.

O presente trabalho apresenta um modelo de coletor solar com apenas dois elementos, tubos absorvedores de PVC ligados em paralelo através de conexões do mesmo material e isolante térmico para algumas configurações e até mesmo com o coletor sendo constituído apenas pela grade absorvedora. O sistema de aquecimento em estudo é constituído pelo coletor solar e reservatório térmico e destina-se à obtenção de água quente para banho de uma família com quatro pessoas em substituição ao chuveiro elétrico.

Foram estudadas oito configurações do sistema de aquecimento de água, utilizando dois reservatórios de água de capacidades de 150 e 200 litros. O isolante térmico utilizado foi o poliestireno expandido, ou EPS, chamado de isopor, em placa, que não oferece riscos a saúde de quem o manuseia, ao contrário da lã de vidro tradicionalmente utilizada em sistemas convencionais de aquecimento solar de água.

Uma inovação na construção do coletor é a conexão dos tubos constituindo a grade absorvedora. Outra inovação do coletor estudado foi o uso de aletas absorvedoras construídas com material reciclado oriundo de latas de cervejas e refrigerantes com o objetivo de aumentar a área de captação da radiação solar global.

Os reservatórios térmicos utilizados apresentam custo de fabricação inferior aos convencionais de cobre ou inox, de elevado preço, em torno de R\$ 1.500,00 para 200 litros. Têm como elemento base um tambor de polietileno de volume igual a 200 litros, utilizado para depósito de água e/ou lixo, de custo equivalente R\$ 50,00, revestido de um cilindro confeccionado em fibra de vidro. Tal reservatório tem custo em torno de 20% em relação aos reservatórios convencionais de mercado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema de aquecimento considerado é composto por um coletor com grade absorvedora formada por tubos de PVC, em paralelo, e um reservatório térmico para armazenamento de água quente. A seguir são descritas as principais características do coletor e do armazenador térmico, mostrando seus processos de construção e montagem.

A grade absorvedora do coletor tem tubos de entrada e saída de fluido formados pela união de 12 conexões em T (tê) de PVC de 25 mm, para cada tubo, onde estão conectados os 12 tubos absorvedores de mesmo material e diâmetro.

O sistema de aquecimento solar de água estudado é formado por um coletor solar plano e um reservatório térmico montados em oito tipos de configurações. O coletor apresenta as seguintes dimensões: largura: 0,80 m e comprimento de 1,89 m; com área correspondente a 1,52 m².

Os reservatórios térmicos alternativos **RT 150** e **RT 200**, de volumes correspondentes a 150 e 200 litros, respectivamente, foram confeccionados a partir de um tambor de polietileno de 200 litros.

O sistema de aquecimento solar de água construído foi ensaiado para alguns tipos de configurações, durante três dias por configuração, para dois volumes do tanque armazenador. A Tabela 1 apresenta as configurações estudadas.

Tabela 1. Tipos de configurações estudadas.

<i>TIPOS DE CONFIGURAÇÕES</i>	<i>DESCRIÇÃO</i>
<i>CONFIGURAÇÃO I</i>	grade absorvedora sem aletas e sem base de EPS + RT150
<i>CONFIGURAÇÃO II</i>	grade absorvedora sem aletas e sem base de EPS + RT200
<i>CONFIGURAÇÃO III</i>	grade absorvedora sem aletas e com base de EPS + RT150
<i>CONFIGURAÇÃO IV</i>	grade absorvedora sem aletas e com base de EPS + RT200
<i>CONFIGURAÇÃO V</i>	grade absorvedora com aletas e sem base de EPS + RT150
<i>CONFIGURAÇÃO VI</i>	grade absorvedora com aletas e sem base de EPS + RT200
<i>CONFIGURAÇÃO VII</i>	grade absorvedora com aletas e com base de EPS + RT150
<i>CONFIGURAÇÃO VIII</i>	grade absorvedora com aletas e com base de EPS + RT200

O sistema de aquecimento proposto funciona em regime de convecção natural ou termosifão para volumes de água de 150 e 200 litros e foi ensaiado para a determinação de sua eficiência térmica, sendo medidos parâmetros que o caracterizam e são necessários para a análise do seu desempenho térmico.

