

COLETOR SOLAR ALTERNATIVO A BAIXO CUSTO COM SUPERFÍCIE ABSORVEDORA FORMADA POR TUBOS DE PVC

Prof. Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza

Departamento de Engenharia Mecânica, UFRN, 59072-970, Natal-RN, Brasil
lguilherme@dem.ufrn.br

Nilton Lúcio Fernandes da Silva

Aluno de Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, 59072-970, Natal-RN, Brasil

Vânio Vicente Santos Souza

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, 59072-970, Natal-RN, Brasil

William Fernades de Queiroz

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, 59072-970, Natal-RN, Brasil

Reginaldo Dias dos Santos

Aluno de Graduação em Engenharia de Materiais, UFRN, 59072-970, Natal-RN, Brasil

Resumo. *Apresenta-se um novo modelo de coletor solar não convencional, composto por múltiplas unidades de tubos absorvedores de PVC, ligados em paralelo, através de um novo modelo de ligação entre os mesmos e os tubos de entrada e saída de água. A caixa do coletor é confeccionada com um compósito de matriz cerâmica, e revestida com resina ortoftálica, propiciando a eliminação do isolamento térmico, usualmente lã de vidro. O coletor é composto por apenas três elementos: caixa, grade absorvedora e vidro. Serão abordados aspectos construtivos, demonstrando a facilidade de fabricação de tal protótipo, que se caracteriza por apresentar um custo de fabricação bastante reduzido. Apresentar-se-á também uma análise comparativa baseada em dados de parâmetros térmicos entre o coletor em tela e um coletor convencional, ambos trabalhando em regime de termosifão para um volume de água da ordem de 250 litros. Demonstrar-se-á as viabilidades térmica, econômica e de materiais do coletor proposto, capacitando-o a servir de opção aos sistemas convencionais de aquecimento de mercado, principalmente para a obtenção de temperaturas da ordem de 40°C.*

Palavras chave: coletor solar, coletor alternativo, baixo custo

1. Introdução

Com a ênfase dada à questão ambiental, quando o mundo desenvolvido prioriza a utilização das energias limpas e renováveis o aquecimento de água através da utilização de coletores solares tem representado, juntamente com as células fotovoltaicas, conversoras da energia solar em eletricidade, uma das aplicações mais viáveis, tanto a nível residencial quanto industrial (Yacov, T., Zemel, A., 2000; Trends in Renewable Energies, 2000-2002.)

O nordeste brasileiro apresenta um potencial solar bastante significativo, correspondente a uma disponibilidade média que se situa na faixa de 500 a 700W/m², conforme Atlas de Irradiação Solar do Brasil (Bezerra, 2001).

Segundo Bezerra (1999), 42 % do consumo de energia elétrica no Brasil é direcionado para o setor de edificações, sendo 84,1 % correspondente a empresas e residências e 15,9 % a administração pública, com cifras alcançando 13,8 % do Produto Interno Bruto do país. O autor cita que o setor residencial responde por 25 % 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 18:00 às 19:00h, correspondendo a 8,5 % da demanda nacional de energia neste horário.

Estes dados apontam a importância da substituição da fonte térmica elétrica pela fonte solar para a obtenção de água quente principalmente em tempo de racionamento de energia, ganhando contornos de imprescindibilidade uma vez que a opção hídrica brasileira para a geração de energia elétrica está praticamente com seus recursos exauridos.

Buscando um modo de baratear o custo de fabricação de um protótipo solar destinado ao aquecimento de água para banho, desenvolveu-se um coletor solar alternativo, de menor custo que os convencionais planos. Este coletor tem como características principais o uso de tubos de PVC (poli cloreto de vinila), em substituição ao cobre convencionalmente usado e a sua caixa é confeccionada através de uma mistura de gesso, pó de madeira e fibras de sisal, formando um compósito, de custo muito mais barato que os materiais convencionalmente utilizados, quais sejam: perfil de alumínio, fibra de vidro e chapas de aço.

Este tipo de material alternativo proposto apresenta a vantagem de ser um bom isolante térmico, o que elimina dois componentes de um coletor que são: a chapa absorvedora e o isolamento térmico.

Serão mostrados resultados dos ensaios realizados com os coletores, convencional e alternativo, demonstrando-se suas viabilidades térmica, de materiais e econômica. Na análise de materiais abordar-se-á a questão das degradações térmica e por UV inerentes ao uso do PVC como superfície absorvedora da radiação solar.

