

SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR UTILIZANDO ELEMENTOS RECICLÁVEIS

Luiz Guilherme Meira de Souza – lguilherme@dem.ufrn.br

Natanaelyfle Randemberg- natan_mec@yahoo.com.br

Lorna Falcão Félix Félix – lorna_ambiental@hotmail.com

Reginaldo Dias dos Santos – reginaldodias@yahoo.com.br

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica

Resumo. *Apresenta-se um sistema de aquecimento de água solar através do uso da energia solar, trabalhando em regime de termosifão, constituído por um ou dois coletores, coletores alternativos e um reservatório armazenador de água também alternativo, cuja principal finalidade é socializar o uso da energia principalmente por populações de baixa renda. Os coletores foram construídos a partir de da utilização de garrafas PET, latas de cerveja e refrigerantes de tubos de PVC de ½” e os reservatórios térmicos a partir de um tambor de polietileno de 250 litros, revestido por um cilindro de fibra de vidro, tendo EPS triturado entre as duas superfícies. Tais coletores são formados por apenas três elementos: garrafa PET, latas e tubos absorvedores. As unidades de aquecimento que formam o coletor contêm em seu interior as latas podem estar fechadas, vazadas ou em forma de aletas. Os coletores possuem uma grade absorvedora formada por oito tubos absorvedores de PVC, ligados através de conexões em T do mesmo material e diâmetro. Serão apresentados dados de rendimento e perdas térmicas que demonstram a eficiência do sistema de aquecimento proposto. Abordar-se-á também os aspectos relativos a susceptibilidade de degradação dos tubos de PVC quando expostos a radiação solar. Mostrar-se-á que tal sistema de aquecimento alternativo, que tem como principal característica seu baixo custo, apresenta viabilidade térmica, econômica e de materiais.*

1. INTRODUÇÃO

Com a ênfase dada à questão ambiental, o aquecimento global transformou-se em prioridade para os países desenvolvidos. Nestes, a substituição de combustíveis convencionais, principalmente do petróleo e seus derivados, por fontes renováveis de energia atinge caráter de imprescindibilidade. Nesse contexto a energia solar tem merecido um destaque especial, juntamente com a energia eólica.

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2003, 42 % do consumo de energia elétrica no Brasil é direcionado para o setor de edificações (Varella, 2004). O setor residencial responde por 23 % do consumo nacional de energia e o consumo do chuveiro elétrico é o segundo maior em uma residência. 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 (Varella, 2004). Estes dados apontam a importância da substituição da fonte térmica elétrica pela fonte solar para a obtenção de água quente principalmente em tempo de utilização prioritária racional de energia.

Os dispositivos solares utilizados para a produção de água quente são os coletores que podem ser divididos em dois grupos os convencionais e os alternativos, sendo os planos mais utilizados. Tais coletores geralmente são constituídos por tubos absorvedores de cobre, chapa absorvedora de cobre ou alumínio, cobertura de vidro e isolamento térmico de lã de vidro e a grade absorvedora confeccionada na configuração em paralelo. Os sistemas de aquecimento convencionais são de preço ainda relativamente caro, não estando acessível à maioria da população. Para uma residência com quatro pessoas, o sistema fica acima de R\$ 3.000,00.

Buscando-se formas para baratear o custo dos sistemas de aquecimento, vem-se estudando há mais de 20 anos no LES/UFRN sistemas alternativos de baixo custo, utilizando materiais alternativos, para tornar viável o uso da energia solar e socializá-la.

Este trabalho apresenta o estudo de coletores de baixo custo que utilizam a garrafa PET reciclada como elemento gerador de efeito estufa, no interior da qual está um tubo absorvedor revestido por uma aleta também feita de material reciclado, qual seja, latas de cerveja e refrigerantes. Serão determinados parâmetros térmicos que espelham a eficiência térmica de um sistema de aquecimento solar de água.

