



COLETOR SOLAR EM LABIRINTO COM TUBOS ABSORVEDORES DE PVC

Luiz Guilherme Meira de Souza

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
DEM/CT - Campus Universitário - Lagoa Nova - Natal - RN
lguilherme@dem.ufrn.br

Uilame Umbelino Gomes

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
DFTE/CCET - Campus Universitário - Lagoa Nova - Natal - RN
umbelino@dfte.ufrn.br

Wskley Batista Nóbrega de Sousa

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
DEM/CT - Campus Universitário - Lagoa Nova - Natal - RN

RESUMO

Apresenta-se um coletor solar alternativo, com serpentina absorvedora em formato de labirinto, composta por tubos de PVC de ½" e ¾", pintados de preto fosco. Seu princípio de funcionamento é o mesmo dos coletores convencionalmente descritos pela literatura. Seu regime de trabalho é o de fluxo contínuo, sem a utilização de sistema de bombeamento, com apenas uma passagem do fluido de trabalho. Foi concebido para servir de opção mais econômica para a instalação de coletores solares para a substituição do aquecimento de água por energia elétrica. São mostrados dados de ensaio que o caracterizam, demonstrando sua viabilidade de utilização pelo bom desempenho térmico do mesmo. Serão também abordados aspectos relativos a custo, demonstrando ter tais protótipos preço inferior aos coletores convencionais que utilizam tubos absorvedores de cobre, bem como aspectos relativos as susceptibilidades às degradações térmica e por UV para os tubos de PVC.

Palavras-chave: coletor de baixo custo, energia solar, materiais alternativos.

1. INTRODUÇÃO

O uso da energia solar para fins de aquecimento de líquidos representa uma das aplicações mais difundidas dessa fonte energética, ao lado dos sistemas fotovoltaicos para a geração de energia elétrica, principalmente nos países desenvolvidos (Murthy, 1996; Yakov, 2000; Trends, 2000, Aplicaciones Prácticas, Censolar, 1999).

No Brasil, o uso de sistemas de aquecimento solares tem crescido significativamente, principalmente em função da grave crise energética iniciada no corrente ano, com o governo abrindo até linhas de financiamento à população para a compra de coletores solares visando a substituição da energia elétrica pela fonte solar na geração de água quente destinada ao banho, eliminando o uso de chuveiro elétrico que tem um consumo de energia elétrica bastante significativo.

Sendo a cidade de Natal privilegiada em relação ao potencial de energia solar disponível (Irradiação Média Global Anual correspondente a 5.662 Wh/m^2 e Média Mensal de 250,3 horas de sol), a pesquisa em equipamentos solares que possam socializar o uso desta fonte energética, contribuindo para o alívio da matriz energética de nosso estado representa uma alternativa de grande significância (Atlas de Irradiação Solar do Brasil, 1999 e Dados da Estação Climatológica da UFRN, 1995 - 2000).

Para a obtenção do fim desejado são utilizados coletores solares, principalmente os de placa plana. Tais coletores, que podem trabalhar em regime de termosifão ou circulação forçada, são constituídos por unidades absorvedoras formadas por tubos de cobre geralmente ligados a aletas confeccionadas em chapa de alumínio. Os tubos de cobre são de custo elevado alcançando valores superiores a R\$ 2,50 por metro linear, para diâmetro de $\frac{1}{2}$ " ($12,5 \times 10^{-3} \text{ m}$) e R\$ 5,50 para $\frac{3}{4}$ " ($19,0 \times 10^{-3} \text{ m}$) (Dickinson 1980; Duffie, 1991; Lourenço, 1997; Sistemas de Aprovechamiento Termico II, Censolar, 1997; Aplicaciones Prácticas, Censolar, 1999; Van Niekerk et al., 1996; Tsilingiris, 1996; Tsilingiris, 1997)

Pretende-se demonstrar a viabilidade técnica e econômica de tal coletor, tendo-se como principal tema de análise a contribuição social que o mesmo pode representar, pela diminuição do custo de fabricação do componente mais importante de um sistema de aquecimento por energia solar principal. Serão apresentados dados relativos ao levantamento de desempenho de tal coletor que atestam sua viabilidade de utilização. Serão também enfocadas as degradações térmica e por UV dos tubos absorvedores de PVC (Jerioski, 1983; Albuquerque, 2001; Albuquerque, 1999; Mano, 2000; Fisch, 1999; Ragab, 2001; Sullivan, 1999)

2. O COLETOR EM ESTUDO

Visando a diminuição de custo dos coletores componentes de um sistema de aquecimento por energia solar, desenvolveu-se, testou-se e analisou-se um coletor alternativo de baixo custo, constituído por uma serpentina absorvedora de tubos de PVC em formato de labirinto.