2. Estado da Arte

2.1. Os Coletores Alternativos

Coletores alternativos são aqueles que diferem em geometria, materiais e elementos constituintes em relação aos usados utilizados na confecção dos coletores convencionais. Outro fator de diferença é o tipo de regime de funcionamento do mesmo: fluxo forçado, com o uso ou não de um sistema de bombeamento, ou termo-sifão. 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 doméstico e industrial, uma vez que o custo dos mesmos representa 50% do custo total de investimento para a aquisição de um sistema solar para aquecimento de água. Este alto custo deve-se ao uso de materiais de significativo preço na sua fabricação. Mesmo tendo longa vida útil, requerem alto investimento inicial, isto explica a baixa taxa de desenvolvimento de sistemas solares para aquecimento de água no mundo. Torna-se necessário e fundamental, o desenvolvimento de sistemas de menor custo com bom desempenho térmico (Cristofari, C., 2002). Com este objetivo, vários trabalhos têm sido desenvolvidos, demonstrando que os coletores solares plásticos de baixo custo apresentam ampla viabilidade de utilização conforme demonstram os estudos a seguir relatados.

Rivera, em 1994, apresentou trabalho sobre coletor alternativo tubular com múltiplas unidades absorvedoras de PVC. Lourenço, em 1997, mostrou os resultados alcançados com um coletor alternativo com grade absorvedora formada por múltiplos tubos de alumínio. Ambos demonstraram as viabilidades térmicas e econômicas de tais coletores, comprovando a competitividade dos mesmos em relação aos coletores convencionais.

O uso de um polímero absorvedor foi estudado por Van Niekerk et al., em 1996, com o objetivo de avaliar o desempenho de coletores com tubos paralelos na África do Sul. Matrawy e Farkas, em 1997, compararam um coletor com duas placas paralelas (TPPC), com, respectivamente, um coletor com tubos paralelos (PTC) e um coletor com tubos em serpentina (STC). Sob o mesmo ambiente e condições de desempenho, a eficiência do TPPC foi respectivamente 6,0 e 10% maior que o STC e PTC.

Shah, em 1999 apresentou estudo sobre a modelagem térmica em coletores domésticos para aquecimento de água à baixa vazão.

O uso de coletores com tubos para absorção de polipropileno e placas de absorção de polietileno de alta densidade é bastante enfocado pela literatura. Esses coletores são usados para aquecimento e climatização de piscinas (Gil, 2001)

Buscando formas de obtenção de um sistema de aquecimento a baixo custo, vem-se estudando há mais de 18 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.

Dentre os coletores estudados estão os coletores: de tubos paralelos formando uma serpentina; em labirinto, de placas paralelas tipo sanduíche, formado por unidades de aquecimento constituídas por bulbos de vidro (carcaças de lâmpadas fluorescentes tendo no seu interior tubos para absorção de PVC); e um alternativo plano com tubos de PVC. Com exceção deste último, todas as outras gerações foram postas a funcionar em regime de fluxo forçado, com somente uma passagem do fluido de trabalho no interior dos mesmos (Souza, 2002).

2.2. As Degradações Térmica e por Radiação UV Inerentes ao PVC

Em um coletor solar que utiliza como elementos absorvedores tubos de PVC, a primeira questão levantada é sobre as degradações inerentes a sua exposição à radiação ultravioleta e ao calor. A literatura mostra que a susceptibilidade ao desgaste térmico do PVC se acentua quando da obtenção de níveis de temperatura acima de 60°C na sua superfície. A degradação por UV também representa uma restrição ao uso de coletores solares com tubos absorvedores de PVC, uma vez que radiações com este comprimento de onda afetam a integridade mecânica dos tubos deste material (Souza, 2002).

3. Descrição dos Coletores em Análise

O coletor convencional tem sua caixa confeccionada em perfil de alumínio com fundo de alumínio de 0,5mm de espessura, tem isolamento térmico de lã de vidro no fundo e laterais, conjunto absorvedor formado por 08 tubos de cobre de ½" ligados em paralelo a tubulões de cobre de 2" e aletas absorvedoras confeccionadas em chapa de alumínio de 05mm de espessura e cobertura de vidro plano transparente de 3mm de espessura encaixada no perfil do qual é confeccionada a caixa. O coletor construído apresenta as seguintes dimensões: largura de 1,0m; comprimento de 1,30m e altura de 0,09m, com área equivalente a 1,30m². Esse valor de área foi definido em função do comprimento disponível dos tubos de cobre.

O coletor alternativo proposto tem como principais características a utilização de materiais alternativos de baixo custo para a construção de sua caixa e uma grade absorvedora multitubos, permitindo a obtenção de uma maior vazão circulante, que tem por objetivo acelerar a troca térmica entre fluido circulante e a água contida no reservatório térmico.

Antes da construção do protótipo, construiu-se vários modelos, com diferentes composições e materiais, para a escolha do material mais adequado, que apresentasse as características de bom desempenho térmico, resistência mecânica ao impacto e viabilidade econômica. Utilizou-se misturas dos seguintes materiais, para a obtenção de compósitos: gesso + pó de madeira; gesso + pó de madeira + agave; gesso+ isopor; gesso + pó de coco. Após avaliações térmica, econômica e de materiais, escolheu-se o compósito à base de gesso, pó de serra e agave, colocando-se ainda um reforço de tela de arame, no fundo da caixa.

