

REVISTA



SOLUÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO PAÍS

VOLUME 5 - Nº 57 - Setembro / 2010

ISSN - 1809-3957

ARTIGOS PUBLICADOS

PUBLICAÇÃO MENSAL

Nesta edição

COMPARAÇÃO DAS VANTAGENS DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR A VÁCUO EM RELAÇÃO AO TRADICIONAL – Leandro Mendes Pinto, Teófilo Miguel de Souza..... 2

AQUECEDORES SOLARES COM GARRAFAS PET: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE GANHOS NA EFICIÊNCIA E AUMENTO DO CUSTO PELA UTILIZAÇÃO DE DIVERSOS TUBOS ASCENSORES - Teófilo Miguel de Souza, Galeno José de Sena, Fábio Esteves da Silva, Luciano de Paula..... 9



Atendimento:

contato@sodebras.com.br

Acesso:

<http://www.sodebras.com.br>



COMPARAÇÃO DAS VANTAGENS DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR A VÁCUO EM RELAÇÃO AO TRADICIONAL

ISSN - 1809-3957

L. M Pinto e T. M. Souza

I. OBJETIVO

Temos como o objetivo principal deste trabalho analisar o sistema de aquecimento solar à vácuo comparando os custos e vantagens com outros aquecedores para uma solução energética mais viável para o aquecimento da água.

O aquecimento solar à vácuo é um sistema inovador para aquecimento de água com muitas vantagens em relação a outros aquecedores tradicionais. Neste trabalho serão demonstradas e comparadas às principais características.

Abaixo segue uma lista contendo algumas das características do aquecedor solar a vácuo

- Aquece a água a temperaturas de até 95° C na torneira.
- A eficiência do equipamento é de 95% da energia solar incidente, mais eficiente do que um Aquecedor Solar convencional.
- Neste sistema as perdas são reduzidas, devido ao vácuo entre os tubos de vidro (mesmo princípio da garrafa térmica) que proporciona um perfeito isolamento térmico.

- O menor reservatório (180 Litros) pode proporcionar de 10 a 12 banhos quentes e confortáveis de até 10 minutos cada, o que é equivalente ao equipamento tradicional de 500 litros.

II. INTRODUÇÃO

Para entendermos melhor o sistema de aquecimento à vácuo abaixo segue uma pequena descrição do seu princípio de funcionamento.

A captação de energia térmica é realizada através de um conjunto de tubos de vidro de boro silicato de alta resistência com parede dupla, dentro do qual existe vácuo. A parede interna está coberta de nitrato de alumínio, um material com excelente capacidade de absorção de calor, tornando o processo de aquecimento de água muito mais rápido e eficiente.

Devido ao vácuo existente no espaço confinado entre os dois tubos, o sistema não sofre interferência do meio externo (vento, chuva e dias nublados) e as perdas de calor são extremamente reduzidas, tornando os melhores coletores disponíveis no mercado na figura 1 podemos verificar como são compostos estes tubos. É indicado para projetos com exigência de altas temperaturas de calor

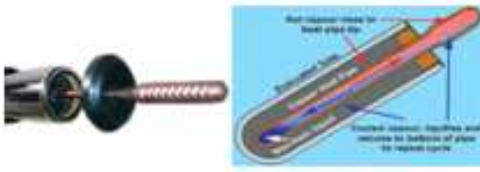


Fig. 1 – Tubo do aquecedor Sola à Vácuo

A troca de calor ocorre por convecção natural dentro dos tubos de vidro. Sendo assim, não existem motores para circulação da água, evitando o consumo de energia elétrica e gastos com manutenção de motor elétrico.

A manutenção necessária é a simples limpeza com água e esponja dos tubos de vidro a cada 3 ou 5 anos. A montagem é simples, podendo ser montado na cumieira ou em superfície plana (por exemplo, sobre a laje).

Possui coletores com 3 camadas de absorção que potencializam o aquecimento. Pode aquecer a água para condição de banho em apenas 1 hora de insolação. Na figura 2 podemos verificar um aquecedor solar à Vácuo montado.