Este tipo de coletor foi concebido, utilizando-se como idéia geradora o coletor em espiral, mostrado por Cabirol, 1978, objetivando-se um aumento significativo no comprimento da serpentina absorvedora através de um melhor aproveitamento de área. Foram construídas duas serpentinas absorvedoras, formadas por tubos de PVC de diferentes diâmetros, $\frac{1}{2}$ " e $\frac{3}{4}$ ", obtendo-se em consequência serpentinas com diferentes comprimentos de tubulação absorvedora. A serpentina formada por tubos absorvedores de $\frac{1}{2}$ " apresentou um comprimento total da ordem de 49 m e o de $\frac{3}{4}$ " da ordem de 40 m. Se levarmos em conta o comprimento da tubulação de um coletor convencional, da ordem de no máximo 20 m, percebe-se um aumento percentual no comprimento correspondente a cerca de 80 e 120 %, respectivamente.

O coletor apresenta os mesmos elementos de um coletor solar convencional, diferindo apenas no material absorvedor utilizado e no que diz respeito a geometria da serpentina formada pelos tubos de aquecimento. A união entre as várias unidades absorvedoras é obtida através de joelhos do mesmo material e de mesmo diâmetro que os tubos utilizados. Os tubos formadores da serpentina são pintados de preto fosco.

Através da adoção desse formato de serpentina permitiu-se a colocação de um comprimento de tubulação absorvedora muito maior que o obtido em coletores do tipo convencional, o que representa uma condição extremamente necessária para que se possa construir um coletor que utiliza um material classificado como isolante térmico, como é o caso do PVC, como condutor de calor. Só através desse maior comprimento da tubulação absorvedora, e conseqüente, maior área de troca térmica entre fluido e tubulação, é que torna-se possível que um material de condutibilidade térmica de $0,15 - 0,20 \text{ W/m.K}$ possa competir com um material que apresenta uma condutibilidade de 300 W/m.K (Incropera, 2000).

Como já foi dito os elementos constituintes do coletor em labirinto são os mesmos utilizados para os coletores convencionais, quais sejam:

- Cobertura de vidro plano transparente, 3 mm de espessura;

- Caixa de perfil de alumínio de 1,5 m x 1,0 m;
- Isolamento térmico de lã de vidro;
- Chapa absorvedora de alumínio de 0,5 mm de espessura;
- Elementos de ligação joelhos de PVC.

A ligação entre os tubos absorvedores foi obtida utilizando-se joelhos de PVC, de mesmo diâmetro, e cola comum para o mesmo material. Isto significa uma enorme vantagem, uma vez que a cola empregada é a adequada para ambos elementos, joelho e tubo. A Fig.(1) mostra o coletor em labirinto construído e estudado.