O coletor foi construído com superfície absorvedora formada por 20 tubos de PVC de 20mm acoplados a tubulões formados por tubos de PVC de 50mm. A área do coletor é de aproximadamente $0,7\text{m}^2$ ($1,31 \times 0,51\text{m}$). O princípio de funcionamento e regime de trabalho são os mesmos do coletor convencional. A área do coletor foi definida em função do número de tubos a ser utilizado na grade absorvedora, interligados em paralelo através de um novo sistema que permite a diminuição da distância entre dois tubos consecutivos.

É importante ressaltar que com a utilização desta caixa para o coletor, o fundo da caixa funciona como superfície absorvedora, em contato com a tubulação absorvedora, e como seu material é um bom isolante térmico, dispensa-se, portanto, a colocação de um material isolante térmico entre a grade absorvedora e o fundo da caixa. Para evitar a absorção de água por parte da caixa, aplicou-se duas camadas de resina ortoftálica.

4. Procedimento Experimental

Os sistemas de aquecimento com o coletor plano convencional e com o alternativo foram ensaiados para condições idênticas de radiação, em regime de termosifão, para um volume de 250 litros, sendo levantados parâmetros de temperatura de entrada de fluido no coletor, temperatura de saída do fluido do coletor, temperaturas internas e externas do coletor, temperaturas da água no reservatório térmico, temperatura do tubo absorvedor e radiação solar global. No que diz respeito às temperaturas internas e externas do coletor, mediu-se: temperatura da água, na entrada e saída do coletor; temperatura do ar interno; temperatura das superfícies interna e externa do vidro, respectivamente; temperatura do ar externo; temperatura da superfície interna da base do coletor; temperatura da superfície externa da base do coletor; temperatura da superfície interna das faces laterais; temperatura da superfície externa das faces laterais; temperatura da placa absorvedora, em cinco pontos da grade (Souza, L., 2000; Souza, L., Gomes.U.,2002; Souza, L., Gomes.U.,2002; Souza, L., Gomes.U., 2002; Duffie, J.A., 1991).

As temperaturas de entrada e saída da água no coletor foram medidas de 30 em 30 minutos, das 8h às 16h. As temperaturas do coletor foram medidas no intervalo entre 11h às 13h, de quinze em quinze minutos, período de radiação praticamente constante.

Para a medição de temperatura foram utilizados termopares de cobre-constantan, de diâmetros de 0,25 e 0,5mm, respectivamente, acoplados a um termômetro digital.

Como se desejava evitar que os tubos absorvedores alcançassem a temperatura crítica para o início do processo degradativo, $T > 60^\circ\text{C}$, mediu-se os valores da temperatura externa dos mesmos em vários pontos da grade absorvedora para avaliar o comportamento desse parâmetro.

A literatura cita o desgaste do PVC quando submetido ao calor e à radiação ultravioleta, componente do espectro da radiação solar, porém não quantifica o nível de degradação, quando submetido a níveis de temperatura inerentes ao uso do tubo de PVC como elemento absorvedor em um coletor solar.

Souza (2002), demonstrou que tais degradações podem ser combatidas através de maior volume de água no interior da grade absorvedora, o que faz com que a temperatura crítica não seja atingida e de uma pintura da mesma de preto fosco, inerente a obtenção de energia térmica a partir da energia eletromagnética, que atenua o efeito da degradante da radiação ultravioleta. O autor citado demonstrou que apesar de tais degradações o uso de tubos de PVC como elementos absorvedores e condutores de calor em coletores solares, é plenamente viável.

A caixa do coletor depois de construída, e passado por um processo de secagem correspondente a 72 horas, em estufa solar, apresentou um peso correspondente a 45 Kg, com seu suporte alcançando 5 Kg. O volume de água na grade absorvedora do coletor corresponde a 7 Kg. O vidro da cobertura pesa em torno 2 kg. Portanto, o peso total do coletor produzido corresponde a 59 kg.

Os sistemas de aquecimento constituídos pelos dois tipos de coletores, alternativo e convencional, encontram-se mostrados na Fig. 1.



Figura 1. Sistemas de aquecimento em teste: (a) utilizando coletor alternativo e (b) utilizando coletor convencional.

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1. DO COLETOR ALTERNATIVO PROPOSTO

As Tabelas 1,2 e 3 mostram os parâmetros médios que espelham a eficiência térmica do coletor em estudo para três dias de ensaio e as Figuras 2, 3 e 4 espelham o comportamento comparativo assumido pelos mesmos.

Tabela 1. Resultados térmicos do coletor para o primeiro dia de teste.

Hora	T_{ef} (°C)	T_{sf} (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m ²)	η_t (%)
9-10	30	35	5	0,7	49,0
10-11	31	36,5	5,5	0,75	50,6
11-12	31,5	37,5	6	0,80	52,0
12-13	32	37	5	0,80	43,0
13-14	34	36	2	0,78	18,0
14-15h	35	36	1	0,68	10,0

Tabela 2. Resultados térmicos do coletor para o segundo dia de teste.