Fig. 2 – Aquecedor Solar à Vácuo

III. DESENVOLVIMENTO

O [Aquecedor solar](#) de água é o equipamento que utiliza a energia do sol para o aquecimento da água para diversas aplicações.

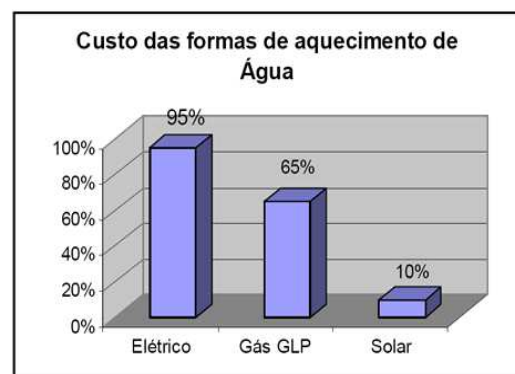
Embora existam diferentes modelos de aquecedores solar, a maioria desses equipamentos geralmente é composta de coletores solares e um reservatório térmico chamado de boiler.

São utilizados geralmente onde houver a necessidade de água quente, como exemplo pode-se citar:

- Residências;
- Edifícios;
- Hotéis;
- Motéis;
- Indústrias;
- Piscinas;
- Hospitais
- Vestiários;
- Etc.

Sendo assim podemos dizer que o aquecimento solar é bom para o usuário, pois significa um bom investimento, economia e conforto, é bom para as concessionárias energéticas, pois alivia o horário de pico e é bom para o país porque permite que ele cresça usando essa energia.

Na figura 3 a seguir podemos verificar uma comparação do aquecimento de água e outros tipos de aquecimento em relação ao custo da forma do aquecimento sege ele a gás, elétrico ou solar.



Fonte: Ensol

Fig. 3 – Comparação dos tipos de aquecimento

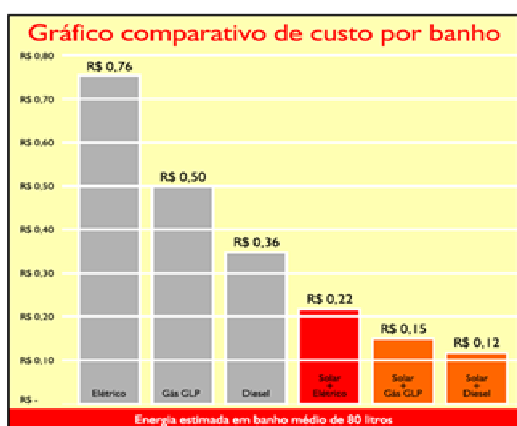
Fonte: Soletrol

Fig. 4 – Comparativo de custo por banho

Para termos uma idéia das propriedades isolantes nos tubos de vácuo, quando a temperatura do tubo interior estiver a 150°C, o tubo exterior estará a uma temperatura de cerca de 25°C.

Esta é a grande vantagem em relação a outros tipos de coletores. Enquanto os aquecedores à vácuo desempenham bem, mesmo a temperaturas exteriores baixas, outros coletores vão perdendo a energia armazenada para o meio circundante muito rapidamente.

Na figura 4 temos um gráfico comparativo de custo por banho nos vários tipos de energia



de banho.

Sendo assim pode-se comprovar que o sistema de aquecimento solar é um sistema muito econômico, para garantir uma economia ainda maior do que foi comprovado na pesquisa feita acima, este trabalho tem por definição demonstrar e comparar qual dos principais aquecedores tradicionais e à vácuo é o mais viável para o sistema de aquecimento solar.

Outra comparação feita pela Universidade de São Paulo comprovou: os chuveiros solares híbridos são os mais econômicos. Em um banheiro laboratório montado pela universidade, foram testados vários tipos de chuveiros durante três meses. O objetivo da pesquisa foi determinar qual deles é o mais econômico, levando em conta o consumo de água e o consumo energético dos chuveiros.

Tomando como base um banho de oito minutos, o chuveiro com aquecimento elétrico central foi o que apresentou um maior gasto, um total de R\$ 0,78 centavos, enquanto o sistema de aquecimento a gás resultou um gasto e R\$ 0,58 centavos e o aquecimento solar teve um gasto de R\$ 0,35, menos da metade do custo do sistema elétrico e quase 50% a menos que o sistema a gás.

