



COLETOR SOLAR MULTITUBOS DE PVC ALETADO COM UM NOVO MODELO DE CONFIGURAÇÃO EM SÉRIE

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

Flank Melo de Lima

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
DEM/CT - Campus Universitário - Lagoa Nova - Natal - RN
flanklima@yahoo.com.br

Resumo

Apresenta-se um coletor solar alternativo, com serpentina absorvedora formada por tubos de PVC, ligados em série através de uma nova forma de união. Seu princípio de funcionamento é o mesmo dos coletores convencionais do tipo placa plana. Seu regime de trabalho é o de fluxo contínuo, sem a utilização de sistema de bombeamento, com apenas uma passagem do fluido de trabalho. Tal protótipo foi concebido para servir de opção mais econômica para a instalação de coletores solares na substituição do aquecimento de água por energia elétrica. Apresenta-se dados de ensaios realizados com o coletor em tela, mostrando parâmetros que o caracterizam, demonstrando sua viabilidade de utilização pelo bom desempenho térmico do mesmo. Serão abordados também aspectos relativos as susceptibilidades às degradações térmica e por radiação UV para os tubos de PVC

Palavras-chave: coletor alternativo, energia solar, material alternativo, baixo custo.

1. INTRODUÇÃO

O emprego da fonte solar para a obtenção de fluido quente representa uma das aplicações mais viáveis desta fonte energética. Países desenvolvidos têm massificado programas de acesso a coletores solares, socializando o uso da fonte térmica limpa, utilizando a cada dia com maior amplitude tais em substituição a energia elétrica para o aquecimento de água residencial e industrial (Charters, 1996; Murthy, 1996; Trends, 2000).

Os coletores solares disponíveis em vários modelos são amplamente descritos na literatura especializada, porém os mais utilizados são os do tipo placa plana (Duffie & Beckman, 1991; Aplicaciones Practicas, Censolar, 1999). Tais dispositivos, que podem trabalhar em regime de

termosifão ou através de circulação forçada, são constituídos por tubos absorvedores de cobre solidamente ligados a uma chapa absorvedora, geralmente de cobre ou alumínio (Dickinson 1980; Duffie, 1991; Lourenço, 1997, Sistemas de Aprovechamiento Termico II, Censolar, 1997; Aplicaciones Practicas, Censolar, 1999, Van Niekerk et all., 1996; Tsilingiris, 1996; Tsilingiris, 1997). Os tubos de cobre apresentam elevado custo alcançando preço acima de R\$ 2,50 por metro linear, para diâmetro de $\frac{1}{2}$ " ($12,5 \times 10^{-3}$ m) e R\$5,50 para $\frac{3}{4}$ " ($19,0 \times 10^{-3}$ m).

Buscando-se baratear o custo de fabricação de coletores solares desenvolveu-se, construiu-se e testou-se um coletor alternativo, formado por múltiplos tubos de PVC de $\frac{1}{2}$ " solidamente ligados a aletas de alumínio de $0,5 \times 10^{-3}$ m de espessura, com um novo modelo de configuração em série, formando uma serpentina absorvedora.

Pretende-se demonstrar a viabilidade térmica, de materiais e econômica de tal coletor, evidenciando seu papel de socialização do benefício por ele gerado, pela diminuição do seu custo de fabricação, de maior magnitude num sistema de aquecimento por energia solar. Serão apresentados dados relativos ao levantamento de desempenho de tal dispositivo solar que comprovam sua viabilidade de utilização. Serão também enfocados aspectos relativos as degradações térmica e por radiação UV dos tubos absorvedores de PVC (Jerioski, 1983; Albuquerque, 2001; Albuquerque, 1999; Mano, 2000; Fisch, 1999; Ragab, 2001; Sullivan, 1999)

Com relação a este último aspecto enfocado, apresenta-se resultados do coletor em tela, com a superfície absorvedora voltada para cima, com os tubos expostos a radiação solar e para baixo, com os tubos protegidos da radiação.

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 tubos de PVC ligados em série, constituindo uma nova configuração para a grade absorvedora.