Foram medidas as temperaturas de entrada (T_{es}) e saída (T_{sc}) do fluido do coletor, as temperaturas da superfície externa dos tubos em vários pontos e a temperatura da água contida no reservatório e radiação solar global. Mediu-se também a temperatura da água em vários pontos do RT: no fundo do reservatório representada por T_f , a temperatura na altura de $1/4$ representada por $T_{1/4}$, a temperatura da água no meio do reservatório representada por $T_{1/2}$, a temperatura na altura de $3/4$ representada por $T_{3/4}$ e T_c representando a temperatura na água na parte de cima do reservatório.

Foi utilizado na medição de temperatura o termômetro digital do fabricante INSTRUTHERM, modelo TH-060, os dados técnicos desse instrumento podem ser verificados no anexo A. O instrumento é apresentado na Figura 3.9.

As temperaturas de entrada e saída do fluido foram medidas entre 8 e 15 horas, a cada de 30 minutos, desta forma a temperatura final da água aquecida foi medida após as sete horas de funcionamento.

Avaliou-se, também, a susceptibilidade dos tubos de PVC, de atingirem o nível crítico para o início da degradação térmica em torno de 60 °C, para isso as temperaturas das aletas e tubos absorvedores e ambiente foram medidas entre 11 e 13 horas, período de radiação máxima e constante, em vários pontos da grade do coletor.

Os ensaios do coletor, nas oito configurações, 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 ensaios. O sistema de aquecimento alternativo proposto, na configuração III, encontra-se mostrado na Figura 1.



Figura 1. Sistema solar alternativo de aquecimento de água em funcionamento na configuração III.

Os dados sobre a radiação solar foram obtidos no site do INPE-CRN, Instituto Nacional de Pesquisas Aplicadas - Centro Regional do Nordeste (www.crn2.inpe.br), localizado no interior da UFRN, próximo à área onde foi instalado o coletor solar em estudo. Além dos dados sobre radiação solar obtidos no INPE utilizou-se o medidor de energia solar digital e portátil do fabricante INSTRUTHERM, modelo MES-100, para essa finalidade. Os dados técnicos desse instrumento podem ser verificados no anexo B.

Para testar a eficiência térmica do reservatório alternativo encheu-se o mesmo e o interligou ao coletor proposto. Após um dia de funcionamento do sistema de aquecimento, às 15 horas, mediu-se a temperatura da água contida no reservatório, correspondente a 45°C e cortou-se a comunicação do mesmo com o coletor para evitar a troca térmica entre o reservatório e o coletor durante a noite.

Colocou-se um termopar do tipo K, de cromel-alumel, no interior do reservatório térmico alternativo proposto para medir a temperatura da água, outro na superfície externa do mesmo para medir sua temperatura e outro para medir a temperatura ambiente. O teste consistiu em medir essas temperaturas, a cada hora, durante toda a noite para quantificar a queda de temperatura na massa de água contida no reservatório.

Os parâmetros que melhor caracterizam a eficiência térmica de um coletor solar são **o rendimento térmico e o coeficiente global de perdas. E podem ser calculados através dos procedimentos.**

Determina-se o Coeficiente Global de Perda Térmica a partir do conhecimento dos parâmetros potência absorvida pelo coletor ($P_{abs.}$), potência transferida ao fluido de trabalho (P_u), temperatura média de placa (T_{mp}) e temperatura ambiente (T_a), da área do coletor (A), da vazão mássica (\dot{m}), do calor específico do fluido (c_p) e da diferença de temperatura do fluido obtida no sistema (ΔT), conforme as equações (1) a (5).

$$P_{abs} = \alpha_p \cdot I \cdot A \quad (1)$$

$$P_u = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (2)$$

$$P_p = P_{abs} - P_u \quad (3)$$

$$U_{loss} = \frac{P_p}{A \cdot (T_{mp} - T_a)} \quad (4)$$

O rendimento térmico do coletor em estudo pode ser determinado através do conhecimento da potência transferida ao fluido de trabalho, da energia incidente no coletor solar e da sua área.

$$\eta_t = \frac{P_u}{A \cdot I} \quad (5)$$

$$P_u = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (6)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 apresenta os resultados médios obtidos para todas as configurações estudadas para RT150 e RT200.

Tabela 2. Resultados médios obtidos para todas as configurações estudadas para RT 150 e RT 200.