Esse tipo de coletor já é apresentado pela literatura, porém apresentam-se algumas modificações e novidades tecnológicas que produzem o aumento de sua eficiência. Dentre essas modificações destaca-se uma nova forma de união entre duas garrafas e a utilização de latas de cerveja e refrigerante inteiras, semi-cortadas ou em forma de aleta, em substituição as embalagens tetra-pak.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. OS COLETORES ALTERNATIVOS NO MUNDO

O principal objetivo do estudo de coletores alternativos é a redução do custo de fabricação, buscando a socialização do seu uso em sistemas de aquecimento de água. Com este objetivo, vários trabalhos foram desenvolvidos, demonstrando que os coletores solares plásticos de baixo custo têm sido estudados desde os anos 70

Quando se opta pelo uso do plástico como elemento absorvedor e condutor tem-se que investigar os efeitos das degradações térmica e por ultravioleta. Souza, 2002, demonstrou que essas degradações causam danos apenas microestruturais aos tubos, não comprometendo a sua macroestrutura. Essa constatação não inviabiliza, portanto, o uso de tubos de PVC como elementos absorvedores e condutores de radiação solar.

Cristofari *et al.*, propuseram em 2002, estudar um novo material para a caixa do coletor, que se caracteriza por ter baixa condutividade térmica, ser mais resistente à corrosão, ter baixo peso e menor custo; por ter uma geometria retangular de passagem de fluxo para aumentar sua rigidez; e por utilizar uma nova metodologia de cálculo onde a capacidade calorífica de vários componentes é levada em conta, permitindo uma simulação dinâmica do comportamento do sistema.

Souza (2004) estudou comparativamente dois tipos de coletores, um alternativo e outro plano convencional, demonstrando a competitividade do alternativo com grade absorvedora constituído por múltiplos tubos de PVC em relação ao coletor plano convencional com tubos de cobre.

Souza (2005) estudou um coletor alternativo constituído por apenas três elementos: caixa, grade absorvedora e vidro. A caixa foi confeccionada em material compósito e a grade absorvedora era composta de múltiplos tubos de PVC ligados em paralelo. Demonstrou-se as viabilidades térmica, econômica e de materiais do coletor solar proposto.

Souza (2006) estudou um sistema de aquecimento alternativo de baixo custo composto por um coletor solar alternativo e um reservatório térmico alternativo. O coletor tinha grade absorvedora de PVC e o reservatório foi confeccionado a partir de um tambor de polietileno de 200 litros, revestido por material compósito a base de gesso, EPS triturado e água. Demonstrou-se as viabilidades térmica, econômica e de materiais do sistema em estudo.

Souza (2007) estudou um sistema de aquecimento alternativo constituído por um coletor com grade absorvedora de tubos de PVC ligados em paralelo através de tês de PVC de mesmo diâmetro e um reservatório térmico alternativo construído a partir de um tambor de polietileno revestido por um cilindro confeccionado em fibra de vidro. Demonstrou-se as viabilidades térmica, econômica e de materiais do sistema em estudo.

2.2. DESENVOLVIMENTO DE COLETORES SOLARES ALTERNATIVOS NO LES/UFRN

Buscando formas de obtenção de um sistema de aquecimento a baixo custo, vem-se estudando a mais de 20 anos no âmbito do Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Norte sistemas alternativos para tornar viável o uso da energia solar para o fim considerado e torná-lo acessível a uma maior parcela da população. Foram desenvolvidos, construídos e estudados vários tipos de coletores alternativos de diferentes materiais e geometrias, com custo inferior aos coletores e sistemas de aquecimento disponíveis no mercado.

A Figura 1 mostra um sistema de aquecimento estudado por Souza, em 2006, constituído por um coletor solar alternativo com grade absorvedora constituída por tubos absorvedores de PVC. Foi demonstrado que tal sistema é viável para aplicações residenciais tendo como principal característica seu baixo custo. Estudou-se também as influências dos processos de degradação térmico e por UV inerentes a exposição dos tubos de PVC à radiação solar.



Figura 1. Sistema de aquecimento proposto por Souza e Costa (2007).

Um outro sistema de aquecimento alternativo a baixo custo com o objetivo de socializar o aquecimento solar de água foi construído no Centro Incubador de Empresas Tecnológicas – CIETEC/SP em 1999, e recebeu o nome de Coletor Solar de Baixo Custo- ASBC. O ASBC tem coletores similares aos usados em piscinas, não possuindo, portanto, cobertura transparente (Varella, 2004).

Esse sistema para uma família de quatro pessoas é composto por três placas coletoras de 0,91 m² de PVC interligadas e pintadas de preto e por um reservatório de volume igual a 170 litros. Cada placa coletora é composta de um perfil de forro de PVC modular (do tipo forro de escritório, postos de gasolina) com tubos de PVC acoplados às suas extremidades. Funciona em regime de termossifão.