Este tipo de coletor foi concebido, utilizando-se como idéia geradora várias gerações de coletores alternativos desenvolvidos, construídos e testados no âmbito do LES/UFRN, sendo objetos de 06 Teses de Mestrado junto ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN (Silva, 1993; Rivera, 1994; Júnior, 1995; Hurtado, 1995; Lourenço, 1997; Bezerra, 1999). Tendo por objetivo maior o aumento da área de tubulação absorvedora e conseqüente aumento da área de troca entre fluido e superfície absorvedora, o que propicia um aumento significativo no comprimento da serpentina absorvedora através de um melhor aproveitamento de área.

Este coletor é composto de 17 tubos de PVC de $\frac{1}{2}$ " ($12,5 \times 10^{-3}$ m) ligados em série, formando uma serpentina de comprimento igual a 22,5 metros, pintados de preto fosco, com os tubos estando acoplados a aletas colocadas em baixo dos mesmos, formando um conjunto absorvedor chapa-tubos, também pintadas de preto fosco.

A área do coletor é de $1,5 \text{ m}^2$, seu isolamento térmica lateral e de fundo é de isopor, sua caixa é de perfil de alumínio e está recoberto por uma lâmina de vidro plano transparente de espessura. As aletas foram confeccionadas com tiras de alumínio de calha de $0,5 \times 10^{-3}$ m de espessura, através de um processo de prensagem totalmente artesanal. Para uma maior aderência entre aletas e tubos utilizou-se três barras chatas de espessura igual a 3×10^{-3} m rebitadas nas aletas de alumínio.

A principal característica deste tipo de coletor, que busca um melhor aproveitamento em termos de superfície de troca, colocando em uma mesma área uma quantidade de tubos bem maior que os que formam os coletores planos convencionais, é a forma como a serpentina foi obtida, ligada em série. A aparência do coletor é de uma configuração em paralelo, porém sua configuração é em série. O tipo de ligação apresentado, obtido com tês de PVC, de $\frac{1}{2}$ " ($12,5 \times 10^{-3}$ m) unidos, formando um tubo, apresenta uma estética bem melhor que o obtido com joelhos ligados. Para o desvio do fluxo, obtendo-se uma ligação em série, foram usados pequenos anéis confeccionados com chapa plana de PVC, cortados com serra copo.

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 W/m.K possa competir com um material que apresenta uma condutibilidade de 300 W/m.K(Incropera, 2000). A Fig.(1) mostra o coletor descrito.



Figura (1). Coletor aletado em estudo com novo modelo de configuração proposto

O processo de fabricação do citado coletor compreendeu os seguintes passos: Construção da caixa do coletor – confeccionada em perfil de alumínio; montagem da grade absorvedora – formada por tubos de PVC de $\frac{1}{2}$ " ($12,5 \times 10^{-3}$ m) em série, pintados de preto fosco, interligados através de um novo modelo de conexão (tubulações formadas de têes de PVC de $\frac{1}{2}$ " ($12,5 \times 10^{-3}$ m) ligados e tendo em seu interior esbarros de pvc plano); modelagem das aletas e fixação das mesmas aos tubos.

O processo de montagem de tal coletor deu-se através dos seguintes passos: Colocação de isolamento térmico, isopor de 20×10^{-3} m, no fundo e lateral da caixa; confecção dos furos de entrada e saída da tubulação absorvedora na caixa do coletor, através do uso de serra copo; colocação do conjunto absorvedor chapa-tubos no interior da caixa, acima do isolamento térmico; colocação da lâmina de cobertura do coletor, constituída de uma lâmina de vidro plano transparente de espessura correspondente a 3×10^{-3} m; aplicação de borracha de silicone para a vedação do coletor; pintura do coletor e acoplamento do registro de esfera na tubulação do coletor para controle de vazão.

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 três níveis de vazão, quais sejam 30, 40 e 50 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 situações: uma com os tubos absorvedores de PVC voltados para cima e outra com os tubos absorvedores voltados para baixo, para determinar-se qual delas concedia ao coletor um melhor desempenho e para um estudo em relação aos processos de degradação térmico e por radiação UV.