Hora	T_{ef} (°C)	T_{sf} (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m ²)	η_t (%)
9-10h	30,5	36	5,5	0,7	54,2
10-11h	32	37,5	5,5	0,75	50,6
11-12h	32	37,5	5,5	0,80	47,4
12-13h	33	36	4	0,80	34,5
13-14h	34,5	37,0	2,5	0,78	22,1
14-15h	36,0	37,5	1,5	0,68	15,2

Tabela 3. Resultados térmicos do coletor para o terceiro dia de teste.

Hora	T_{ef} (°C)	T_{sf} (°C)	ΔT (°C)	I (KW/m ²)	η_t (%)
9-10h	31	36	5	0,7	49,2
10-11h	32	37	5	0,75	46,0
11-12h	32,5	37,5	5	0,80	43,1
12-13h	33	37,0	4,0	0,80	34,5
13-14h	35	38	3,0	0,78	26,5
14-15h	36	38	2,0	0,68	20,2

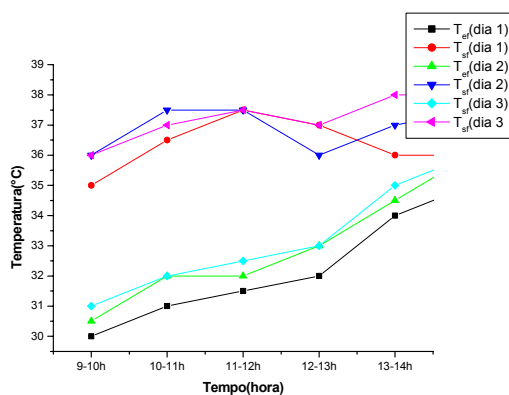


Figura 2. Níveis de temperatura de entrada e saída do fluido do coletor.

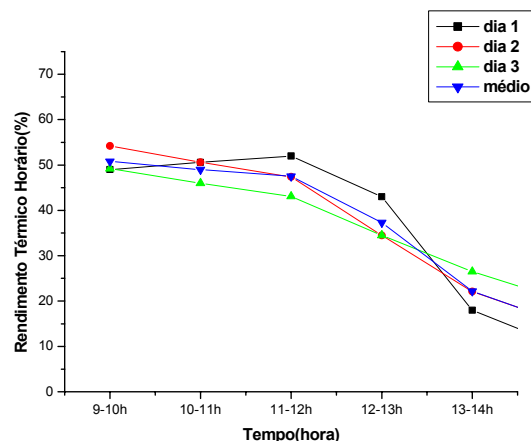


Figura 3. Rendimento térmico para os três dias de ensaio do coletor.

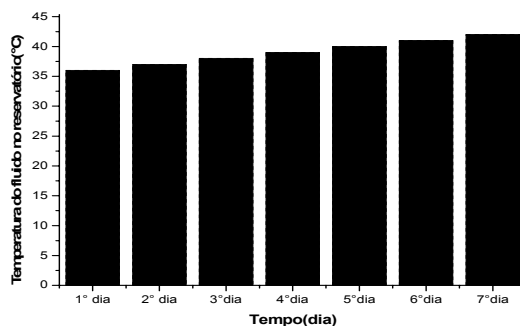


Figura 4. Evolução da temperatura da água na saída do coletor.

Os resultados térmicos gerais obtidos com o sistema demonstram a viabilidade do mesmo, embora não tenham sido obtidos níveis de temperatura no interior do reservatório ideais para o banho, para um volume suficiente para quatro pessoas, pois não garantem a manutenção da temperatura ideal de banho após a entrada de água fria pela utilização da água aquecida durante a noite, ou seja, obteve-se a temperatura ideal, porém exigiu-se uma área de coletor maior para a garantia da manutenção desse nível ideal após o preenchimento com água fria do volume de água quente retirado.

Os rendimentos térmicos horários do coletor estiveram próximos de 60%, com temperatura máxima de saída de 43,5°C. A principal característica térmica do sistema foi a sua velocidade de aquecimento, na uniformização da temperatura no interior do reservatório. Pode-se perceber que com apenas seis horas de trabalho, o reservatório já alcançava uma temperatura uniforme, para todo volume.

Apesar do bom desempenho térmico do coletor, a temperatura de saída do mesmo esteve aquém da temperatura desejada para a obtenção de níveis de temperatura no interior do reservatório apropriados para banho; alcançou-se no sétimo dia de funcionamento um valor correspondente a 43°C. A temperatura de saída de fluido do coletor deve alcançar valores maiores para que se possa obter no reservatório uma temperatura em torno de 45°C, capaz de manter o reservatório a uma temperatura ideal de banho, mesmo após a utilização durante a noite, com conseqüente entrada de água fria no interior do mesmo. O nível de temperatura desejada para o volume de água contido no reservatório deve ser em torno de 45°C. Para a obtenção desse nível torna-se necessário uma área de coletor superior. Já foram experimentados preliminarmente duas áreas de captação, 1,0 m² e 1,5 m², que produziram o efeito pretendido, qual seja a obtenção de uma temperatura bem superior no reservatório. O sistema de 1,5m² é composto por dois coletores em série, obtendo temperatura máxima de 52°C na saída do coletor e gerando no interior do reservatório a seguinte distribuição térmica da água: nível superior – 50°C, nível médio – 45°C e nível inferior – 42°C.