Um outro coletor alternativo foi desenvolvido e construído pela Sociedade do Sol, uma ONG paulista, utilizando garrafas PETS e embalagens de leite, TETRA PAK. A Figura 2 mostra dois coletores em teste, o ASBC e o de garrafas PETS.



Figura 2. Coletores ASBC e Coletor PET em teste (COSTA, 2007).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Processos de Construção, Montagem e de Ensaio do Sistema de Aquecimento Alternativo Proposto.

Foram construídos quatro diferentes modelos de coletor alternativo tipo PET e um reservatório térmico alternativo. O sistema de aquecimento solar foi ensaiado com cada modelo de coletor e com dois coletores em série.

O primeiro tipo de coletor, *coletor aletado*, é constituído de 48 garrafas PETs envolvendo os oito tubos de PVC de 20 mm de diâmetro externo que compõem a grade absorvedora do coletor, ligados através de tês do mesmo material e diâmetro. No interior das unidades aquecedoras em número de 24, formadas por duas garrafas PET, com o tubo no seu interior, foram colocadas duas aletas ($l = 20$ cm, $b = 6$ cm) envolvendo o tubo para aumentar a área de absorção da radiação solar global incidente. As aletas foram fabricadas utilizando-se latas de cervejas e refrigerantes, cortadas nas suas extremidades superior e inferior, e longitudinalmente. O coletor apresenta área correspondente a 1,0 m². O diâmetro central das garrafas é de 100 mm.

O coletor fabricado encontra-se mostrado na Figura 3.



Figura 3. Coletor PET aletado.

O segundo tipo de coletor PET construído foi o *coletor com latas semi-abertas* que recebeu esse nome em função do perfil de corte das latas colocadas no interior das unidades de aquecimento. É constituído de 48 garrafas PETs

envolvendo os oito tubos de PVC de 20 mm de diâmetro externo que compõem a grade absorvedora do coletor, ligados através de tês do mesmo material e diâmetro. No interior das unidades aquecedoras em número de 24, formadas por duas garrafas PET, com o tubo no seu interior, foram colocadas três latas semi-abertas, com furos nas extremidades para o encaixe dos tubos absorvedores, aumentando, assim, a área de absorção de radiação solar no interior das unidades de aquecimento. O coletor apresenta área de 1,0 m². O diâmetro central das garrafas é de 100 mm. O diâmetro da lata é de 65 mm. O coletor fabricado encontra-se mostrado na Figura 4.



Figura 4. Coletor com latas semi-abertas.

O terceiro tipo de coletor PET construído foi o **coletor com latas fechadas** que recebeu esse nome em função das latas estarem fechadas no interior das unidades de aquecimento. É constituído de 48 garrafas PETs envolvendo os oito tubos de PVC de 20 mm de diâmetro externo que compõem a grade absorvedora do coletor, ligados através de tês do mesmo material e diâmetro. No interior das unidades aquecedoras em número de 24, formadas por duas garrafas PET, com o tubo no seu interior, foram colocadas latas fechadas, com furos nas extremidades para o encaixe dos tubos absorvedores, aumentando, assim, a área de absorção de radiação solar no interior das unidades de aquecimento. O coletor apresenta área em torno de 1,0 m². O coletor fabricado encontra-se mostrado na Figura 5.



Figura 5. Coletor com latas fechadas.

O quarto tipo de coletor PET construído foi o **coletor aletado duplo** que recebeu esse nome em função da sua área ser o dobro da correspondente ao coletor aletado já descrito. É constituído de 96 garrafas PETs envolvendo os oito tubos de PVC de 20 mm de diâmetro externo que compõem a grade absorvedora do coletor, ligados através de tês do mesmo material e diâmetro. No interior das unidades aquecedoras em número de 48, formadas por duas garrafas PET, com o tubo no seu interior, foram colocadas duas aletas envolvendo o tubo para aumentar a área de absorção da radiação solar global incidente. As aletas foram fabricadas utilizando-se latas de cervejas e refrigerantes, cortadas nas suas extremidades superior e inferior, e longitudinalmente. No espaço entre duas unidades de aquecimento foi colocada uma garrafa PET, cortada nas duas extremidades, formando uma luva, para minimizar o efeito sumidouro de calor. O coletor apresenta área correspondente a 2,0 m². O coletor fabricado encontra-se mostrado na Figura 6.