Foram realizadas medidas 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, das aletas 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 Eqs. (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).

$$U_{loss} = \frac{(t_v \cdot a_p - h_t) I}{(T_{pm} - T_a)} \quad (1)$$

onde:

t_v - transmissividade do vidro (%)

a_p = absorvância da placa (%)

h_t = rendimento térmico (%)

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

T_a - Temperatura ambiente (°C)

I - Radiação solar global (KW/m²)

$$Q_{abs} = t_v \cdot a_p \cdot I \cdot A \quad (2)$$

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

onde:

$m = \rho \cdot Q =$ vazão mássica (Kg/s)

c_p = calor específico a pressão constante (Kcal/Kg.°C)

ΔT = gradiente de temperatura do fluido no coletor (°C)

$$Q_p = Q_{abs} - Q_u \quad (4)$$

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

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

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

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabs. (1) e (2) e (3), mostram os dados médios relativos aos dois dias de ensaio para cada nível de vazão que foram realizados com o coletores em estudo e o comportamento comparativo entre os parâmetros levantados para as duas situações: tubos para cima e para baixo.

Tabela 1. Parâmetros térmicos obtidos com o coletor em estudo, 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	$Q(l/h)$	$\Delta T(^{\circ}C)$	$I(kw/m^2)$	$\eta_t(\%)$
ALETADO(Tc)	30	17,4	0,74	54,55135
ALETADO(Tb)	30	15,9	0,74	49,84865
ALETADO(Tc)	40	14,9	0,75	61,388
ALETADO(Tb)	40	12,9	0,74	53,86622
ALETADO(Tc)	50	11,1	0,74	58,05
ALETADO(Tb)	50	10,5	0,74	54,91216

Da análise dos dados contidos nas tabelas acima percebe-se que o coletor que apresenta a configuração para cima apresentou melhores resultados em termos do gradiente de temperatura gerado, para os três níveis de vazão experimentados. Porém os valores obtidos se aproximam bastante para a maior vazão utilizada. Em termos percentuais para a vazão de 50 l/h, a diferença entre os valores obtidos com as duas configurações foi da ordem de 5,4 % a favor da que utiliza os tubos voltados para cima. O mesmo acontece em relação ao rendimento térmico.

Tabela 2 – Níveis de temperatura nos tubos absorvedores, onde Q é a vazão, $T_{min.t}$, $T_{máx.t}$ e $T_{m.t}$ são as temperaturas mínima, máxima e média da superfície externa dos tubos na grade absorvedora.

TIPO	$Q(l/h)$	$T_{min.t}(^{\circ}C)$	$T_{máx.t}(^{\circ}C)$	$T_{m.t}(^{\circ}C)$
ALETADO(Tc)	30	43,2	59	50,6
ALETADO(Tb)	30	47	51	49
ALETADO(Tc)	40	40	51,1	46,4
ALETADO(Tb)	40	44	51	47,3
ALETADO(Tc)	50	39	49,3	43,7
ALETADO(Tb)	50	49	51,5	49

No que diz respeito as temperaturas na superfície dos tubos absorvedores constata-se que os mesmos ficaram bem abaixo do nível crítico acima de $60^{\circ}C$ onde a degradação térmica começa a alcançar níveis perigosos para o material. Até mesmo a temperatura máxima não atingiu esse nível, alcançando valor máximo de $59^{\circ}C$ para a configuração com os tubos para cima na vazão de 30 l/h.

Tabela 3 - 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 absorvedora; T_a é a temperatura ambiente e U_{loss} é o coeficiente global de perdas.

Tipo	$Q(l/h)$	$Q_a(W)$	$Q_u(W)$	$Q_p(W)$	$T_{pm}(^{\circ}C)$	$T_a(^{\circ}C)$	$U_{loss}(W/m^2.K)$
Ale(Tc)	30,0	849,2	606,0	243,2	50,6	33,0	9,21
Ale(Tb)	30,0	849,2	553,3	296,0	49,0	32,0	11,6
Ale(Tc)	40,0	849,2	690,6	158,6	46,4	32,0	7,34

Ale(Tb)	40,0	849,2	598,0	251,2	47,3	33,0	11,7
Ale(Tc)	50,0	849,2	644,3	204,9	43,7	32,0	11,7
Ale(Tb)	50,0	849,2	609,5	239,7	49,0	32,5	9,68

Dos dados da tabela percebe-se que o coletor aletado com os tubos voltados para cima sempre apresentou valores de perda térmica inferiores ao coletor com os tubos voltados para baixo, sendo o valor mínimo alcançado correspondente a vazão de 40 l/h, com valor igual a 7,34 W/m².K.