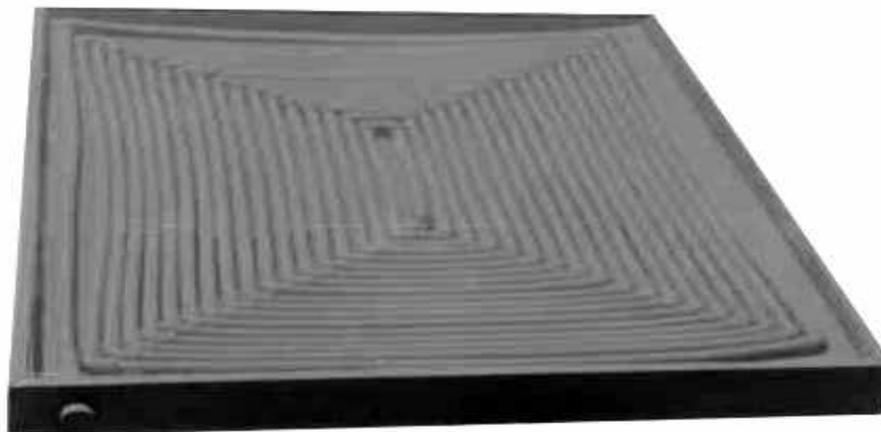


Figura 1 – Coletor em labirinto

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O coletor em tela foi ensaiado em regime de fluxo contínuo, para dois dias, com apenas uma passagem do fluido pelo interior do mesmo, para quatro níveis de vazão, quais sejam 30, 40, 50, 60 l/h e 80 l/h (Duffie & Beckman, 1991; Cristofari et al., 2002; Dickinson, 1980; Tsilingiris, 1997; Matrawy, 1997; Bezerra, 1999; Souza, 2000). A constância da vazão foi assegurada pela utilização de um registro de esfera na saída do coletor em ensaio e pela manutenção de um volume constante de água no reservatório de água fria.

O coletor em estudo foi ensaiado utilizando-se duas diferentes serpentinhas absorvedoras, formadas por tubos de PVC de 1/2" e 3/4" respectivamente, para determinar-se qual delas concedia ao coletor um melhor desempenho e uma melhor relação custo x benefício.

Foram levantados dados de temperatura de entrada e saída de fluido através da utilização de termopares (cromel-alumel) e radiação solar global no período de 8:00 às 15:00 h, através de um piranômetro, com intervalo de medida correspondente a 15 minutos. As temperaturas de evolução de fluxo no interior do coletor da serpentina absorvedora do coletor foram medidas a cada hora, para o mesmo período de tempo. As temperaturas do coletor, dos tubos absorvedores e ambiente foram medidas no intervalo entre 11:30 e 13:30 h, de meia em meia hora, período de radiação praticamente constante.

Todos os ensaios foram realizados em dias de céu limpo, quase isento de nebulosidade, a fim de que a análise comparativa para os vários níveis de vazão não fosse comprometida.

4. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Os parâmetros que melhor caracterizam a eficiência térmica de um coletor solar são o **rendimento térmico** e o **coeficiente global de perdas**. Para a determinação do coeficiente global de perdas utilizou-se a Eq.(1). Foram também determinados o Calor absorvido (Q_{abs}) pelo sistema, o calor útil transferido ao fluido ($Q_{útil}$) e o calor perdido pelo sistema (Q_p), determinados pelas equações (2), (3) e (4), mostradas a seguir. As Eqs.(5), (6) e (7), serão utilizadas para a

determinação do rendimento térmico relativo a cada vazão estudada(Duffie & Beckman,1991; Júnior, 1995; Incropera, 2000).

$$U_{loss} = \frac{(t_v \cdot a_p - h_t) I}{(T_{pm} - T_a)}$$

(1)

Onde:

t_v = transmissividade do vidro(0,85)

a_p = absortividade da placa(0,9).

h_t = rendimento térmico(%).

T_{pm} = temperatura média da placa absorvedora (°C).

T_a = Temperatura ambiente (°C).

I = radiação solar global(KW/m²)

$$Q_{abs} = t_v \cdot a_p \cdot I \cdot A \tag{2}$$

$$Q_u = m \cdot c_p \cdot \Delta T \tag{3}$$

$$Q_p = Q_{abs} - Q_u \tag{4}$$

$$h_t = \frac{0,023 \cdot \Delta T}{I}, \text{ para } Q = 30 \text{ l/h} \tag{5}$$

$$h_t = \frac{0,031 \cdot \Delta T}{I}, \text{ para } Q = 40 \text{ l/h} \tag{6}$$

$$h_t = \frac{0,039 \cdot \Delta T}{I}, \text{ para } Q = 50 \text{ l/h} \tag{7}$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas gerais a seguir, mostram os dados médios relativos aos dois dias de ensaio para cada nível de vazão que foram realizados com os coletores em labirinto.

Tabela 1 - Parâmetros térmicos dos coletores, onde Q é a vazão, ΔT o gradiente térmico obtido pelo fluido no coletor, I a radiação solar global e η_t o rendimento térmico

TIPO	Q(l/h)	ΔT (°C)	I(kw/m ²)	η_t (%)
LAB 1/2"	30	17,6	0,74	55,17838
LAB 3/4"	30	17,9	0,74	56,11892
LAB 1/2"	40	15,4	0,74	64,436
LAB 3/4"	40	15,3	0,74	63,88784
LAB 1/2"	50	11,6	0,74	60,66486
LAB 3/4"	50	11,7	0,74	61,19

No que diz respeito ao gradiente de temperatura nota-se que os valores assumidos pelo coletor para os tubos absorvedores de diferentes diâmetros que formam a serpentina são praticamente idênticos, alcançando diferença máxima de 1,7% para a vazão correspondente a 30 l/h. O mesmo comportamento dá-se em relação ao rendimento térmico. A pretendida constância da radiação solar global média diária foi alcançada, sendo correspondente para todos os dias de ensaio a 740 W/m^2 .