Figura 6. Coletor aletado duplo.

O reservatório térmico alternativo de volume correspondente a 200 litros 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 colocado uma camada de EPS triturado. O reservatório térmico alternativo proposto encontra-se mostrado na Figura 7.



Figura 7. Reservatório térmico alternativo 1.

O sistema foi ensaiado para as seguintes configurações:

CONFIGURAÇÃO I – COLETOR ALETADO + RESERVATÓRIO TÉRMICO;

CONFIGURAÇÃO II – COLETOR COM LATAS SEMI-ABERTAS + RESERVATÓRIO TÉRMICO ALTERNATIVO;

CONFIGURAÇÃO III – COLETOR COM LATAS FECHADAS + RESERVATÓRIO TÉRMICO ALTERNATIVO;

CONFIGURAÇÃO IV – COLETOR ALETADO + COLETOR COM LATAS SEMI-ABERTAS + RESERVATÓRIO TÉRMICO ALTERNATIVO;

CONFIGURAÇÃO V – COLETOR COM LATAS SEMI-ABERTAS + COLETOR ALETADO + RESERVATÓRIO TÉRMICO ALTERNATIVO;

CONFIGURAÇÃO VI – COLETOR ALETADO DUPLO + RESERVATÓRIO TÉRMICO ALTERNATIVO

Os sistemas de aquecimento propostos funcionam em regime de termossifão, para um volume de água do reservatório de água quente correspondentes a 200 litros e foram ensaiados para o diagnóstico de sua eficiência térmica,

sendo levantados os parâmetros que o caracterizam e são necessários para a análise do seu desempenho térmico, como também a susceptibilidade dos tubos absorvedores atingirem o nível crítico para o início da degradação térmica dos tubos de PVC em torno de 60°C. Os coletores foram inclinados de 15,5°S em função da latitude de Natal, correspondente a 5,5°S.

Mediu-se as temperatura de entrada e saída do fluido do coletor, as temperaturas internas e externas do coletor, a temperatura dos tubos absorvedores, temperatura da água no reservatório e radiação solar global. Foi também medido o tempo necessário para a uniformização da temperatura da massa fluídica no reservatório térmico.

As temperaturas de entrada e saída do fluido foram medidas no período entre 08:00 e 15:00 horas, em intervalos de 30 minutos; as temperaturas do coletor e tubos absorvedores foram medidas de 15 em 15 minutos entre 11:00 e 13:00 horas, período de radiação máxima e constante, onde avalia-se a perda máxima apresentada pelo coletor; a temperatura da massa fluídica foi medida após as sete horas de funcionamento.

Os ensaios foram realizados em dias com boas condições solarimétricas, altos índices de radiação solar direta e 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 diagnosticada através dos níveis de temperatura alcançados pela superfície externa dos tubos absorvedores, que não devem alcançar 60°C.

A autonomia do sistema foi também avaliada no que diz respeito ao número de dias em que o sistema esteve apto para propiciar água quente na temperatura ideal de banho para uma residência com quatro pessoas.

Os banhos foram simulados às 07:00, 12:00 e 18:00 horas, retirando-se 50 litros de água quente do reservatório térmico, através de um registro localizado a 2/3 de sua altura, a partir de sua base. Ressalte-se que a simulação dos banhos deu-se numa condição mais crítica do que a que ocorre na situação real, sem a mistura da água quente do reservatório com a água fria proveniente da rede.

Colocou-se um termopar 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.

3.2. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Os parâmetros que melhor caracterizam a eficiência térmica de um coletor solar são o rendimento térmico, a potência perdida e o coeficiente global de perdas.

Para determinar-se o Coeficiente Global de Perdas (U_{loss}) torna-se necessário o conhecimento da potência útil transferida ao fluido de trabalho (P_u), da radiação solar global (I), dos parâmetros ópticos do coletor, absortividade da placa (α_p) e transmissividade do garrafa PET (τ_{PET}), da temperatura média da placa absorvedora (T_{pm}) e da temperatura ambiente (T_a). A equação (1) permite a determinação da grandeza pretendida (Duffie, 1992).

$$U_{loss} = \frac{(\tau_{pet} \cdot \alpha_p - \eta_t) I}{(T_{pm} - T_a)} \quad (3.1)$$

Onde:

τ_v = transmissividade da garrafa PET.