O coeficiente global de perdas térmicas, segundo a literatura situa-se na faixa entre 6,0 e 12,0 W/m².K, para os coletores convencionais planos(Duffie & Beckman, 1991). Pelos dados mostrados nas tabelas acima percebe-se que para todas as vazões ensaiadas o coletor em labirinto, para as serpentinadas formadas por tubos de diferentes diâmetros apresentaram coeficientes situados na faixa citada pela literatura, alcançando valores mínimo e máximo correspondentes a 7,34 e 11,7 W/m².K.

No que diz respeito ao custo de fabricação o coletor apresenta o um valor correspondente a R\$ 120,00/m², muito inferior aos coletores disponíveis no mercado com preços em torno de R\$ 190,00/m². Esse custo é significativamente menor em função do baixo custo da serpentina absorvedora, que nos coletores representa o elemento de maior custo.

O novo tipo de ligação entre os tubos absorvedores, propiciando uma configuração da grade absorvedora em série, foi aprovado, não tendo havido problemas de montagem e ocorrências de vazamentos quando da realização dos testes. Propiciou a colocação de 17 tubos absorvedores, pela diminuição do espaço entre dois tubos consecutivos, o que nos coletores já desenvolvidos esse número no máximo correspondia a 14 em função do raio de curvatura mínimo necessário á curva de união entre os mesmos.

No que diz respeito as situações estudadas, tubos absorvedores voltados para cima e para baixo, relativas a análise de susceptibilidade a degradação por UV, percebe-se que para maiores níveis de vazão a diferença de temperatura entre as duas situações diminui consideravelmente. O coletor trabalhando com os tubos voltados para baixo apresenta a vantagem de evitar a degradação por UV, além de não necessitar pintura nos tubos absorvedores. Logo, se o objetivo principal for evitar totalmente as degradações inerentes ao PVC, esta situação é a mais indicada.

Porém como para as duas situações estudadas a temperatura máxima dos tubos em sua superfície externa não alcançou a temperatura de início do processo de degradação térmica(T > 60°C), ambas as situações apresentam ampla viabilidade de utilização.

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(Torikai, 1999; Jordan, 2001; Yarahmadi, 2001; Cahn, 1994), 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.

A fragilidade do PVC, demonstrada em testes de impacto, pode ser combatida como se demonstrou neste trabalho, pelo controle da temperatura dos tubos absorvedores, através do uso de uma vazão adequada a tal fim.

Foram também realizados ensaios para avaliação das propriedades mecânicas em amostras de tubos expostos a radiação por um período de até cinco anos, comprovando-se que a maior perda de resistência em relação a tubos nunca expostos dá-se no impacto, onde há uma perda de até 70 %. Porém em relação as outras propriedades tração, compressão, flexão há até um aumento da resistência a estes esforços. Estes resultados estão coerentes com o que aponta a literatura(Sullivan, 1999; Ragab, 2001)

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. Dessa forma a viabilidade de utilização de tubos absorvedores é bastante significativa pela constatação de que os níveis de temperatura dos tubos absorvedores ao longo da serpentina não atingem o nível crítico no tocante a degradação térmica;

02. Os resultados alcançados com o coletor em estudo demonstram sua viabilidade de utilização como elemento de um sistema de aquecimento por energia solar para aplicações residenciais e industriais;

03. O novo modelo de configuração, que torna vários tubos paralelos uma serpentina absorvedora em série, mostrou-se eficiente, e além disso, concedendo rigidez a grade absorvedora, o que não acontece quando se trabalha com joelhos como elementos de ligação. Propiciou um aumento da área de troca térmica entre fluido e tubulação, pelo aumento do número de tubos no coletor.

04. A medida em que a vazão aumenta a diferença entre as configurações com os tubos voltados para cima e para baixo diminui significativamente.

05. 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;

06. 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;

07. 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;

08. 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;

09. O custo médio do coletor proposto fica em torno de 63% do custo dos coletores convencionais do mercado, representando portanto seu uso numa economia por demais significativa, correspondente a de 37%.