Com isso o estudo conclui que o sistema mais econômico, tanto em consumo de água quando de energia, é o híbrido que alia o aquecedor solar e o chuveiro elétrico, que gastou apenas R\$ 0,22 centavos para os mesmos oito minutos

IV. ESTUDO DE CASO

Analisando as principais características dos aquecedores poderemos citar as suas principais vantagens.

Para o sistema solar à vácuo temos as seguintes definições:

- Alta eficiência para aproveitamento da energia solar.
- Maior aproveitamento dos raios solares.
- A água atinge maiores temperaturas interna.

- Temperatura interna dos tubos coletores de até 150° C.
- A água circula por convecção, eliminando assim motor elétrico para circulação.
- Baixo custo - o sistema se paga em 24 meses.
- Possui resistência de Apoio Elétrica de apenas 1500W em 220V muito mais economia.
- O equipamento funciona inclusive em dias de chuva, muito frios ou até mesmo com neve.
- Resistente à chuvas de granizo de até 5,00 cm de diâmetro.

Para o sistema solar tradicional com placas temos as seguintes características:

- Economia no consumo de energia elétrica em até 60%
- Utiliza fonte de energia inesgotável, gratuita e não poluente
- Construído totalmente de materiais nobres, apresentando alta isolamento térmica internamente
- Coletores hermeticamente vedado, protegido contra intempéries
- É de fácil instalação
- Segurança total de funcionamento
- E auxílio elétrico

V. RESULTADOS

Após analisado suas principais características e vantagens no sistema de aquecimento solar, serão apresentadas alguns valores entre os dois tipos de aquecedores

Com algumas pesquisas realizadas obtive-se os valores para o aquecedor solar à vácuo no modelo XF-II com 18 tubos de diâmetro de 58mm x 1800mm com 171L usado normalmente para famílias de 4 pessoas com o valor de aproximadamente R\$1500,00

Já para o aquecedor solar tradicional com placas coletoras 2000x1000x0,58mm (AxLxP) modelo KPS200 Komeco 400L, usado também para uma família de 4 pessoas obteve-se o valor de aproximadamente **R\$2800,00**.

Com estes dados em mãos foi elaborada a tabela 1 abaixo onde poderá ser verificada uma comparação dos custos envolvidos e sua economia entre os dois sistemas analisados.

Tabela 1
Análise dos custos entre dois tipos de aquecedores solar

Aquecedor à Vácuo	Aquecedores Solar Tradicional	ECONOMIA
Resiste à chuva de Granizo	Pouco resiste a chuva de granizo	Aproximadamente R\$460,00 por placa.
Aquece até 95° C	Aquece até 65° C	Diminui aproximadamente 70% a utilização do apoio térmico.
95% de eficiência térmica	50 a 60% de eficiência térmica	
Aquece em dias nublados	Aquece pouco em dias nublados	
Não pesa o telhado (180 Kg o de 130L) e o espaço utilizado é 2m ²	Pesa o telhado (500 Kg o de 400L) e o espaço utilizado é 6m ²	Aproximadamente R\$420,00 com suportes de placas e reservatório.
Suporte de Reservatório e placas embutidos no equipamento	Não tem os suportes de reservatório e de placas	
Aquece mais rápido	Aquecimento lento	Devido à velocidade de aquecimento, rende mais banhos.
Não necessita de caixa d'água acima do reservatório	Necessita de caixa d'água acima do reservatório	Aproximadamente R\$300,00 com a caixa e bombeio
Não necessita de Kit de instalação	Necessita de Kit de instalação	Aproximadamente R\$600,00
Vida útil de 20 anos (estimado)	Vida útil 15 anos (estimado)	Economia com reparos e manutenção.
Qualidade: Selo de Excelência Europeu (o mais rígido do mundo em qualidade)	Algumas marcas com INMETRO e outras com PROCEL	Mais qualidade
Menor utilização do apoio elétrico e mais econômico o consumo (1500W)	Maior utilização do apoio elétrico e gasta mais energia (4000W)	Economia de aproximadamente 300% quando acionado.

