

## **PRÉ-AQUECEDOR SOLAR PARA ÁGUA DE CHUVEIRO COM POTÊNCIA REDUZIDA.**

ALFONSO BADAOU STRAZZI SAHYON<sup>1</sup>, \*DANILO JOSÉ DE REZENDE PIVOTTO<sup>1</sup>, DANIEL BOVO<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Curso de Graduação – Faculdade de Engenharia Mecânica/UNICAMP

\*E-mail do autor correspondente: danilo\_pivotto@yahoo.com.br

**RESUMO:** Sabendo-se que as placas solares de silício são somente utilizadas em residências de médio e alto porte devido ao seu elevado preço e que o Brasil possui um gigantesco potencial solar, este trabalho visa estudar um modo econômico de se conseguir utilizar a energia solar para realizar um pré-aquecimento da água antes que esta chegue ao chuveiro elétrico. Como a água estará com uma temperatura maior do que a temperatura da água que vem direto do sistema de abastecimento municipal, uma menor quantidade de energia será gasta. No trabalho também será calculada a redução de gasto com energia elétrica entre uma casa que utiliza este sistema e uma outra que não utiliza e baseado no sistema de “pay back”, é realizado uma estimativa do retorno do capital inicialmente investido.

**PALAVRAS-CHAVE:** pré-aquecimento, energia solar, redução de energia elétrica, garrafas PET

### **INTRODUÇÃO**

O Brasil, por ser um país localizado na região tropical do globo terrestre, recebe grande quantidade de radiação solar. Esta radiação que incide na nossa superfície pode ser absorvida e armazenada. Estudos realizados mostram que cerca de 2/3 do território brasileiro apresenta uma irradiação que varia de 5500 a 5900 Wh/m<sup>2</sup> (COLLE & PEREIRA, 1999). Apesar do grande potencial desse recurso natural e inesgotável, nosso país pouco explora esta forma de energia. Atualmente, o maior consumo de energia solar é em residências e indústrias que utilizam coletores

feitos de placas de silício para aquecer água. O Brasil é o maior produtor do mundo desse minério, porém, como exportamos o silício e o importamos em forma de equipamentos eletrônicos, estas placas possuem valor demasiadamente alto, podendo ser utilizadas somente por residências de médio, alto padrão e por grandes indústrias. Atualmente, estima-se que o custo para instalar um sistema de aquecimento solar para atender uma família de quatro pessoas gira entre R\$ 2,5 mil a R\$ 3,5 mil (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA, 2008).

Com o preço elevado dos sistemas de aquecimentos atuais, diversas outras formas de se obter energia solar foram testadas com o intuito de se conseguir economizar energia elétrica no aquecimento da água (FANTINELLI, 2002). Entre essas tentativas podemos destacar o uso do concreto como coletor solar. Estudos sobre o aquecimento de água com redes de condutores inseridos em concretos foram realizados em diversos países e o concreto possui um bom desempenho térmico e econômico. Outro estudo seguindo esta mesma tendência foi realizado por BORGES (2001). Neste trabalho, o autor propõe a utilização de embalagens recicladas de PET e de embalagens de leite para a construção de um pré-aquecedor solar de água. Como resultado, BORGES obteve que residências com este sistema conseguem cerca de 50% de redução no consumo anual de energia elétrica.

Embasado por estas idéias citadas acima, este trabalho visa construir um novo aquecedor solar de baixo custo que proporcione maior redução de energia elétrica.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Para realizar os cálculos necessários para este projeto, tomaremos como base algumas relações de engenharia fundamentadas na troca de calor.

O projeto consiste na construção de um absorvedor de calor solar para um pré-aquecimento da água que alimentará o chuveiro. O sistema possuirá um trocador de calor (absorvedor) e dois reservatórios, como esquematizado na Figura 1.