α_p = absortividade da placa.

η_t = rendimento térmico, em %.

T_{pm} = temperatura média da placa absorvedora, em °C.

T_a = temperatura ambiente, em °C.

I = radiação solar global, em kW/m²

O rendimento térmico dos coletores pode ser determinado através das seguintes equações:

$$\eta_t = \frac{P_u}{A \cdot I} \quad (3.2)$$

$$P_u = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (3.3)$$

P_u = potência total útil transferida ao fluido de trabalho, em kW.

I = radiação solar global, em kW/m².

A = área do coletor (área exposta à radiação solar), em m².

•

\dot{m} = vazão mássica, em kg/s.

c_p = calor específico da água, em KJ/kg °C.

ΔT = diferença de temperatura entre entrada e saída do fluido, em °C.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dentre os sistemas ensaiados com apenas um coletor o que apresentou melhor desempenho foi o aletado. O coletor com latas fechadas é o que gerou uma menor diferença de temperatura e em consequência uma menor temperatura da água contida no reservatório alternativo.

No que diz respeito ao sistema com coletores em série a configuração que apresentou uma maior temperatura da água do reservatório foi a constituída pelo coletor com latas vazadas + coletor aletado + RTA.

O coletor aletado duplo foi construído a partir da constatação do melhor desempenho das aletas em relação às latas vazadas ou fechadas. Este coletor foi o que gerou uma maior temperatura da mistura e uma maior velocidade de aquecimento dessa massa líquida.

Os valores de eficiência térmica foram inferiores aos apresentados pelos coletores alternativos que utilizam isolamento térmico, em torno de 40% (Souza, 2002).

A temperatura ambiente média no local dos testes ficou em torno de 31°C e a radiação solar global média no período de realização dos testes esteve em torno de 700W/m², dentro da faixa média para o Nordeste brasileiro, entre 500 e 700 W/m².

Para ter-se uma análise comparativa entre os dias de ensaio, faz-se a Tabela 1 que mostra os valores médios obtidos para os três dias de testes, para as várias configurações. Serão também apresentados gráficos que mostram o comportamento assumido por tais parâmetros.

Tabela 1. Valores médios obtidos para os três dias de ensaio para cada configuração estudada.

CONFIGURAÇÃO	ΔT (°C)	I (kW/m ²)	η_t (%)	Tmistura (°C)
ALE + RTA	8,7	0,70	0,36	37,3
VAZADO + RTA	7,8	0,70	0,32	35,3
FECHADO + RTA	6,1	0,70	0,25	33,5
ALE + VAZADO + RTA	10,5	0,70	0,22	43,5
VAZADO + ALE + RTA	11,5	0,70	0,24	44,4
ALE DUPLO + RTA1	14,7	0,70	0,31	43,5

Como foi pretendido percebe-se que os dias escolhidos para a realização dos ensaios apresentaram condições solarimétricas idênticas, ou seja, tempo ensolarado, com baixa nebulosidade, permitindo a comparação entre os dados medidos para diferentes dias de ensaio.

A configuração que permitiu a obtenção de um maior nível de temperatura na água contida no tambor foi ALE DUPLO + RTA, porém com exceção das configurações VAZADO + RTA1 e FECHADO + RTA1, todas as outras propiciaram uma temperatura da massa líquida contida no reservatório térmico acima da temperatura ideal de banho.

A eficiência térmica dos coletores está bem abaixo dos valores relativos aos coletores convencionais e a maioria dos coletores alternativos, porém como já foi ressaltado, tal fato já era esperado, em função da inexistência de isolamento térmico, vidro de cobertura e caixa de armazenamento, elementos que minimizam as perdas térmicas de um coletor solar. No que diz respeito a diferença de temperatura gerada no coletor a configuração ALE DUPLO + RT1 foi a que apresentou o maior valor.

Para avaliar a velocidade de aquecimento da água contida no reservatório térmico, mediu-se sua temperatura no fundo, a ¼, ½, ¾ e na parte de cima do reservatório térmico, após as oito horas de funcionamento, cujos valores encontram-se mostrados para um dia na Tabela 11.