Nº	ΔT (°C)	I (W/m^2)	η (%)
I	8,9	826	18,5
II	7,7	816	21,6
III	9,8	802	21,4
IV	9,1	810	24,5
V	9,2	836	18,6
VI	8,9	870	23,5
VII	11,4	860	22,4
VIII	9,3	836	25,3

No que concerne a diferença de temperatura obtida no coletor a configuração mais eficiente foi a VII – COM ALETAS E COM EPS. Porém em relação ao rendimento térmico as configurações IV - SEM ALETAS + com EPS + RT-200 e VII - COM ALETAS + COM EPS + RT-200 foram as mais viáveis. Isso pode ser explicado pelo aumento na vazão correspondente a 33,4%.

No que diz respeito à radiação solar global a variação máxima observada esteve em torno de 8,8%, portanto a constância pretendida esteve próxima de ser alcançada.

A eficiência média do coletor para todas as configurações ficou abaixo da maioria dos coletores alternativos, com eficiência térmica em torno de 30 a 35%. Já se tinha ciência que a mesma era de significativa magnitude uma vez que o coletor não tem cobertura transparente para minimizar as trocas convectivas e radiativas com o meio ambiente e não está contido em uma caixa com isolamento no fundo e laterais.

O gráfico da Figura 2 apresenta o comportamento assumido pelos valores médios dos parâmetros estudados para todas as configurações em RT150 e RT200.

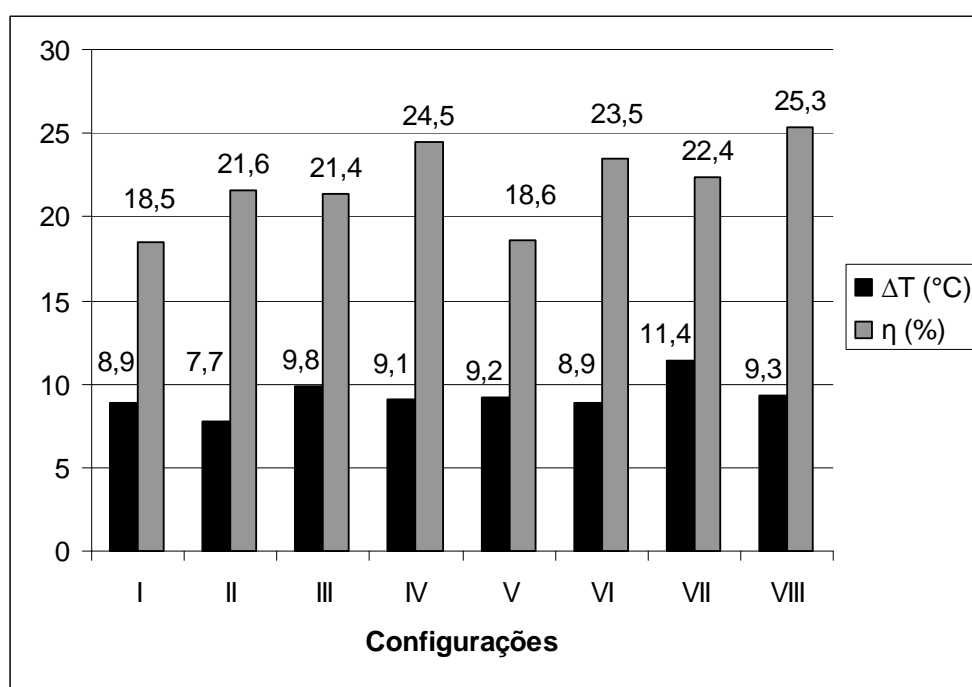


Figura 2. Comportamento assumido pelos valores médios dos parâmetros estudados para todas as configurações em RT150 e RT200.

A Tabela 3 apresenta os valores médios da temperatura em vários pontos no interior do RT150.

Tabela 3. Valores médios de temperatura da água aquecida em vários pontos do reservatório para as configurações estudadas com RT150 e RT200.