Tabela 2 - Níveis de temperatura no coletor, onde Q é a vazão, $T_{\min.t}$, $T_{\max.t}$ e $T_m.t$ são as temperaturas mínima, máxima e média da superfície externa dos tubos na grade absorvedora e T_i a temperatura interna do coletor.

Tipo	$Q(\text{l/h})$	$T_{\min.t}(\text{°C})$	$T_{\max.t}(\text{°C})$	$T_m.t(\text{°C})$	$T_i(\text{°C})$
LAB 1/2"	30	47,5	61	53,8	56
LAB 3/4"	30	45	59	51	54
LAB 1/2"	40	39	56	46	53,1
LAB 3/4"	40	38	56	45,2	53,1
LAB 1/2"	50	41	49	45	53
LAB 3/4"	50	42	50	45,5	52,5

Com relação as temperaturas dos tubos absorvedores percebe-se que para as três vazões ensaiadas os níveis alcançados estão bem abaixo do valor crítico acima de 60°C . Mesmo para a temperatura máxima medida ao longo da serpentina absorvedora tal valor não foi atingido. No que concerne a comparação entre os coletores com tubos de diferentes diâmetros os valores das temperaturas medidas ao longo da grade absorvedora foram sempre , sendo correspondentes a bastante próximos sendo para a menor vazão correspondentes a $53,8$ e 51°C , para a temperatura média da serpentina absorvedora.

No que diz respeito a evolução de fluxo no interior da superfície absorvedora os dados médios diários para as oito horas de ensaio para cada nível de vazão estão contidos na Tab.(3).

Tabela 3 – Evolução do fluxo no interior as serpentina absorvedora, onde T_e é a temperatura de entrada do fluido no coletor, T_{10m} , T_{20m} , T_{30m} , T_{40m} e T_{45m} são as temperaturas do fluido ao longo da serpentina absorvedora, T_s é a temperatura do fluido na saída do coletor e ΔT é o gradiente térmico.

Vazão (l/h)	T_e (°C)	T_{10m} (°C)	T_{20m} (°C)	T_{30m} (°C)	T_{40m} (°C)	T_{45m} (°C)	T_s (°C)	ΔT (°C)
30	31	36,4	39,9	43,3	46,3	48,1	48,9	17,9
40	31,3	35,2	38,4	41,6	44	45,7	47	15,7
50	30,8	33,6	36,1	38,7	41	42	43	12,2

Os dados contidos na tabela acima demonstram a não ocorrência de saturação, sendo a temperatura do ponto subsequente sempre inferior ao do ponto anteriormente medido, comprovando que toda a área da serpentina absorvedora é área útil de troca térmica efetiva.

Outro parâmetro de grande importância no estudo de coletores solares é o coeficiente global de perdas, U_{loss} , que define o grau de troca térmica entre o interior do sistema e o meio circundante. A tabela a seguir mostra os parâmetros levantados para o cálculo do coeficiente global de perdas, e os valores assumidos pelo mesmo(Rivera, 1994).

Tabela 4 - Parâmetros de perdas térmicas do coletor, onde Q é a vazão; Q_a é o calor absorvido pelo coletor; Q_u é o calor transferido ao fluido; Q_p é o calor perdido pelo coletor; T_{pm} é a temperatura média da placa; T_a é a temperatura ambiente e U_{loss} é o coeficiente global de perda.