VI. CONCLUSÃO

Com os estudos feitos pode-se verificar que o Aquecedor solar de água sege à Vácuo ou placas (tradicional) tem uma grande vantagem comparando com outros sistemas de energia trazendo assim uma grande economia para o usuário. Pois em qualquer um dos dois casos o investimento inicial e um pouco alto, mas porém o retorno é rápido além de ecologicamente ser um investimento importantíssimo.

E como principal foque deste trabalho foi comparação entres os aquecedores pode-se concluir que o Aquecedor solar a vácuo é um meio mais eficaz e econômico do que os aquecedores solares convencional pois tem maior resistência, aquece a temperaturas mais altas, fácil manutenção e o mais importante é econômico pois além de todas estas vantagens tem um custo inferior aos tradicionais

VII. REFERÊNCIAS

[1] Rodrigues, Délcio; Matajs, Roberto. **O que os aquecedores solares podem fazer pelo meio ambiente e a Sociedade** - São Lourenço da Serra – SP, Vitae Civilis Editora, 2005

[2] **Manual instalação residencial** - Disponível em:

<http://www.ensol.com.br>

[3] **Soletrol** - Disponível em:

<http://www.soletrol.com.br>.

[4] **Energias Renováveis** - Disponível em:

<http://www.energiasrenovaveis.com/>

[5] **Cidades Solares**- Disponível em:

<http://www.cidadessolares.org.br>

[6] **Fabricante de aquecedor** - Disponível em:

<http://www.shenhaosolar.cnen>

[7] **Aquecedor Solar à Vácuo** - Disponível em:

<http://goldeniar.com/>



AQUECEDORES SOLARES COM GARRAFAS PET: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE GANHOS NA EFICIÊNCIA E AUMENTO DO CUSTO PELA UTILIZAÇÃO DE DIVERSOS TUBOS ASCENSORES.

ISSN - 1809-3957

T. M. Souza, G. J. Sena, F. E. S., L. Paula

Resumo: *O presente trabalho apresenta uma relação entre custo e rendimento em coletores solares confeccionados com garrafas PET através da variação dos tubos ascensores. A bancada experimental foi composta por 4 coletores, cada um contendo 6 garrafas em série, sendo que, para cada coletor foi utilizado um tubo ascensor diferente – cobre, alumínio, zinco e PVC. Nos resultados é possível constatar que o aquecimento da água possui uma relação direta, porém não proporcional, com a condutividade térmica do tubo ascensor, contudo, não se pode dizer o mesmo sobre o custo desse tubo, aliás, para os dados desse estudo, a variável custo mostrou uma relação inversa à condutividade térmica. O estudo fornece dados para comparação entre rendimentos, aquecimento da água e custos, sem, no entanto, apontar para uma condição irrefutável de escolha, pois esta condição está atrelada as necessidades e possibilidades de quem vai construir um aquecedor.*

Palavras-chaves: *Aquecedor solar, energia solar, fontes renováveis e recicláveis, condução térmica.*

I. INTRODUÇÃO

COM a crescente necessidade da sociedade moderna pelo consumo de eletricidade, mecanismos que contribuam para a sua racionalização e para a sua utilização em fins mais nobres são muito importantes. Além disso, toda e qualquer contribuição no sentido de preservar o meio ambiente é sempre muito bem vinda. Nesses sentidos, o sistema de aquecimento de água através da utilização de coletores a base de garrafas PET proposto por José Alcino Alano¹ foi considerado por muitos com um verdadeiro achado.

O trabalho empírico desse senhor já foi estudado por muitos [1],[2],[3], alguns com o intuito de teorizá-lo adequadamente e outros com o intuito de melhorar a sua eficiência.

De certa forma, é nesse último grupo que se

enquadra esse estudo. Contudo ele também resgata uma das motivações iniciais do Sr. Alano – o baixo custo. Por isso, o presente estudo buscou maximizar a eficiência desses aquecedores e analisar a que custo isso é possível, para em seguida encontrar um ponto de equilíbrio entre essas duas variáveis, o que não foi possível, pois, como esse trabalho demonstrará, tal ponto de equilíbrio depende de quem está construindo o aquecedor.