Em relação a temperatura da superfície externa dos tubos absorvedores, seus valores sempre estiveram abaixo da temperatura crítica para o início da degradação térmica, que é acima de 60°C. Ressalte-se que os valores máximos alcançados ($T_{mt} = 40,7\text{ }^{\circ}\text{C}$) são muito menores que a temperatura de deflexão do PVC, acima de 75°C.

No que diz respeito aos ensaios realizados para determinação de parâmetros de materiais pode-se perceber que o compósito utilizado apresenta boa resistência ao impacto, que é a principal solicitação a qual a caixa do coletor pode estar submetida, no que concerne a choques quando do seu manuseio e transporte. A introdução de uma armação metálica no compósito causa um aumento de cerca de 100% na sua resistência ao impacto.

Com relação a tração, compressão, flexão e torção as amostras produzidas, a partir do compósito obtido, não apresentaram significativa resistência a esses esforços, o que não inviabiliza a caixa proposta, uma vez que tais solicitações não serão usualmente impostas à estrutura.

Quanto ao parâmetro absorção de água, significativo quando do período de chuvas, com o coletor exposto ao ambiente, pode-se perceber que o revestimento aplicado ao compósito com resina ortoftálica mostrou-se eficaz. O coletor já se encontra exposta há mais de seis meses, tendo estado no mês de janeiro submetido a intenso índice pluviométrico.

5.2. Comparação entre os Coletores

As Tabelas 4 e 5 mostram os dados de ensaio do 1º dia efetuados com os coletores em estudo.

Tabela 4. Dados obtidos com o coletor alternativo.

Hora	$T_{ef}(^{\circ}C)$	$T_{sf}(^{\circ}C)$	$\Delta T(^{\circ}C)$	$I(Kw/m^2)$	$\eta_t(\%)$
9-10h	30	35	5	0,7	49,0
10-11h	31	36,5	5,5	0,75	50,6
11-12h	31,5	37,5	6	0,80	52,0
12-13h	32	37	5	0,80	43,0
13-14h	34	36	2	0,78	18,0
14-15h	35	36	1	0,68	10,0

Tabela 5. Dados obtidos com o coletor convencional.

Hora	$T_{ef}(^{\circ}C)$	$T_{sf}(^{\circ}C)$	$\Delta T(^{\circ}C)$	$I(Kw/m^2)$	$\eta_t(\%)$
9-10h	30	37	7	0,7	32,0
10-11h	32	42,5	7,5	0,75	32,0
11-12h	33	43,5	10,5	0,8	42,0
12-13h	35	43,5	8,5	0,8	34,0
13-14h	36	42	6	0,78	25,0
14-15h	37	41	4	0,68	20,0

As Figuras 5, 6 e 7 mostram o comportamento assumido pelos parâmetros temperaturas de entrada e saída de fluido, gradiente de temperatura e rendimento térmico horário.

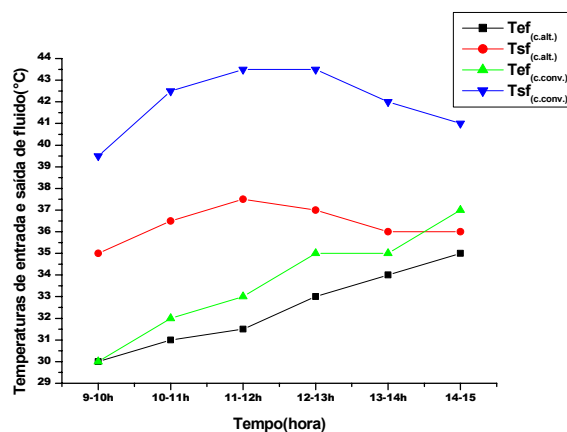


Figura 5. Comportamento das temperaturas de entrada e saída de fluido do coletor.

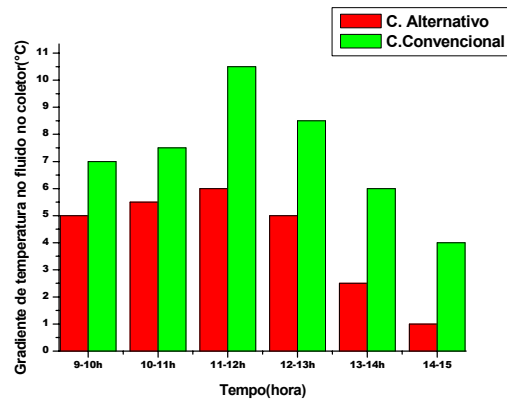


Figura 6. Comportamento do gradiente de temperatura nos coletores.