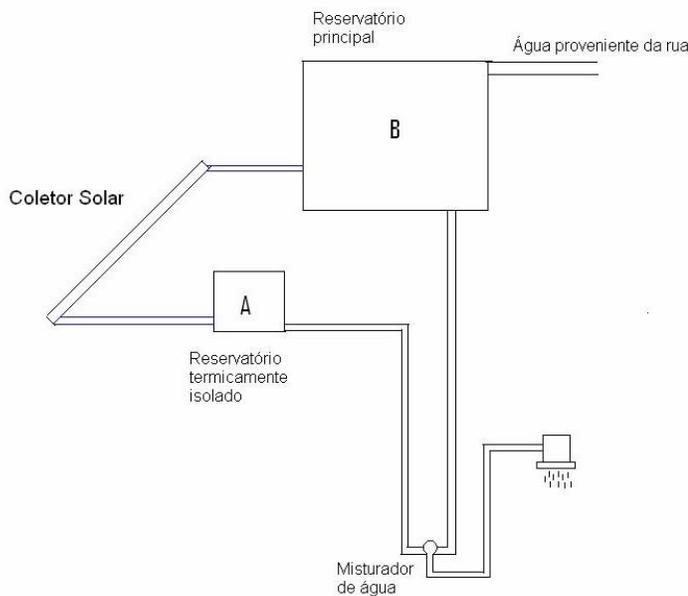
O absorvedor será construído com canos de PVC pintados de preto no formato em zig-zag inseridos dentro de garrafas PET (para criar um ambiente similar ao efeito estufa). O cano de PVC será pintado de preto para aumentar seu poder de absorção e emissão de calor, favorecendo assim um maior aquecimento da água (conforme mostra a Figura 2).

A água entrará a temperatura ambiente em um dos lados e após passar pelo trocador de calor sairá a uma temperatura mais elevada no outro extremo. Esta água aquecida será armazenada em um reservatório especial ("A") de 250 litros de capacidade. Tal reservatório será isolado termicamente do ambiente externo, para que possa manter a água a uma temperatura mais elevada por mais tempo. Haverá um outro reservatório ("B") que armazenará água a temperatura ambiente.

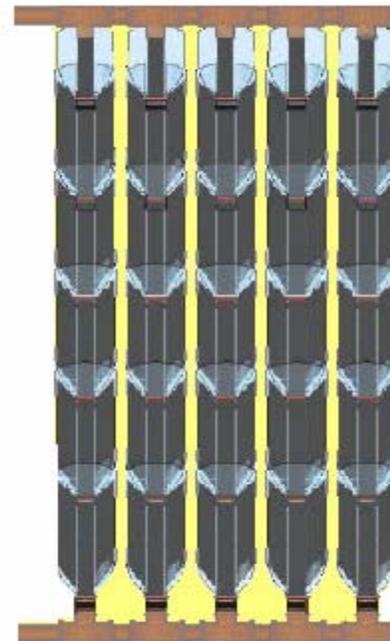
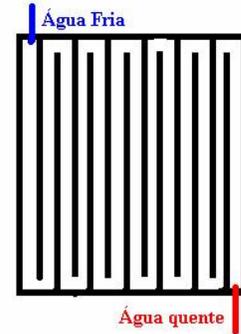
Quando o chuveiro for utilizado, haverá a possibilidade de se utilizar somente água a temperatura ambiente proveniente do reservatório B, ou água aquecida proveniente do coletor, ou mesmo a mistura das duas.

Faremos uma análise da economia de

energia baseando-se no fato de que como a água entrará no chuveiro a uma temperatura mais elevada que a ambiente, será necessária uma menor potência para aquecer a água até a temperatura desejada. Assim, com base nessa diferença, poderemos calcular o quanto de energia será economizado. E a partir deste resultado, será possível calcular em quanto tempo a pessoa terá o retorno do investimento inicial (também conhecido como *pay-back*).



**Figura 1.** Esquema de absorvedor de calor solar para um pré-aquecimento de água para chuveiro.



**Figura 2.** Esquema de absorvedor de calor solar confeccionado com garrafas PET.

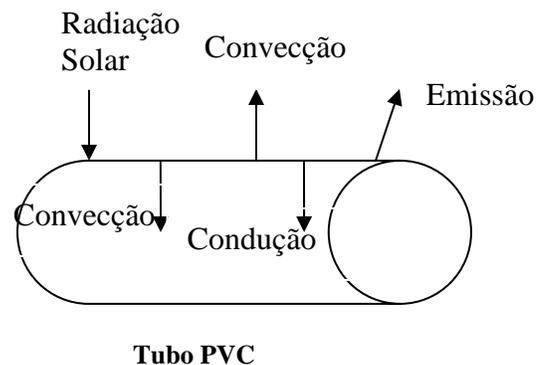
## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A partir de um experimento realizado para medir a diferença de temperatura entre o ambiente externo o ambiente interno na garrafa (devido ao efeito estufa), obteve-se os valores da Tabela 1.

**Tabela 1.** Diferença de temperatura (em graus Celsius) entre o ambiente interno e externo de garrafas PET empregadas em absorvedor de calor solar em diferentes horários.