A bancada experimental foi instalada no campus da UNESP – Guaratinguetá, na área reservada para experimentos, pesquisa e análises de fontes alternativas de energia e lá se encontra, sob a coordenação do Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza.

II. CONSTRUÇÃO DA BANCADA E SENSORES UTILIZADOS

O projeto inicial previa a construção de 4 coletores idênticos, todos com as mesmas dimensões e todos com 6 garrafas PET ligadas em série, de modo que, a única diferença entre eles seria a composição de seus tubos ascensores. No entanto, após se definir os materiais a serem utilizados nesses tubos, notou-se uma grande dificuldade de se manter a homogeneidade dimensional entre eles através dos tubos oferecidos e encontrados facilmente no mercado. Essa dificuldade poderia e seria superada através da encomenda de alguns tubos, no entanto, com essas encomendas, a bancada estaria discordando de uma das idéias iniciais desse estudo, pois um tubo encomendado elevaria em demasia os custos de construção desse coletor.

Para resolver essa pendência, utilizaram-se tubos de cobre e de alumínio com diâmetro externo de 3/4 de polegada (19,05 mm), tubo de PVC com diâmetro externo de 20 mm e tubo de zinco com diâmetro externo de 1 polegada (25,4 mm). Esses valores foram compensados e levados em consideração para uma análise comparativa. Para uma melhor absorção da

¹ ALANO, J. A. et al. Manual sobre a Construção e Instalação do Aquecedor Solar com Descartáveis. Disponível em: <<http://josealcinoalano.vilabol.uol.com.br/manual.htm>>. Acesso em: 10 out. 2009.

radiação incidente, todos eles foram pintados de preto.

Para o controle de vazão, foi instalada em cada coletor uma torneira simples "Fig. 1". A regulagem do fluxo se deu através do uso sincronizado de um cronometro e uma proveta. Em tempo, a vazão de cada coletor foi regulada para **1 ml/s**.



Fig. 1 - Torneiras para a regulagem da vazão.

Devido às diferenças entre os diâmetros dos tubos e das conexões de PVC padrões em casas de construção, foi necessária a utilização de colas e massas epóxi para a perfeita vedação dessas conexões "Fig. 2".



Fig. 2 - Vedações com epóxi.

Depois de instalada e com a vazão regularizada, os dados foram colhidos utilizando um termopar e um medidor de energia solar. As tomadas de temperatura foram na água de alimentação e na água na saída de cada torneira.

A bancada aproveitou a estrutura da área reservada para experimentos, pesquisa e análises de fontes alternativas de energia que já possui um aquecedor solar "Fig. 3" e, portanto, toda a estrutura para o suporte dos coletores, com as corretas inclinações e posicionamento.



Fig. 3 - Aquecedor solar.

Maiores detalhes sobre o funcionamento de aquecedores solares podem ser encontrados em [3]. Quanto à construção de aquecedores com garrafas PET, uma boa leitura está disponível em:

<http://josealcinoalano.vilabol.uol.com.br/manual.htm>, (Acesso em: 10 out. 2009).

III. DADOS E CÁLCULOS

A. Dados dos tubos:

$$A = \pi \cdot d \cdot L \quad (1)$$

Onde:

A = área da superfície de troca de calor.

d = diâmetro externo do tubo.

L = comprimento do tubo.

TABELA 1
DIMENSÕES DOS TUBOS.

	d (mm)	L (m)	A (mm ²)
Cu	19,05	2	285
Al	19,05	2	285
Zn	25,4	2	507
PVC	20	2	314

B. Dados coletados:

TABELA 2
DADOS COLETADOS.