Tabela 11. Níveis de temperatura em vários pontos do reservatório térmico para vários dias de ensaio.

CONFIGURAÇÃO	Tbaixo (°C)	T1/4 (°C)	Tmeio (°C)	T3/4 (°C)	Tcima (°C)	Tmistura (°C)
ALE + RTA	34,2	35,1	36,6	37,5	38,6	37,5
VAZADO + RTA	33	34	34,8	35,7	36	35,3
FECHADO + RTA	32,1	33,8	34,2	34,9	35	33,8
ALE + VAZ + RTA	40,3	42,8	43,6	44,6	44,7	43,6
VAZ + ALE + RTA	41,7	42	44,5	45,7	46,1	44,4
ALE DUP + RTA	38,5	43,8	45,9	46,3	46,5	44,0
ALE DUP + RTA	43,2	45,1	46,2	47,3	47,9	46,2

Os dados apontam para uma maior velocidade de aquecimento da massa líquida para a configuração ALE DUP + RTA2, pelo fato da diferença de temperatura entre as partes inferior e superior do reservatório ser de pequena magnitude, demonstrando uma maior uniformidade na temperatura da água aquecida, destinada ao banho.

Os valores de temperatura mostram que a massa de água no reservatório térmico apresenta níveis de temperatura acima do ideal para banho, demonstrando que o sistema foi capaz de aquecer toda a água reservatório em apenas um dia de funcionamento. Isso é uma importante característica para um sistema solar de aquecimento de água.

Para avaliar o sistema na condição real de funcionamento procedeu-se a simulação dos banhos através da retirada de um certo volume de água do reservatório, nos seguintes horários: 07:00h, 12:00h e 18:00h.

Os valores correspondentes aos níveis de temperatura para a configuração que produziu uma maior diferença de temperatura e uma temperatura da mistura mais elevada, ALETADO DUPLO + RTA, antes e após cada retirada de água encontram-se mostrados nas Tabelas 2.

Tabela 2. Dados da simulação dos banhos - **ALETADO DUPLO + RTA**

Dia	Tágua retirada (°C)	Tágua após recolocação (°C)	Hora
07/DEZ	43,7	40,2	18:00
08/DEZ	36,2	34	07:00
08/DEZ	46,4	40,2	12:00
08/DEZ	42,7	37,5	18:00
09/DEZ	34,5	32,5	07:00
09/DEZ	48,3	40,0	12:00
09/DEZ	42,3	37,2	18:00
10/ OUT	33,8	32	07:00
10/DEZ	44,6	39	12:00
10/DEZ	40	36,1	18:00
11/ OUT	32,3	31	07:00

Os dados apresentados demonstram que o sistema tem autonomia para pelo menos três dias de uso, proporcionando a obtenção de níveis de temperatura geralmente superiores aos níveis ideais para banho. Os níveis de radiação para tais dias de ensaios foram em torno 700W/m².

Para o cálculo do Coeficiente Global de Perda Térmica (U_{loss}) utilizou-se o seguinte procedimento: determinou-se a potência absorvida pelo coletor, a potência 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, que foi igual a 15,2 W/m². K)

$$P_{abs} = \tau_{pet} \cdot \alpha_{tubo} \cdot I \cdot A ; P_{abs} = 0,85 \cdot 0,9 \cdot 750 \cdot 2 = 1.147,5W \quad (3.4)$$

$$P_u = m \cdot c_p \cdot \Delta T ; P_u = 10^3 \cdot \frac{150}{8} \cdot \frac{10^{-3}}{3600} \cdot 4180 \cdot 15 = 326,6W \quad (3.5)$$

$$P_p = P_{abs} - P_u ; P_p = 1.147,5 - 326,6 = 820,9W \quad (3.6)$$

$$U_{loss} = \frac{P_p}{A \cdot (T_{pm} - T_a)} ; U_{loss} = \frac{820,9}{2 \cdot (333 - 306)} = 15,2W / m^2 \cdot K \quad (3.7)$$