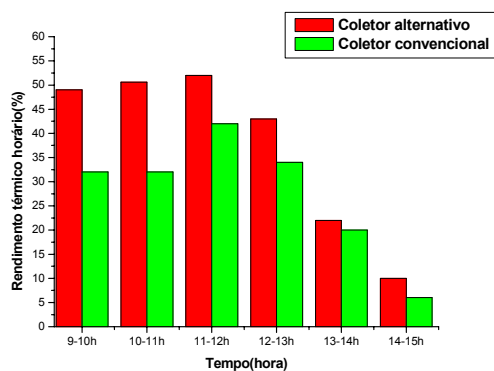


Figura 7. Comportamento do rendimento térmico horário para os coletores estudados.

Da análise dos dados obtidos percebe-se que no que diz respeito ao rendimento térmico os valores obtidos para o coletor alternativo são maiores que os apresentados pelo coletor convencional, em função de sua menor área e de seu menor tempo de aquecimento da massa fluidica, alcançando valores máximos de 52% no alternativo e 42% no convencional.

No que diz respeito ao gradiente térmico gerado percebe-se que os valores obtidos com o coletor convencional são maiores que os gerados pelo coletor alternativo. A temperatura máxima alcançada pelo coletor alternativo no 1º dia de teste foi de 37,5°C enquanto que no convencional foi de 43,5°C. Porém ressalte-se que a área do coletor alternativo é quase a metade da área do coletor convencional.

No que concerne às temperaturas da massa de água contida no tambor percebe-se que o coletor alternativo apresentou no 1º dia de teste uma temperatura correspondente a 36°C, aumentando em cerca de 1°C para cada dia de ensaio, alcançando no sétimo dia de ensaio valor correspondente a 42°C, enquanto que no terceiro dia de teste com o coletor convencional atingiu-se um nível de 40,5°C. Enfatize-se que se utilizou o 1º dia de teste como elemento comparativo uma vez que não foi possível o ensaio do coletor convencional por um período mais extenso, em função das condições climáticas, e também se considerando que o 1º dia de funcionamento de um coletor em termosifão espelha realmente o comportamento que terá nos próximos dias de ensaio.

Outro fator que foi observado é que em apenas seis horas de ensaio o coletor alternativo conseguiu a uniformização da temperatura do tambor térmico, enquanto que no coletor convencional tal uniformização não aconteceu para um dia de aquecimento. Isso se deve ao fato do uso de 20 tubos absorvedores de maior diâmetro no coletor alternativo, o que faz com que a vazão real circulante no interior do coletor seja maior.

No que diz respeito à temperatura externa dos tubos absorvedores, os valores medidos, $T_{máxima} = 41^{\circ}\text{C}$ e $T_{média} = 40^{\circ}\text{C}$, estão bem abaixo do nível crítico para início da degradação térmica, em torno de 60°C , demonstrando a viabilidade de utilização de tais tubos como elementos absorvedores e condutores de calor.

Outro parâmetro que espelha o comportamento térmico de um coletor solar é o coeficiente global de perdas, cujo valor foi calculado, em função dos dados presentes nas Figuras 8 e 9. A Tabela 6 mostra os valores de $Q_{\text{ABSORVIDO}}$, Q_{UTIL} , Q_{PERDIDO} e Coeficiente Global de Perdas, U_{Loss} para os dois coletores em estudo.

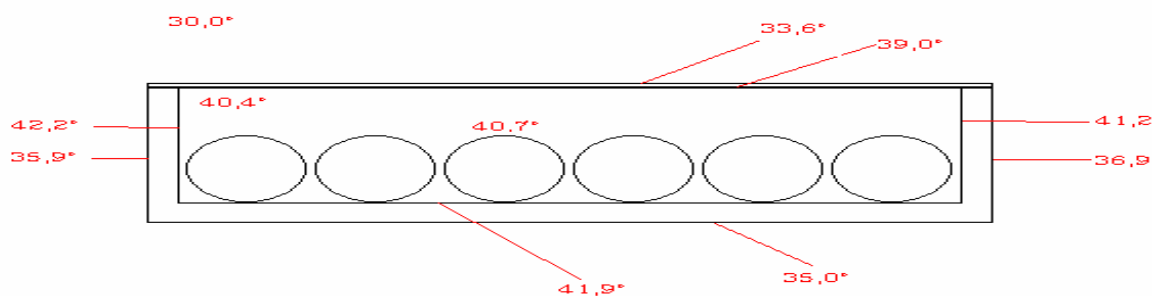


Figura 8. Níveis de temperatura no coletor alternativo.