Horário	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)				q _s (W/m ²)
		Cu	Al	Zn	PVC	
09h00min	25	26,5	26,5	27,7	27	771,2
09h30min	26	32,6	31,4	32,6	31	860
10h00min	29,5	36,5	35,4	38,3	35,4	983,5
10h30min	30,5	39,2	38,2	41,6	36,2	812,2 ²
11h00min	30,9	40,2	40,4	41,3	38,3	1090

² Céu pouco nublado

11h30min	33,3	47,7	45,2	50,8	43	690 ²
12h00min	33,7	53	47,8	53,3	43,2	1120
12h30min	33,4	49,8	47,5	52,8	45,5	1090
13h00min	33,7	48,4	51,9	55,6	47,1	1120
13h30min	35,5	48,8	50,1	54,9	44,9	1126
14h00min	30,8	41,1	39,8	42,5	38,2	850,2 ²
14h30min	31,1	39,2	37,2	40,1	35,5	480,2 ³

$$q''_{\text{m\u00e9dio}} = 916,1 \text{ W/m}^2$$

$$\Delta T_{\text{m\u00e1x}} = \text{m\u00e1x}(T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) \quad (2)$$

$$\Delta T_{\text{m\u00edn}} = \text{m\u00edn}(T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) \quad (3)$$

TABELA 3
DIFEREN\u00c7AS ENTRE AS TEMPERATURAS DE ENTRADA E SA\u00cdDA.

	Cu	Al	Zn	PVC
$\Delta T_{\text{m\u00e1x}} (\text{^\circ C})$	19,3	18,2	21,9	13,4
$\Delta T_{\text{m\u00edn}} (\text{^\circ C})$	1,5	1,5	2,7	2

C. Pot\u00eancia em cada tubo:

$$P = q''_{\text{m\u00e9dio}} \cdot A \quad (4)$$

TABELA 4
POT\u00caNCIA TRANSMITIDA.

Tubo	Pot\u00eancia (W)
Cu	109,7
Al	109,7
Zn	143,9
PVC	115,1

D. Energia absorvida por cada tubo:

$$E = P \cdot t \quad (5)$$

Sendo o tempo *t* de exposi\u00e7\u00e3o foi de 6 horas e 30 minutos, portanto, 23400 s.

TABELA 5
ENERGIA ABSORVIDA.

Tubo	Energia (kcal)
Cobre	613,9
Alum\u00ednio	613,9
Zinco	805,6
PVC	644,5

³ C\u00e9u muito nublado

E. Calor transferido para a \u00e1gua.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (6)$$

Sendo a vaz\u00e3o de 1 ml/s, $\rho_{\text{\u00e1gua}} = 1000 \text{ kg/m}^3$,

$c_{\text{\u00e1gua}} = 1 \text{ kcal/kg} \cdot \text{^\circ C}$, em 6 horas e 30 minutos teremos:

TABELA 6
CALOR TRANSFERIDO.

	Cu	Al	Zn	PVC
$Q_{\text{m\u00e1x}} (\text{kcal})$	451,6	425,9	512,5	313,6
$Q_{\text{m\u00edn}} (\text{Kcal})$	35,1	35,1	63,2	46,8

F. Rendimentos.

$$\eta = Q/E \cdot 100\% \quad (7)$$

TABELA 7
RENDIMENTOS

	Cu	Al	Zn	PVC
$\eta_{\text{m\u00e1x}} (\%)$	73,6	69,4	63,6	48,7
$\eta_{\text{m\u00edn}} (\%)$	5,7	5,7	7,8	7,3

Rendimentos

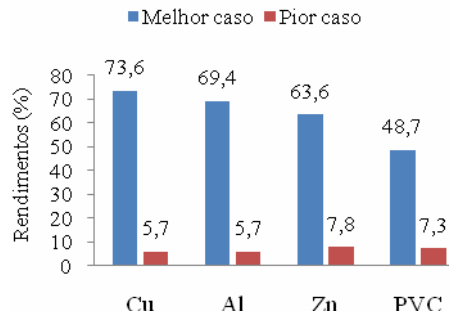


Fig. 4 - Gr\u00e1fico dos rendimentos.

G. Custos:

O custo apresentado abaixo \u00e9 apenas dos tubos. A composi\u00e7\u00e3o completa leva em considera\u00e7\u00e3o os valores das conex\u00f5es e demais acess\u00f3rios. Como o estudo \u00e9 de compara\u00e7\u00e3o e os outros custos s\u00e3o os mesmos para os 4 casos, eles n\u00e3o ser\u00e3o apresentados aqui.

