

## **Construção e análise de desempenho térmico de coletor solar parabólico de baixo custo**

### ***Fabrication and thermal performance analysis of a low cost parabolic trough collector***

**Mauro Alves das Neves Filho, graduado em Engenharia Mecânica, UFPB**

mauro.ufpb@gmail.com

#### **Resumo**

Este artigo propõe o emprego de um coletor solar parabólico de baixo custo, construído com materiais recicláveis aliados a outros mais tradicionais, de modo a otimizar o aquecimento de água para uso doméstico. Para determinação do desempenho térmico, foram calculados valores de eficiência para diferentes arranjos dos coletores - série e paralelo, e diferentes vazões. Os resultados encontrados nas análises e medições atestaram o propósito do projeto e suas vantagens, bem como serviram de indicativo para outros pontos serem aprimorados e aprofundados. Diante deste contexto, os materiais apresentados neste trabalho atuam de forma a viabilizar a execução de sistemas de captação de energia solar sob o ponto de vista técnico, de produtividade, sustentabilidade, economia e facilidade de execução.

**Palavras-chave:** Coletor solar; Energia solar; Sustentabilidade; Reciclagem

#### ***Abstract***

*This article proposes the use of a low cost parabolic solar collector, fabricated with recyclable materials allied to more traditional ones, in order to optimize the heating of water for domestic use. To determine the thermal performance, efficiency values were calculated for series and parallel arrangements, and different flow rates. The results found in the analyzes and measurements attested the purpose of the project and its advantages, as well as pointed the needs for improvement at other parameters. In this context, the materials presented in this work act in a way to make feasible the execution of systems aimed to capture solar energy from a technical point of view, of productivity, sustainability, economy and ease of execution.*

**Keywords:** Solar Collector; Solar energy; Sustainability, Recycling

## 1. Introdução

O aumento do uso de tecnologias, a industrialização, o crescimento populacional e desenvolvimento de um país tendem a aumentar a demanda energética. Tal problemática evidencia a importância da implementação de métodos alternativos ao uso tradicional da energia elétrica de forma a minimizar impactos ao meio ambiente, evitar a geração de riscos à saúde da população, e que se mostre capaz de apresentar o aproveitamento das condições e vantagens locais de cada região.

Dentre os métodos existentes, segundo Torres (2012), a energia solar apresenta-se tecnicamente adequada por possibilitar a produção de forma limpa e descentralizada. A autora cita ainda que o Brasil tem a vantagem de estar localizado na zona intertropical, registrando altos índices de irradiação solar durante todo o ano, em comparação com outros países do mundo que já fazem maior uso desta tecnologia.

Um dos grandes obstáculos para a consolidação e popularização desta fonte solar no Brasil é o alto custo inicial de instalação dos equipamentos necessários. O autor do referido artigo, ciente da importância de implementar novas alternativas que apresentem vantagens capazes de otimizar a sua aplicação, montagem e execução de forma econômica, e, considerando que há, no cenário atual, a necessidade de desenvolvimento de sistemas que viabilizem a aplicação em escala nacional de geradores de energia elétrica, propôs um modelo de coletor solar parabólico capaz de otimizar o aquecimento de água para uso doméstico, de forma a evitar o aumento de consumo de energia elétrica.

O efeito pretendido com o uso da calha solar no coletor parabólico consiste no direcionamento dos raios solares para um mesmo local, no caso, o tubo horizontal central, através da propriedade reflexiva do material que constitui a parábola abaixo do tubo. Este fato possibilita a concentração dos raios solares com o foco na tubulação central, o que contribui para um maior aquecimento da água conduzida. Além de diminuir a necessidade de regulagem no direcionamento do coletor para maior captação solar no decorrer do dia, a formação de um foco no condutor com o uso da calha parabólica otimiza o resultado desejado.

Neste trabalho, o protótipo foi idealizado de forma a aproveitar materiais recicláveis em sua construção e, após execução, teve seu desempenho analisado através de sucessivas medições de temperatura em diferentes pontos do sistema construído. Realizou-se cálculos para obtenção do rendimento, além de estudo de viabilidade técnica e econômica para aplicação deste modelo.

Por fim, o modelo sugerido apresentou resultados satisfatórios, operando de acordo com o previsto, sendo capaz de alcançar em testes uma temperatura de até 63°C com o arranjo montado em série. Do mesmo modo, observou-se uma diferença considerável no valor a ser investido entre um coletor solar tradicional encontrado no mercado, e o coletor proposto – que se mostrou bem mais econômico do que os industrializados.