7. REFERÊNCIAS

- Charters, W.W.S., O Uso da Energia Solar para o Desenvolvimento Ecologicamente Sustentável, New and Advanced Materials, Vol. 1, Viena, Austria, 1996.
- 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.
- Trends in Renewable Energies, 151-156, Canadian Association for Renewable Energies, October-November, 2000.
- Dickinson, W.C. and Cheremisinoff, P.N., Solar Energy Technology Handbook, Part B, Marcel Dekker, New York, 1980
- Duffie, J.A. and Beckman, W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, II edição, New York, John & Sons, 1991.
- Instalaciones de Energia Solar, Sistemas de Aprovechamiento Termico II, Censolar(Centro de Estudios de la Energia Solar), Tomo IV, Progensa, Sevilla, 1997, España.
- La Energia Solar – Aplicações Práticas, Censolar – Centro de Estudios de La Energia Solar, Progensa, Sevilla, Espanha, 1999.
- Van Niekerk, W.M.K., Du Toit, C.G. and Scheffler, T.B., Performance modelling of a parallel tube polymer absorber, Solar Energy, Vol. 58, pp. 39-44, 1996.

- Tsilingiris, T., Solar water heating design - a new simplified approach, *Solar Energy* Vol. 57, pp. 19-28, 1996.
- Tsilingiris, P.T., Design, analysis and performance of low-cost plastic film large solar water heating systems, *Solar Energy*, Vol. 60:(5), pp. 245-256, 1997.
- Jerioski, R.J. and Wenzier, R.A.A., Polyvinyl and vinyl copolymers, *Modern Plastics Encyclopedia*, pp. 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 Blucher, São Paulo, 2000
- Fisch, M.H. and Bacaloglu, R., Mechanism of poly(vinyl chloride) stabilization, *Plastics Rubber and Composites*, Vol.28:(3), pp. 119-124, 1999.
- Ragab, A.R. and Alawi, H., Weathering effects on the fracture properties of polyvinyl chloride pipes, *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 29:(1), pp. 44-49, 2001.
- Sullivan, F.R., Elleithy R.H. and Abu-Ali, A., Effect of thermal degradation on the impact properties of PVC compounds, *Journal of Vinyl & Additive Technology*, 5:(4), 200-204, 1999.
- 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.
- 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.
- Hurtado, J.D.B., Sistema Misto a Energia Solar: Comprovação do Princípio de Funcionamento para Aquecimento de Água e Ventilação, ou Aquecimento de Ambientes, *Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN*, 1995.
- 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.
- 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.
- Incropera, F. P. and 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. and Louche, A., Modelling and performance of a copolymer solar water heating collector, *Solar Energy*, Vol. 72:(2), pp. 99-112, 2002.
- Matrawy, K.K. and Farkas, I. Comparison study for three types of solar collectors for water heating. *Energy Convers. Manage.*, Vol. 38, pp. 861-869, 1997.
- Souza, L.G.M., *Sistema Alternativo de Aquecimento Solar*, CONEM - 2000, Natal.
- Ayako Torikai and Hirose Hasegawa, Accelerated photodegradation of poly(vinyl chloride), *Polymer Degradation And Stability*, Vol. 63, Issue 3, pp. 441-445, 1999.
- Jordan, K.J., Suib, S.L. and Koberstein, J.T., Determination of the degradation mechanism from the kinetic parameters of dehydrochlorinated poly(vinyl chloride) decomposition, *Journal of Physical Chemistry B*, Vol.105:(16), pp. 3174 - 3181, 2001.
- Cahn, R. W., Haasan, P. and Kramer, E. J., *Materials Science and Technology, Structure and Properties of Polymers*, Vol. 12, New York, 1994.
- Jordan, K.J., Suib, S.L. and Koberstein, J.T., Determination of the degradation mechanism from the kinetic parameters of dehydrochlorinated poly(vinyl chloride) decomposition, *Journal Of Physical Chemistry B*, Vol.105: (16), pp. 3174 - 3181, 2001.

WING SOLAR COLLECTOR WITH A NEW MODEL OF PATTERN IN SERIES

Abstract

A collector with tubes is presented parallel placed of PVC, and a new model to more bind them in series, objectifying itself it attainment of raised temperatures, Demonstrates that the use of such pattern allows to a bigger area of thermal swap between tube and circulating fluid. It proves thermal efficiency of such collector and its viability of use as element of a system of heating through the solar energy. The question of the degradation is also standed out thermal and for inherent UV the use of PVC tubes as elements of absorption of the solar radiation.

Keywords: PVC tubes, solar collector, cost low, alternative material.

-