TABELA 8
CUSTOS DOS TUBOS.

Material	Preço
Cu	R\$ 49,76
Al	R\$ 6,81
Zn	R\$ 6,53
PVC	R\$ 4,77

H. Relação rendimento/custo:

Os dados do gráfico abaixo são obtidos pela razão entre o rendimento e o custo de cada tubo ascensor. Eles indicam o ganho de rendimento (%) para cada real (R\$) investido.

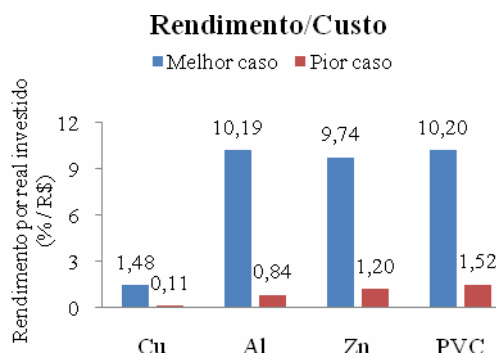


Fig. 5 - Relação entre rendimento e custo.

I. Normalização.

Considerando todos os tubos com 20 mm e uma incidência de radiação solar de $q''_{solar} = 916,1 W/m^2$, teremos em cada tubo uma potencia de $P = 115,1 W$, o que, para um período de exposição de 5 horas, representa uma energia absorvida de $E=495,7 kcal$.

Com:

$$Q = E \cdot \eta \tag{8}$$

TABELA 9
CALOR TRANSFERIDO NORMALIZADO PELO RENDIMENTO.

	Cu	Al	Zn	PVC
$Q_{máx} (kcal)$	364,7	343,9	315,4	241,2
$Q_{min} (kcal)$	28,3	28,3	38,9	36,0

$$\Delta T = Q/m \cdot c \tag{9}$$

TABELA 10
DIFERENÇAS DE TEMPERATURA.

	Cu	Al	Zn	PVC
$\Delta T_{máx} (°C)$	20,3	19,1	17,5	13,4
$\Delta T_{min} (°C)$	1,6	1,6	2,2	2,0

Diferenças de temperaturas (máx)

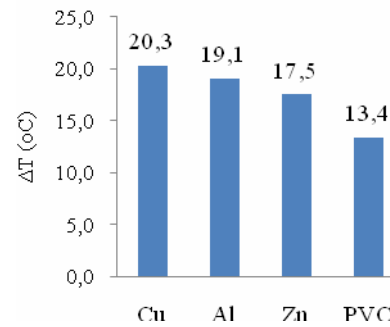


Fig. 6 - Máximas diferenças de temperatura.

$$Custo_{normalizado} = \frac{U_{normalizado} \cdot CUSTO_{real}}{D_{real}} \tag{10}$$

TABELA 11
NORMALIZAÇÃO DO CUSTO PELO DIÂMETRO

	$D_{normalizado} (m)$	$Custo_{normalizado}$
Cu	0,02	R\$ 52,24
Al	0,02	R\$ 7,15
Zn	0,02	R\$ 5,22
PVC	0,02	R\$ 4,77

Custo de cada grau Celsius

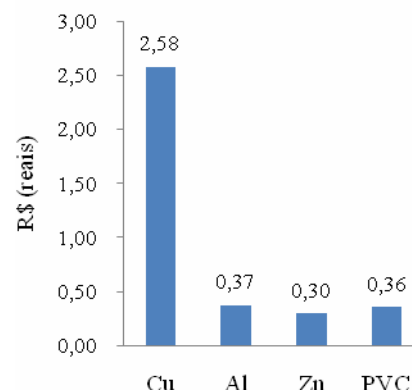


Fig. 7 - Relação entre custo e temperatura

IV. EXTRAPOLAÇÃO PARA UMA FAMÍLIA DE 4 PESSOAS.

O consumo diário de água quente por dia em uma residência é de 45 litros por dia [2], portanto, é possível fazer uma extrapolação dos resultados obtidos para uma família qualquer, como por exemplo, com 4 pessoas.