Tipo	Q (l/h)	Q _a (W)	Q _u (W)	Q _p (W)	T _{pm} (°C)	T _a (°C)	U _{loss} (W/m ² .K)	Q _u /Q _a (%)	Q _p /Q _a (%)
Lab 1/2 "	30	849,2	612,4	236,8	53,5	33	7,700813	0,7211	0,2788
Lab 3/4"	30	849,2	623	226,2	51	33	8,377777	0,7336	0,2663
Lab 1/2 "	40	849,2	715,2	134	45,7	32	6,520681	0,8422	0,1577
Lab 3/4"	40	849,2	709,2	140	45,2	33	7,650273	0,8351	0,164
Lab 1/2 "	50	849,2	673,3	175,9	45	32	9,020512	0,7928	0,2071
Lab 3/4"	50	849,2	671,2	178	45	33	9,888888	0,7903	0,2096

Os dados da tabela demonstram que os menores valores de perda térmica acontecem para a vazão de 40 l/h, para os coletores com grades absorvedoras de diferentes diâmetros, onde o calor perdido corresponde a 134 W e 140W, para 1/2"(12,5 x 10⁻³ m)e 3/4"(19,0 x 10⁻³ m), respectivamente. Estes valores são em termos percentuais 43% e 38% mais baixos que os correspondentes a vazão de 30 l/h que foram os valores mais altos de perda térmica.

O coeficiente global de perdas térmicas, segundo a literatura situa-se na faixa entre 6 e 12 W/m².K, para os coletores convencionais (Duffie & Beckman,1991). Pelos dados mostrados nas tabelas acima percebe-se que para todas as vazões ensaiadas o coletor em labirinto, para as serpentinas formadas por tubos de diferentes diâmetros apresentaram coeficientes situados na faixa citada pela literatura, alcançando valores mínimo e máximo correspondentes a 6,5 e 9,9 W/m².K, respectivamente.

No que diz respeito ao custo de fabricação o coletor apresenta o mesmo valor para as duas serpentinas absorvedoras testadas, correspondente a R\$ 140, 00/m².

Para a confecção de um coletor de cobre os custos de mão de obra são mais significativos, pelas operações necessárias a montagem dos mesmos, por exemplo, os processo de tornar os tubos retos e de soldagem. Já para o caso do PVC, o processo de montagem da grade absorvedora é bem mais simples, exigindo pouco trabalho de mão de obra, uma vez os materiais já se encontram aptos para a união, não necessitando de trabalhabilidade dos mesmos. Apenas as operações de corte, lixamento e colagem.

No que diz respeito ao custo da serpentina absorvedora percebe-se que a formada por tubos absorvedores de PVC é no mínimo metade da confeccionada em cobre. Isto propicia uma competitividade dos coletores de PVC com os de cobre, pelo fato do seu bom desempenho.

Como se percebe o fato dos tubos de PVC propiciarem uma facilidade de montagem da tubulação absorvedora, pela sua durabilidade comprovada, pela sua eficiência e principalmente pelo seu baixo custo em relação ao cobre e alumínio, representa uma considerável vantagem na utilização dos mesmos como elementos absorvedores de um coletor solar.

Mostrar que um material classificado como isolante térmico, de decantada susceptibilidade as degradações térmicas e por UV, que induzem a fragilidade, representa um significativo desafio, porém através de um melhor relação entre área de absorção e área de exposição, de um aumento da área de absorção e utilizando-se um regime adequado, fluxo forçado, este fim torna-se possível.

O cobre que é o material mais utilizado como elemento absorvedor de radiação solar e gerador de calor entregue ao fluido de trabalho, apresenta a desvantagem do alto custo, alcançando preço até dez vezes superior ao do PVC de 3/4"(19,0 x 10⁻³ m).

O uso do plástico como elemento absorvedor de radiação não se trata de nenhuma novidade, tubos de polipropileno são amplamente utilizados para o aquecimento de piscinas. Porém os coletores que utilizam tubos absorvedores desse material apresentam um nível de aquecimento muito menor que os coletores utilizados para o aquecimento de fluido destinado a aplicações residenciais e industriais.

A fragilidade do PVC constitui-se num grave problema quando trabalha-se no regime de termosifão que é o mais utilizado para pequenas e médias instalações. Neste regime, não há

possibilidade de controle efetivo da temperatura dos tubos absorvedores e portanto o risco de atingir-se a temperatura de degradação é bastante significativo.

Essa fragilidade maior do PVC se mostra mais crítica no que diz respeito ao impacto. Testes de tração, compressão e flexão realizados mostraram até um aumento das propriedades relativas a estes ensaios, porém no que diz respeito ao impacto a perda de resistência para tubos expostos há mais de cinco anos foi de até 70% quando comparado a um tubo nunca exposto ao sol. (Sullivan, 1999; Ragab, 2001) A tinta preta aplicada nos tubos para a obtenção de níveis de temperatura mais elevados, funciona como um elemento de atenuação da degradação por UV, porém acentua a degradação térmica. Por esse fato é de extrema necessidade que os tubos absorvedores não atinjam o nível de temperatura crítico, só sendo possível esse controle em um regime de fluxo forçado, com vazão pré-fixada.