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

1. O sistema alternativo proposto apresenta viabilidades nos campos térmico, de materiais e econômico. Seu custo de fabricação fica bem abaixo em relação aos coletores convencionais comercialmente disponíveis;
2. Os sistemas de aquecimento, em suas várias configurações, apresentam uma ótima relação custo benefício, podendo contribuir sensivelmente para a socialização do uso da água aquecida para banho através do uso da energia solar;
3. O coletor aletado duplo é o mais indicado para um sistema de aquecimento alternativo utilizando unidades de aquecimento formadas por garrafas PETs e tubos absorvedores de PVC;
4. O reservatório térmico alternativo proposto é viável para ser utilizado em sistemas de aquecimento, por apresentar nível de perda térmica muito próximos aos reservatórios convencionais;
5. Toda a água contida no reservatório térmico pode ser aquecida acima da temperatura ideal de banho com apenas um dia de aquecimento;

6. A configuração que utiliza coletores aletados de maior área é a mais viável para o fim proposto, qual seja, aquecimento de água residencial para banho;
7. Os processos de fabricação e montagem dos sistemas propostos são simples e podem ser facilmente repassados para pessoas de quaisquer níveis sociais e intelectuais;
8. A temperatura dos tubos absorvedores no coletor alternativo esteve abaixo do nível crítico para início do processo degradativo térmico;
9. O custo de fabricação do sistema, inferior a R\$ 500,00 (US 250.00) representa uma vantagem importante em relação aos sistemas de aquecimento disponíveis comercialmente, sendo capaz de contribuir significativamente para socializar a utilização dos sistemas solares de aquecimento de água;
10. A perda térmica dos coletores propostos é bem superior a relativa aos coletores convencionais, e até mesmo em relação a outros coletores alternativos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bezerra, A.M., *Aplicações térmicas da energia solar*, Editora Universitária - UFPb, João Pessoa, 2001.
- CEMPRE (*COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM*) e ABIPET (*Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens de PET*), *Manual Reciclagem & Negócios – PET, Enfardamento e revalorização de sucatas de PET*, 1997, São Paulo - SP .
- Costa, R.N.A., 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, 2007.
- Cristofari, C. Et al., *Modeling and performance of a copolymer solar water heating collector*, *Solar Energy*, v. 72: (2), p. 99-112, 2002.
- Duffie, J.A., Beckman, W.A., *Solar Engineering of Thermal Processes*, II edition, New York, John & Sons, 757 p., 1991.
- Souza, L.G.M., *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., Gomes, U.U., *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, 2002.
- Souza, L.G.M., *Sistema de aquecimento solar de água para aplicações residenciais utilizando materiais alternativos*, V CONEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Recife-Pe, 2006.
- Souza, L.G.M., *Alternative solar energy water heating system*, COBEM 2007 – Congresso Internacional de Engenharia Mecânica, Brasília- 2007.
- Souza, L.G.M., *Low cost alternative solar collector with PVC tubes absorption surface* COBEM 2005 – Congresso Internacional de Engenharia Mecânica, Ouro Preto – 2005.
- Trends in Renewable Energies, SolarAcess.com, Canadian Association for Renewable Energies, 2005-2007.
- Varella F.K.O.M., *Tecnologia solar residencial: inserção de aquecedores solares de água no Distrito de Barão Geraldo – Campinas*, Dissertação de Mestrado da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, Campinas-São Paulo, 2004.

Solar heating water system using recyclables materials

Abstract. *A solar alternative system for water heating is presented. It work on a thermosiphon, consisting of one or two alternative collectors and a water storage tank also alternative, whose main purpose is to socialize the use of energy mainly to be used by people of low income. The collectors were built from the use of PET bottles, cans of beer and soft drinks and tubes of PVC, ½ " and the thermal reservoir from a drum of polyethylene used for storage of water and garbage placed inside cylinder of fiber glass and EPS ground between the two surfaces. Such collectors are formed by three elements: PET bottles, cans and tubes absorbers. The heating units, which form the collector contains inside the cans that can be closed, in original form or in the form of plate. The collectors have an absorber grid formed by eight absorbers PVC tube, connected through connections at T of the same material and diameter. It will be presented data of the thermal parameters which demonstrate the efficiency of the heating system proposed. Relative aspects will be boarded also the susceptibility the thermal degradation and for UV for the PVC tubes. It will be demonstrated that this alternative heating system, which has as its main feature low cost, presents thermal, economic and materials viabilities.*

Keywords: *alternative solar system, water solar heating, solar collectors, low cost, PVC tubes, alternative thermal reservoir.*