A. Vazão de água necessária para atender a demanda.

Por uma medida conservadora, consideraremos um período de incidência de radiação solar de apenas 5 horas.

$$\text{Vazão}_{\text{tubo}} = 3,6 \text{ l/h}$$

Portanto, em 5 horas, teremos **18 l/cano**, desta forma para atender essa família, serão necessários 10 canos.

B. Gastos com os tubos ascensores.

TABELA 12
GASTOS COM OS TUBOS ASCENSORES.

Material	Valor unit.	Valor total
Cu	R\$ 49,76	R\$ 497,60
Al	R\$ 6,81	R\$ 68,10
Zn	R\$ 6,53	R\$ 65,30
PVC	R\$ 4,77	R\$ 47,70

Como se pode notar, o valor dos tubos ascensores com cobre é praticamente igual a 1 salário mínimo, o que certamente, inviabiliza a construção dos coletores para famílias de baixa renda.

V. DISCUSSÕES FINAIS.

Com relação ao material do tubo ascensor, pode-se notar através da "Fig. 4" que existe uma relação direta entre o rendimento e a condutividade térmica do material do tubo. No entanto, ao confrontar esse ganho de rendimento com o aumento no custo "Fig. 5" percebe-se claramente que a relação custo benefício não é interessante para o Cobre, pois esse material possui custo elevado. Para os outros materiais (Alumínio, Zinco e PVC), as diferenças não são relevantes.

Após a normalização foi possível notar que as elevações de temperatura "Fig. 6" também possuem uma relação direta com a condutividade térmica do material do tubo. Por outro lado, o custo de cada grau Celsius "Fig. 7" se mostrou demasiadamente caro para o tubo de cobre. O tubo de zinco foi o que apresentou o custo mais baixo e, isto se deve ao bom ganho

na elevação da temperatura da água associado ao baixo custo desse material, uma vez que ele é facilmente encontrado em casas de materiais de construção, pois o mesmo serve de suporte para antenas de televisão.

Durante a extrapolação para uma família de 4 pessoas, mais uma vez o cobre se mostrou inviável, pois o custo do mesmo é superior a 10 vezes o custo de um tubo de PVC.

Por fim, este trabalho buscou apresentar comparações entre os 4 tipos de tubos ascensores utilizados na experimentação, contudo, evidentemente que a escolha de qual tubo utilizar vai depender das necessidades e das possibilidades de quem estiver construindo um aquecedor, pois pode-se priorizar o ganho na elevação da temperatura da água como o baixo custo de cada material.

Para trabalhos futuros fica a sugestão de testes com outros tubos de diversos materiais disponíveis no mercado e que possam ser utilizados como tubos ascensores.

VI. REFERÊNCIAS.

- [1] P. H. F. Bertoletti e T. M. Souza, "Dimensionamento de um Aquecedor Solar de Água Feito com Garrafas PET", apresentado no 7º Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural AGRENER GD 2008, Fortaleza-CE. [Online]. Disponível em: <http://www.nipeunicamp.org.br/agrener/anais/2008/Artigos/61.pdf>
- [2] D. M. Silva, "Eficiência de Aquecedores Solares Confeccionados com Garrafas PET de Diversas Cores," Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Curso de Engenharia Mecânica, FEG/UNESP, Guaratinguetá, 2009.
- [3] T. P. F. Borges e J. T. V. Pereira, "Economia de energia elétrica em edificações populares com uso de pré-aquecedor solar de material reciclado e pequeno investimento," in *NUTAU 2002: Sustentabilidade, Arquitetura, Desenho Urbano*, v. 1, pp. 365.
- [4] E. S. C. Cavalcanti e R. B. S. Brito, "Geração Heliotérmica: Uma Nova Opção de Energia Limpa para o Brasil," in *VIII Congresso Brasileiro de Energia - CBE*, pp. 1566-1575.
- [5] F. R. Martins et al., "Mapas de Irradiação Solar para o Brasil - Resultados do Projeto SWERA," in *XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, pp. 3137-3145.