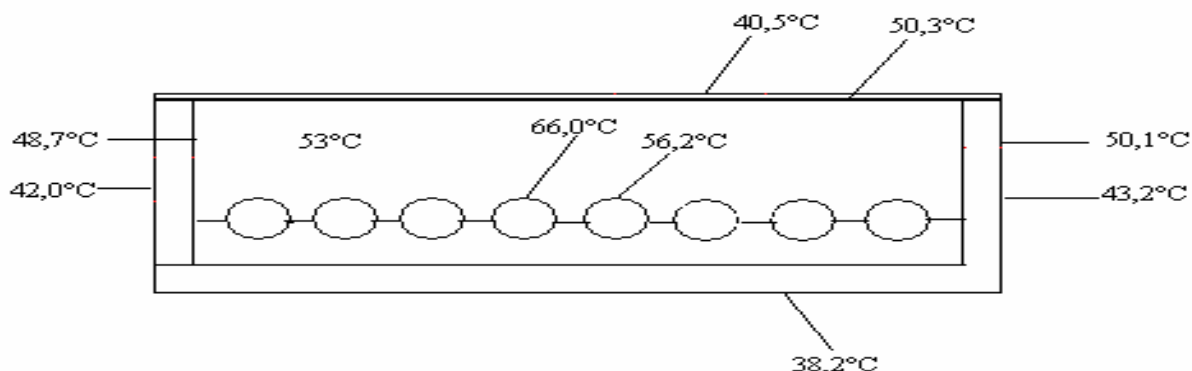


Figura 9. Níveis de temperatura no coletor convencional.

Utilizando os dados mostrados nos esquemas ilustrativos dos dois coletores, determina-se os valores de calor absorvido, calor útil e calor perdido. O rendimento térmico considerado para o cálculo dos parâmetros contidos na tabela foi uma média dos valores para as duas horas consideradas. A Tabela 6 mostra os valores determinados para esses parâmetros, nos dois coletores.

Tabela 6. Valores de perda térmica dos coletores ensaiados.

TIPO DE COLETOR	QABSORVIDO (W)	QÚTIL (W)	QPERDIDO (W)	ULOSS (W/m ² .°K)
C.ALTERNATIVO	428,4	290	138,4	12,9
C.CONVENCIONAL	795	435,4	359,6	11,6

Dos dados contidos na tabela acima se percebe que o coletor alternativo proposto apresenta um valor de perda térmica em torno de 32% do calor absorvido, com um calor entregue ao fluido de trabalho da ordem de 68%. Esses valores demonstram, a boa eficiência térmica do coletor, comprovada pelo seu coeficiente global de perda térmica em torno de 12,9 W/m².°K, praticamente em consonância com Duffie & Beckman, 1991, que indica um valor para este coeficiente entre 6 e 12W/ m².°K.

6. Conclusões e Sugestões

Com base nos resultados dos ensaios comparativos efetuados com os dois coletores em estudo, durante o levantamento de desempenho térmico, pode-se apresentar as conclusões a seguir, como também possíveis sugestões para otimizações e efetivação de futuros trabalhos com coletores alternativos.

6.1 Conclusões

1. O coletor alternativo proposto apresenta viabilidades no campo térmico, de materiais e econômico. Seu custo de fabricação fica em torno de R\$50,00, que é bem mais baixo que os relativos aos coletores convencionais comercialmente disponíveis. O custo de fabricação do coletor convencional ficou em torno de R\$150;

2. O sistema de aquecimento composto pelo coletor alternativo foi competitivo com o sistema que utiliza o coletor convencional;

3. O peso do coletor alternativo ficou em torno de 50 Kg, que é muito maior que o dos coletores convencionais;

4. A caixa do coletor alternativo mostrou-se resistente em relação às intempéries atmosféricas;

5. O coletor alternativo proposto é amplamente competitivo com o coletor convencional, tendo uma velocidade de aquecimento da massa fluidica maior;

6. Pode-se comprovar que o compósito utilizado para a confecção da caixa permitiu que o coletor pudesse ser composto por apenas três elementos, eliminando-se a chapa absorvedora e o isolante térmico, proporcionando uma diminuição do custo do coletor;

7. O coletor convencional gerou uma maior gradiente de temperatura que o obtido com o coletor alternativo, porém com uma área quase duas vezes maior;

8. Um sistema de aquecimento, a termo-sifão, utilizando coletores alternativos do tipo que foi objeto deste estudo deve ser formado por dois coletores em paralelo, para a obtenção de níveis de temperatura mais adequados para a utilização de água quente para banho;

9. A temperatura dos tubos absorvedores no coletor alternativo esteve longe do nível crítico para início do processo degradativo térmico em torno de 60°C. No que diz respeito à degradação térmica tal efeito é amenizado pela tinta preto fosco que recobre os tubos absorvedores, que contém pigmentos pretos absorvedores de radiação ultravioleta.

6.2 Sugestões

1. O peso excessivo apresentado pelo coletor proposto, pode ser diminuído através do uso de isopor em flocos em substituição ao pó de serra. Utilizando-se a proporção de iguais partes de gesso e isopor em volume, o peso cai em torno da metade. Tais modificações já foram implementadas e um novo coletor já foi construído, e encontra-se mostrado na Figura 9;



Figura 9. Coletor otimizado construído.