Tipo	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
T_f	32,0	32	32,4	33,5	35,7	33,2	37,9	33,6
$T_{1/4}$	32,5	34,3	33,1	36,7	38,5	36,2	40,7	37,7
$T_{1/2}$	37,3	35,7	36,4	37,5	39,6	38,2	41,8	39
$T_{3/4}$	38,7	36,2	38,9	37,9	40,3	39,3	42,8	39,4
T_c	38,9	36,5	39,3	38,1	40,6	39,9	43	39,8
$T_{mistura}$	37,1	36,0	38,5	37,1	40,1	38,1	41,5	38,9
$\Delta T(\%)$	21,5	14,1	21,3	13,7	13,7	20,2	13,5	18,4

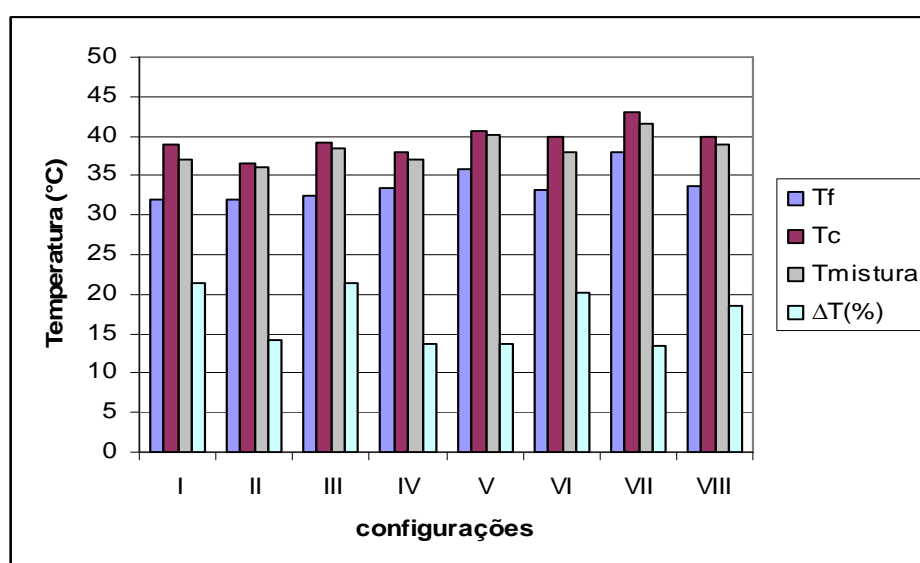


Figura 3. Comportamento assumido pela temperatura da água em vários pontos dos reservatórios RT 150 e RT 200 no final do ensaio.

A Figura 4 apresenta os valores finais da temperatura da mistura da água para todas as configurações e a variação percentual entre a temperatura de cima e do fundo do reservatório no final do ensaio às 15h.

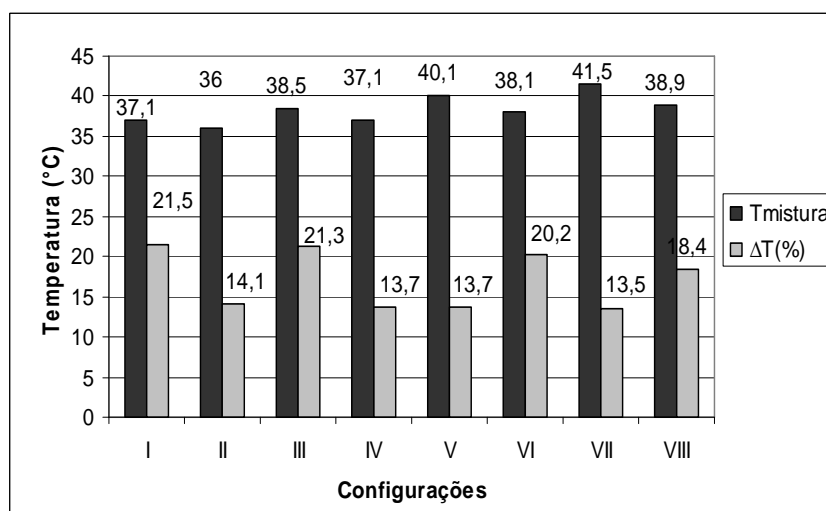


Figura 4. Comportamento da temperatura da água depois de misturada para as configurações estudadas .

As configurações estudadas proporcionaram o aquecimento da água no reservatório térmico em nível propício para banho, igual ou acima de 36,0°C. A configuração VII - COM ALETAS E EPS + RT150 teve a vazão correspondente a 21,42 litros/hora.