Porém é possível utilizar o PVC como elemento absorvedor, mesmo com uma condutibilidade térmica entre 0,15 e 0,21 W/m.K, o que representa um valor insignificante quando comparado ao cobre de condutibilidade correspondente 398 W/m.K. A maior inovação porém está na geometria da serpentina absorvedora, que produz um aproveitamento otimizado do espaço de absorção de radiação.

6. CONCLUSÕES

01. Apesar da constatação do nível de fragilidade ser bastante intenso, no que diz respeito ao impacto, tal tipo de solicitação não ocorre na condição de trabalho a que os tubos absorvedores de um coletor solar estão submetidos. Como a temperatura externa dos tubos de PVC não atingiu 70°C ao longo da serpentina, mesmo para a temperatura máxima, nível crítico no tocante a degradação térmica, a viabilidade de utilização de coletores que utilizam tubos de tal material é bastante significativa;
02. Os resultados alcançados com o coletor em estudo são próximos aos obtidos com a utilização de coletores com tubos absorvedores de cobre, trabalhando em mesmo regime, de custo mais elevado, podendo ser utilizado como elemento de um sistema de aquecimento por energia solar para aplicações residenciais e industriais;
03. O coletor em labirinto apresenta uma maior facilidade de montagem, o que representa uma sensível vantagem em relação ao coletor aletado e aos outros tipos de coletores disponíveis no mercado;
04. O coletor em labirinto de $\frac{3}{4}$ " (19,0 x 10⁻³ m) é mais viável que o de $\frac{1}{2}$ " (12,5 x 10⁻³ m) em função de seus resultados terem sido quase idênticos e pela maior facilidade de montagem, pela exigência de um comprimento menor de tubos absorvedores e um conseqüente menor número de joelhos para a união dos tubos e conseqüente obtenção da serpentina de aquecimento;
05. A geometria projetada para um melhor aproveitamento da área disponível a radiação solar incidente propiciou a obtenção dos objetivos propostos, proporcionando uma competitividade do PVC em relação a outros elementos absorvedores de maior custo, pela possibilidade de aumento da área de absorção e de troca térmica do coletor;
06. Não houve ocorrência de vazamentos e deteriorações nos tubos absorvedores, o que demonstra que a geometria projetada apresenta viabilidade de utilização em caráter industrial e comercial, para tornar-se um produto de mercado;
07. Para todos os níveis de vazão testados não houve a ocorrência de saturação do sistema, ou seja, sempre houve um gradiente térmico entre os pontos subsequente e anterior medidos. Isso demonstra que o comprimento da serpentina absorvedora pode ocupar toda a área útil do coletor;
08. Os volumes de água aquecidos para as vazões de 30 e 40 l/h, correspondem 210 e 280 l/dia, que podem suprir as necessidades de uma família de quatro pessoas, o que demonstra a eficiência de tais coletores, pelo fato de propiciarem estes níveis com apenas 1,5 m² de área;
09. Os níveis de radiação solar global atingiram valor médio da ordem de 0,74 KW/m², que está em profundo acordo com os dados do Atlas de Irradiação Solar do Brasil, que aponta para os meses de

outubro, novembro e dezembro no nordeste brasileiro, nos quais ensaiou-se o coletor, valores médios mensais acima de $0,7 \text{ KW/m}^2$;

10. As perdas térmicas dos coletores em estudo alcançaram níveis compatíveis com as apontadas pela literatura para coletores convencionais, comprovando mais uma vez a eficiência dos coletores construídos, como já foi evidenciada pelos valores de rendimento térmico e pelos níveis de temperatura do fluido;

11. O custo médio do coletor proposto fica em torno de R\$ 140,00/m², o que representa uma economia acima de 25% em relação os coletores convencionais do mercado em torno de R\$ 190,00/m².

7. REFERÊNCIAS

Murthy, M.R.L.N. Solar Cell Materials, Technologies, Applications and the Impact on Developing Countries, NEW and ADVANCED MATERIALS, Vol 1, Viena, Austria, 1996.

Tsur Yacov, and Amos Zemel, Long-term perspective on the development of solar energy, Volume 68, Issue 5, Pages 379-392, 2000.