2. Para a obtenção de níveis de temperatura maiores com o coletor alternativo sugere-se o aumento da caixa e a diminuição do número de tubos absorvedores, e no novo coletor construído e mostrado na figura anterior o número de tubos é de 15, com diâmetro correspondente a 25,4mm e as dimensões da caixa são: 1,5m x 0,70m x 0,10m;

3. Para uma melhor vedação da caixa do coletor sugere-se a utilização de presilhas de fixação entre a mesma e o vidro, assentado sobre borracha, conforme a figura que mostra o novo coletor construído;

4. É preciso fazer um estudo mais aprofundado, com mais dias de experimentação para ter-se uma análise comparativa comparação mais real, o que já está em curso. Dessa análise pode-se adiantar que o coletor convencional propiciou a obtenção de temperatura máxima do fluido no interior da caixa na faixa de 48°C, enquanto que para o coletor alternativo a temperatura máxima atingida ficou em torno de 43°C.

7. Referências

Yacov, T., Zemel, A., 2000, Long-term perspective on the development of solar energy, Solar Energy, v. 68: (5), p. 379-392.

Trends in Renewable Energies, SolarAcess.com, Canadian Association for Renewable Energies, 2000-2002.

Bezerra, A.M., 2001, Aplicações Térmicas da Energia Solar, 4ª Edição, Editora Universitária, João pessoa – Pb.

Bezerra, J.M., 1999, Análise de um Sistema Alternativo para Aquecimento de Água por Energia Solar, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica-UFRN.

Souza, L.G.M., 2000, Sistema Alternativo de Aquecimento Solar, CONEM - Natal/RN .

- Souza, L.G.M., Gomes, U.U., 2002, Coletor Solar em Labirinto com Tubos Absorvedores de PVC, CONEM, João Pessoa/Pb.
- Souza, L.G.M., Gomes, U.U., 2002, Coletor Solar Aletado com Tubos de PVC formando um Novo Modelo de Configuração em Série, CONEM, João Pessoa/Pb.
- 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.
- Cristofari, C. Et al., 2002, Modeling and performance of a copolymer solar water heating collector, Solar Energy, v. 72: (2), p. 99-112.
- Rivera, D.A.L., 1994, Projeto, Construção e Análise de Desempenho de um Coletor Solar Alternativo a Baixo Custo, Tese de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN, Natal.
- Lourenço, J.M., 1997, Estudo de um coletor solar alternativo usando tubos para absorção de alumínio, Tese de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN, Natal.
- Van Niekerk, W.M.K et al., 1996, Performance modeling of a parallel tube polymer absorber, Solar Energy, v. 58, p. 39-44.
- Matrawy K.K., Farkas, I., 1997, Comparison study for three types of solar collectors for water heating, Energy Convers. Manage., v. 38, p. 861-869.
- Shah, L.J., 1999, Investigation and Modeling of Thermal Conditions in Low Flow SDHW Systems, Department of Buildings and Energy, Technical University of Denmark, Report R-034.
- Gil, M. C., Santos, A.C., 2001, Low-temp Thermal Solar Energy, Censolar (Study Center of the Solar Energy), Sevilla.
- Duffie, J.A., Beckman, W.A., 1991 Solar Engineering of Thermal Processes, II edition, New York, John & Sons, 757 p.

TITLE: LOW COST ALTERNATIVE SOLAR COLLECTOR WITH SURFACE TO ABSORPTION FORMED FOR PVC TUBES

Prof. Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza

Engineering Mechanics Department of Federal University of Rio Grande do Norte, Natal-RN, Brasil
lguilherme@dem.ufrn.br

Nilton Lúcio Fernandes da Silva

Graduation in Engineering Mechanics of Federal University of Rio Grande do Norte, Natal-RN, Brasil

Vânio Vicente Santos Souza

Pos-graduation Program in Engineering Mechanics of Federal University of Rio Grande do Norte, Natal-RN, Brasil

William Fernandes de Queiroz

Pos-graduation Program in Engineering Mechanics of Federal University of Rio Grande do Norte, Natal-RN, Brasil

Reginaldo Dias dos Santos

Graduation in Materials Engineering of Federal University of Rio Grande do Norte, Natal-RN, Brasil

Abstract. *A new model of solar collector not conventional is presented, composed for multiple units of PVC tubes in parallel to absorb solar radiation, through a new model of linking between same and the pipes of admission and water exit. The box of the collector is made with a composite of matrix ceramic, and coated with resin, propitiating the elimination of the thermal isolation, usually glass wool. The collector is composed for only three elements: box, absorb grid and glass. They will be boarded constructive aspects, demonstrating the easiness of manufacture of such archetype, that it is characterized for presenting a cost of manufacture sufficiently reduced. It will be presented values of thermal parameters of the collectors, working in regimen of thermosiphon for a volume of water of the order of 250 liters. One will demonstrate the viability thermal, economic and of materials of the considered collector, enabling it to serve it of option to the conventional systems of market heating, mainly to the attainment of low temperatures.*