Horário	Temperatura (°C)	
	PET	Ambiente
10:30	23	26
11:00	23,5	26,5
11:30	26,5	28
12:00	28	29
12:30	30	29
13:00	32	30
13:30	33	30
14:00	34	31
14:30	35,5	31
15:00	37	31
15:30	37,5	31
16:00	37,5	30
16:30	37,5	30

Os cálculos foram baseados em equações de engenharia de transferência de calor e massa aplicados à Figura 03.



**Figura 3.** Esquema do tubo de PVC.

As equações serão mostradas logo em seguida, sendo que nessas, foram utilizados dados sobre o projeto fornecidos na Tabela 2. Nesta Tabela:

- $T_p$  é a temperatura da superfície do tubo;
- $T_{mar}$  é a temperatura média do ar que circula dentro da garrafa;
- $T_{mág}$  é a temperatura média da água que passa pelo tubo;
- $L$  é o comprimento do tubo;
- $D$  seu diâmetro.

- A taxa de transferência de calor que chega até o pré-aquecedor devido à radiação solar é dada por;

$$\text{Radiação Solar} = \alpha \cdot G_s = 1164 \frac{W}{m^2}$$

**Tabela 2.** Propriedades avaliadas.

Propriedades	Dimensão
$\alpha$	0,97
$G_s$	1200 W/m <sup>2</sup>
$h_{convec}$	12,84 W/(m <sup>2</sup> .K)
$\varepsilon$	0,97
$\sigma$	5,67.10 <sup>-8</sup>
$T_p$	45 °C
$T_{mar}$	33 °C
$T_{mág}$	30 °C
L	81 m
g	9,81 m/s <sup>2</sup>
$\beta$	3,205.10 <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>
D	0,025 m
$\nu$	17,10.10 <sup>-6</sup>
$\gamma$	24,26.10 <sup>-6</sup>

- Para calcular o coeficiente convectivo do ar presente dentro da garrafa PET, deve-se utilizar as relações de convecção natural.

Estas seguem abaixo;

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_p - T_{mar}) \cdot D^3}{\nu \cdot \alpha} = 37660$$

$$\overline{Nu_D} = C \cdot Ra^n = 11,89$$

Onde C e n são constantes que valem respectivamente 0,480 e 0,250

$$\overline{h} = \frac{0,027 \cdot 11,89}{0,025} = 12,84 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Tendo o  $h_{conv}$  calculado, pode-se calcular a taxa de transferência de calor do tubo para o ar através da seguinte formula;

$$\text{Convecção} = h_{convec} \cdot (T_{mar} - T_p) = 154,09 \frac{W}{m^2}$$

- A taxa de transferência de calor devido à emissão que ocorre do tubo para o ar é;

$$\text{Emissão} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_p^4 = 562,42 \frac{W}{m^2}$$

- Para o escoamento interno, considera-se que a vazão do chuveiro vale 6 L/min. Portanto, o coeficiente convectivo da água é dado por;

$$Re = \frac{4 \dot{m}}{\pi D \mu} = 5167$$

Sabendo-se que o escoamento é laminar:

$$\therefore h_{interno} = 107,5 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

A taxa de transferência líquida que chega até o tubo é  $q_{liq} = 1897,87W$ . Com este valor e tendo  $h_{interno}$ , é possível calcular a temperatura de saída da água que é de 34°C.

Dessa forma, a água estaria chegando ao chuveiro bem próximo da temperatura de banho ideal (36°C). Concluimos assim, que a variação de temperatura exigida pelo chuveiro seria de apenas 2°C. A consequência imediata desse projeto é a redução do consumo de energia elétrica.

Concluídos os resultados do processo, faremos uma análise do custo de montagem do nosso projeto (Tabela 3).

**Tabela 3.** Análise de custo da montagem do pré-aquecedor de água para chuveiro.

Material	Preço (R\$)
Tinta Preta	20
Caixa D'água	100
Tubos	85
Conexões e Plugues	30
Outros materiais	15
Total	250

A vazão volumétrica de um chuveiro é conhecida e tem valor de:

$$\dot{v} = 6 \frac{L}{\text{min}} = 0,1 \frac{L}{s} = 0,1 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

A potência necessária para aquecer a água de 34°C até 36°C é calculada através da fórmula:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T = \rho \cdot \dot{v} \cdot c \cdot \Delta T$$

Portanto, a variação de temperatura necessária é de apenas 2°C, sendo muito menor do que seria necessário sem o uso do aquecedor.