No gráfico da Figura 4 identifica-se que a configuração II teve a maior a variação percentual (21,5%) entre as temperaturas da água da parte de cima e do fundo do reservatório com a conclusão do ensaio. O dado indica a falta de uniformidade da temperatura, em função da mais alta vazão proporcionada pelo reservatório de 200 litros.

Identifica-se que a configuração VII atingiu a maior temperatura de mistura, equivalente a 41,5 °C, e teve a menor variação percentual (13,5%) entre T_c e T_f, o que indica uma maior uniformidade de temperatura no reservatório de 150 litros.

No que diz respeito à uniformidade de temperatura no reservatório térmico, condição importante para um sistema de aquecimento de água a variação ficou na faixa de 13,5 a 21,5%.

As temperaturas da superfície externa superior da placa absorvedora foram medidas para a determinação da temperatura média da placa absorvedora e a sua susceptibilidade à degradação térmica.

A Tabela 4 apresenta os valores médios da temperatura média da grade absorvedora para as quatro configurações estudadas.

Tabela 4. Valores médios da temperatura média da grade absorvedora para as quatro configurações estudadas.

TIPO DE CONFIGURAÇÃO	TEMPERATURA MÉDIA DA GRADE (°C)
I	36,3
III	36,2
V	36,7
VII	37,6

Os níveis de temperatura da superfície superior da grade absorvedora do coletor solar exposta à radiação solar estiveram muito distantes do nível crítico para início da degradação térmica, em torno de 60°C.

Para a determinação do coeficiente global de perda térmica foi utilizado o método da potência perdida, que foi calculado seguindo-se o procedimento abaixo descrito, a partir dos parâmetros térmicos medidos durante os testes realizados.

Foram determinadas as potências absorvida e transmitida pelo coletor ao fluido de trabalho e através desses dois parâmetros calculou-se a potência perdida pelo coletor, e em seguida o coeficiente global de perda térmica.

Escolheu-se a configuração mais eficiente e que deve ser recomendada como a configuração mais viável para o sistema de aquecimento estudado.

$$P_{abs} = \alpha_p \cdot A \cdot I = 0,81,52 \cdot 900 = 1094,4 \text{ W}$$

$$P_u = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T = 24,9 \cdot 13 = 323,7 \text{ W}$$

$$P_p = P_{abs} - P_u = 1094,4 - 323,7 = 770,7 \text{ W}$$

$$U_{loss} = \frac{P_p}{A \cdot (T_{mp} - T_a)} = \frac{770,7}{1,52 \cdot (310,6 - 304,5)} = 83,12 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$$

Percebe-se que o coeficiente global de perda térmica é elevadíssimo e muito superior em relação aos coletores convencionais de mercado, com U_{loss} entre 6,0 e 12,0 W/m².K (Souza, 2002), o que era esperado, uma vez que o mesmo não possui cobertura transparente e foi utilizado um isolante térmico com apenas 20 mm de espessura. A troca convectiva com o ambiente é muito significativa, contribuindo para uma perda térmica elevadíssima.

O reservatório térmico utilizado apresentou significativa eficiência térmica. Houve uma queda de temperatura, durante as 24 horas, correspondente a 4,7°C Essa queda de temperatura está um dentro da média apontada pela literatura para reservatórios térmicos convencionais, de cobre ou inox, que apresentam valores em torno de 5°C para o nível de temperatura testado. Ressalta-se, ainda, o preço do reservatório alternativo proposto, muito menor que os reservatórios convencionais.

Percebe-se que a temperatura da superfície externa do reservatório esteve bem próxima da temperatura ambiente durante toda a noite refletindo uma baixa perda térmica pela lateral do reservatório. A temperatura do reservatório só alcançou valores bem acima da temperatura ambiente para o período em que a o reservatório passou a ser aquecido pela radiação solar global absorvida pelo mesmo, uma vez que foi pintado com tinta preto fosco. Portanto, a perda mais significativa ocorreu pela parte inferior e/ou tampa do reservatório.

No que diz respeito à resistência mecânica do reservatório alternativo proposto não se verificou danos à sua estrutura, demonstrando suportar o peso correspondente ao volume de água contido no reservatório. Não houve também ocorrência de vazamentos, o que atesta sua boa vedação, obtida através de resina isoftálica.