Trends in Renewable Energies, 151-156, Canadian Association for Renewable Energies, October-November, 2000.

La Energia Solar – Aplicaciones Prácticas, Censolar – Centro de Estudios de La Energia Solar, Progensa, Sevilla, Espanha, 1999.

Dickinson, W.C.; Cheremisinoff, P.N. Solar Energy Technology Handbook, Part B, Marcel Dekker, New York, 1980.

Duffie, J.A.; Beckman, W.A. Solar Engineering of Thermal Processes, II edição, New York, John & Sons, 757 p., 1991.

Lourenço, J.M. Estudo de um Coletor Solar Alternativo, usando Tubos Absorvedores de Alumínio, Dissertação de Mestrado/Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica-UFRN, Natal/RN, 1997.

Instalaciones de Energia Solar, Sistemas de Aprovechamiento Termico II, Censolar(Centro de Estudios de la Energia Solar), Tomo II, PROGENSA, Sevilla, dez. 1997, España.

Van Niekerk, W.M.K.; Du Toit, C.G.; Scheffler, T.B. Performance modelling of a parallel tube polymer absorber. Solar Energy 58 (1996), pp. 39-44.

Tsilingiris, T. Solar water heating design - a new simplified approach. Solar Energy 57, pp. 19-28. 1996.

Tsilingiris, P.T. Design, analysis and performance of low-cost plastic film large solar water heating systems. Solar Energy 60: 5pp. 245-256, 1997.

Jerioski, R.J.; Wenzier, R.A.A. Polyvinyl and vinyl copolymers, Modern Plastics Encyclopedia, 108-112, New York, 1983.

Albuquerque, J.A.C. Planeta Plástico, Editora Sagra Luzzato, Porto Alegre, 2001.

Albuquerque, J.A.C. O Plástico na Prática, Editora Sagra Luzzato, Porto Alegre, 1999.

Mano, E.B. Polímeros como Materiais de Engenharia, Editora Edgard Bluchen, São Paulo, 2000

Fisch, M.H.; Bacaloglu, R. Mechanism of poly(vinyl chloride) stabilization, Plastics Rubber and Composites, 28:(3), 119-124, 1999.

Ragab, A.R. and Alawi, H. Weathering effects on the fracture properties of polyvinyl chloride pipes, Journal of Testing and Evaluation, 29: (1), 44-49, January, 2001.

Sullivan, F.R.; Elleithy R.H.; Abu-Ali, A. Effect of thermal degradation on the impact properties of PVC compounds, Journal Of Vinyl & Additive Technology, 5: (4), 200-204, December, 1999

Cabirol, T; Pelissou, A.; Roux, D. El Calentador Solar de Agua, Compañia Editorial Continental, S.A., 1978, Barcelona, Espanha.

Incropera, F. P.; Dewitt, D. P. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa, Guanabara Koogan, 4ª Edição, Rio de Janeiro, 2000.

- Cristofari, C.; Notton, G.; Poggi, P.; Louche, A. Modelling and performance of a copolymer solar water heating collector, *Solar Energy*, Volume 72, Issue 2 , Pages 99-112, February 2002.
- MATRAWY, K.K.; FARKAS, I. Comparison study for three types of solar collectors for water heating. *Energy Convers. Manage.* 38, pp. 861-869, 1997.
- Bezerra, J.M. Análise de um Sistema Alternativo para Aquecimento de água por Energia Solar, Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 1999.
- Souza, L.G.M. Sistema Alternativo de Aquecimento Solar, CONEM - 2000, Natal.
- Júnior, F.S. Otimização e Desempenho Térmico de um Coletor Solar Alternativo com Tubos Absorvedores de Cobre, Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 1995.
- Rivera, D. A. Projeto, Construção e Análise de Desempenho de um Coletor Solar Alternativo a Baixo Custo, Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 1994.

ABSTRACT

It is intended to demonstrate the viability of use of an alternative solar collector, consisting of tubes of PVC, in format of labyrinth, for the water heating for solar energy. They will be boarded thermal aspects, of materials and costs. Demosntrates the ample competitiveness that the collector in screen has in relation to the collectors of the market. One will reveal that the control of the temperature of the tubes is possible so that the same ones do not reach the critical temperature of beginning of the thermal degradation, what it guarantees a bigger time of useful life of the collecting cited one, enabling it to become it a market product.