Utilizando valores da propriedade  $c$  (calor específico a pressão constante) a 35°C,

encontramos  $c = 4178 \frac{J}{Kg.K}$ , obtemos:

$$\dot{Q} = \rho \cdot \dot{v} \cdot c \cdot \Delta T = 993.0,1.10^{-3} \times 4178 \times 2 = 830W$$

Ou seja, essa é a potência necessária para aquecer a água utilizando o aquecedor deste projeto.

### Análise 1:

Se o chuveiro de uma residência utilizasse o aquecedor aqui proposto e considerando uma residência com 4 pessoas e com tempo médio de banho de 10 minutos por pessoa, obtemos os seguintes cálculos:

$$40 \frac{\text{min}}{\text{dia}} = 1200 \frac{\text{min}}{\text{mês}} = 20 \frac{h}{\text{mês}}$$

Num chuveiro de 830W que utilizasse o aquecedor e sabendo que o valor de KW.h é de R\$0,292, temos que:

$$0,83KW \cdot 20h = 16,6KW.h$$

Portanto, a energia consumida pelo chuveiro em 1 mês é de 16,6KW. h

$$1KW.h \longrightarrow R\$0,292$$

$$16,6KW.h \longrightarrow X$$



Portanto o gasto mensal de um chuveiro que utilizasse um aquecedor aqui proposto seria de  $X = R\$4,8472$

**Análise 2:**

Agora, faremos uma análise da potência requerida sem a utilização de aquecedores solares. Os chuveiros atuais têm potência média de 5500W.

Para 4 pessoas:

$$40 \frac{min}{dia} = 1200 \frac{min}{mês} = 20 \frac{h}{mês}$$

Num chuveiro normal com potência de 5500W, e sabendo que o valor de KW.h é de R\$0,292, temos que:

$$5,5KW \cdot 20h = 110KW \cdot h$$

Portanto, a energia consumida pelo chuveiro em 1 mês é de 110KW.h

$$1KW \cdot h \longrightarrow R\$0,292$$

$$110KW \cdot h \longrightarrow X$$

Portanto, o gasto mensal sem a utilização de um aquecedor seria de  $X = R\$32,12$

**Análise 3:**

Agora faremos uma análise do Pay-back que obteríamos utilizando um chuveiro com um aquecedor proposto neste projeto:

$$\text{Custo do aquecedor} = R\$250,00$$

$$\text{Economia} = R\$(32,12 - 4,85) = R\$27,27 \text{ ao mês}$$

Portanto, a economia mensal será de R\$27,27

$$\text{PayBack} = \frac{\text{Custo}}{\text{Economia}} = \frac{250}{27,27} = 9,17 \text{ meses}$$

Portanto, obteríamos o *pay-back* (retorno do capital investido na compra do aquecedor) em aproximadamente 9 meses.

**CONCLUSÃO**

Utilizando as equações de convecção natural para calcular a troca de calor entre a parede do tubo de PVC e o ar contido dentro da garrafa PET e utilizando equações de troca de calor para escoamento interno ao tubo, pode-se estimar a taxa de calor que chega até a água e assim estimar a temperatura de saída desta água. Com um sistema simples, demonstrou-se que é possível aumentar a temperatura da água até uma temperatura próxima da ideal para o banho, podendo com isto utilizar



uma menor potência do chuveiro para alcançar 36°C.

Considerando-se uma casa com 4 pessoas, estima-se que o valor economizado por mês no pagamento de energia elétrica seja de R\$27,27. O custo para a montagem do equipamento é de aproximadamente R\$250, 00, o que nos dá um retorno em apenas 9 meses, sendo este um baixo tempo já que os materiais utilizados possuem uma grande vida útil.

Assim sendo, concluiu-se que a utilização destes pré-aquecedores é extremamente viável, principalmente em residências de médio e baixo nível.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA.  
**Ambientalista pede maior uso da energia solar.**

Disponível em:

<<http://www.agenciabrasil.gov.br/noticias/2007/06/04/materia.2007-06-04.3786726315/view>>.

Acesso em: 10 Setembro 2008.

BORGES, T. P. F. SOLPET – Pré-aquecedor solar de água de material reciclado e pequeno investimento para uso em casas populares. 128p –

Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

COLLE, S. & PERREIRA, E. B. Atlas de Irradiação Solar do Brasil – 1º Versão para irradiação global derivada de satélite e validade na superfície. In: Fontes Não-convencional de Energia: As tecnologias Solar, Eólica e de Biomassa. 2ºed. Florianópolis: Ed da UFSC, 1999. p 70-113.

FANTINELLI, J. T. Tecnologia Solar de interesse social e baixo custo para aquecimento de água na moradia.179p. Dissertação de mestrado em energia – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.