Para a construção do coletor estudado os principais materiais utilizados foram: tubos de PVC de ½”; latas de alumínio de material reciclado; tês de ½” e cola PVC e outros. O custo de fabricação do coletor ficou em R\$ 77,00 e encontra-se discriminado na Tabela 4.23.

Em relação ao reservatório térmico de 150 e 200 litros, o custo de fabricação de cada um ficou em torno de R\$ 250,00 (Santos, 2008).

O custo total do sistema de aquecimento de água alternativo foi de R\$ 327,00 ou US\$ 178,10 (cotação 31/01/2010). Não foram computados os custos de mão-de-obra.

4. CONCLUSÕES

O sistema solar de aquecimento demonstrou-se viável para o aquecimento residencial de água destinada ao banho, para uma família de quatro pessoas;

Todas as configurações testadas mostraram-se viáveis para o fim proposto, de obtenção de água quente destinada ao banho em nível correspondente a no mínimo 36°C;

A configuração VII – COM ALETA E EPS + RT150 foi a mais termicamente viável para o fim proposto;

A configuração IV foi a mais economicamente viável do, pois dispensa custos de mão de obra para a colocação das aletas nos tubos absorvedores.

O sistema de aquecimento testado apresenta baixa relação custo benefício, podendo contribuir sensivelmente para a socialização do uso da água aquecida para banho através da energia solar;

Os reservatórios térmicos apresentaram um nível de perda térmica próximo aos reservatórios convencionais;

A temperatura da placa absorvedora de PVC esteve abaixo do nível crítico para início do processo de degradação térmica;

A perda térmica do coletor estudado é muito superior a relativa aos coletores convencionais, e até mesmo em relação a outros coletores alternativos;

O isolante térmico colocado na superfície inferior da placa absorvedora mostrou-se eficiente, mas é preciso estudar uma maneira de não deixá-lo exposto ao ambiente;

O coletor proposto é a mais simples configuração para um sistema de aquecimento solar de água, podendo ser facilmente confeccionado por usuários de quaisquer níveis culturais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, R. F.; 2009, “Estudo Térmico de um Sistema Solar de Aquecimento de Água Residencial para duas Configurações de Superfície Absorvedora”, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, UFRN.
- 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.
- 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; Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, UFRN.
- Souza, L.G.M.; 2007, “Alternative solar energy water heating system”, XIX COBEM – Congresso Internacional de Engenharia Mecânica, Brasília.
- Souza, L.G.M.; 2004, “Análise comparativa entre coletor solar plano convencional e coletor solar alternativo composto por múltiplos tubos de PVC”, IV CONEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Belém - PA, 2004.
- Souza, L.G.M.; 2004, “Coletor solar não convencional, de baixo custo, composto por múltiplos tubos absorvedores de PVC”, IV CONEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Belém - PA.
- 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 Latino Americana da ISES, Florianópolis/SC.
- Souza, L.G.M.; Gomes, U.U.; 2002, “Viabilidades térmica, econômica e de materiais da utilização de tubos de PVC como elementos absorvedores em coletores de um sistema de aquecimento de água por energia solar”, Tese de Doutorado do Programa de Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais, UFRN.
- Souza, L.G.M.; 2006, “Sistema de aquecimento solar de água para aplicações residenciais utilizando materiais alternativos”, V CONEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Recife-Pe.
- Souza, J. R.; 2008, “Projeto, Construção e Levantamento de Desempenho de um Concentrador Solar Cilindro Parabólico com Mecanismo Automático de Rastreamento Solar”; Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, UFRN.

6. DIREITOS AUTORAIS

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

***Abstract.** It presents a solar collector to be used in a system for heating water for bathing, whose main characteristics are low cost and easy manufacturing and assembly. The system operates under natural convection or thermosiphon. The absorbing surface of the collector is formed by twelve PVC pipes of 25 mm outside diameter connected in parallel via connections in T of the same material. The tubes were covered with absorbing fins made with recycled aluminum cans. We studied eight settings between absorber plate, thermal insulating EPS boards and thermal reservoirs 150 and 200 liters. It was determined the most efficient configuration for the correct purpose. We evaluated thermal parameters that proved the viability of the heating system studied.*

***KEYWORDS:** Solar Collector, Water Heating, Solar Energy, Recycling, Low Cost.*