## 2. Coletor Solar de Placa Parabólica

O coletor solar de placa parabólica é um tipo de coletor solar térmico reto em uma dimensão e curvado como uma parábola nos outros dois, revestido com material reflexivo - geralmente um espelho de metal polido. A energia da luz solar que entra no espelho paralelamente ao seu plano de simetria é focada ao longo da linha focal, onde os objetos que devem ser aquecidos são posicionados.

A ideia principal em se utilizar coletores do tipo parabólico é diminuir a necessidade de ajuste do posicionamento do mesmo, uma vez que o formato de parábola possui um foco para o qual todos os raios são direcionados.

De acordo com Günther et al. (2012), o fluxo de energia em uma usina parabólica geradora de energia elétrica apresenta o seguinte funcionamento: a radiação solar direta é concentrada e convertida em energia térmica. Esta, por sua vez, é convertida em energia de pressão de vapor, que é posteriormente transformada em energia cinética. Finalmente, esta última é transformada em energia elétrica, o produto final do sistema.

O autor supracitado explica ainda que esses passos de conversão de energia são realizados nos respectivos componentes da usina: O coletor parabólico e o sistema de rastreamento são essenciais para o processo de concentração de raios. O receptor converte a energia de radiação em energia térmica. O meio de transferência de calor e o armazenamento térmico são transportadores da energia térmica. O gerador de vapor tem a função de converter a energia térmica em energia de pressão de um meio gasoso, o que ocorre devido a evaporação da água. O sistema de resfriamento tem o objetivo de completar o ciclo líquido/gasoso convertendo o vapor de volta à água. A turbina a vapor converte a energia de pressão no vapor em energia rotacional. O gerador elétrico, finalmente, converte a energia rotacional em energia elétrica, que pode ser fornecida à rede elétrica ou utilizada em outros fins. A Figura 1 apresenta esquema de coletor solar parabólico, mostrando seus principais componentes.

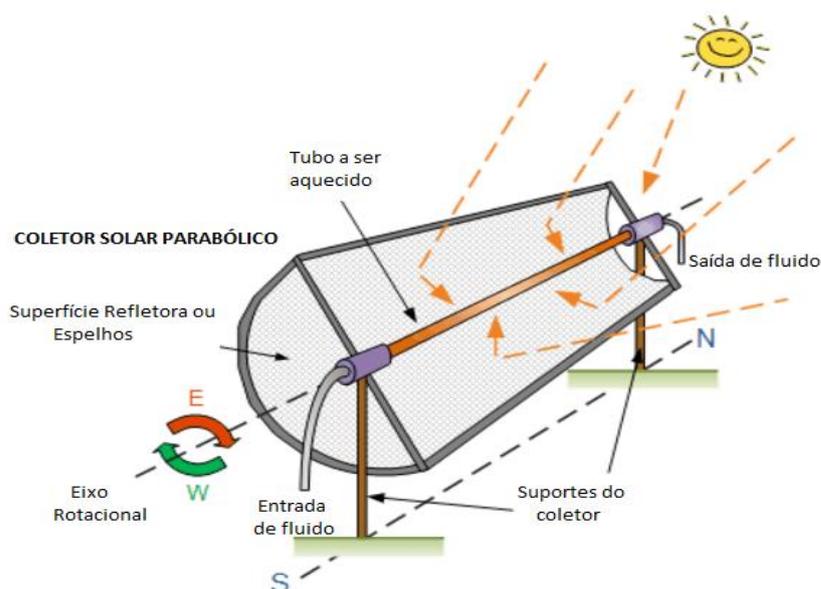


Figura 1: Coletor solar. Fonte: adaptado de Alternative Energy Tutorials, 2015.

Diferentemente dos coletores solares geradores de energia elétrica mencionados anteriormente, o modelo proposto neste artigo objetiva o aquecimento de água para uso doméstico, e possui também uma tubulação envoltória construída de forma a evitar o contato do ar com a tubulação interna. A Figura 2 ilustra o projeto do coletor, evidenciando a existência de tubulação externa que contém em seu interior a parábola refletora e o condutor da água a ser aquecida. Desta forma, criou-se um vácuo interno para evitar a perda de calor por convecção, que ocorreria devido à ação do vento.



Figura 2: Projeto de coletor solar. Fonte: elaborado pelo autor.

### 3. Materiais e Métodos

A construção da tubulação externa foi obtida com o uso de garrafas PET de 2 litros vazias, de cor e modelo semelhantes aos da Figura 3. As garrafas escolhidas para o projeto apresentavam corpo de formato cilíndrico sem ondulações, garantindo a uniformidade da tubulação. O corte foi feito com auxílio de um cano e estilete.



Figura 3: (a) Modelo de garrafa PET utilizada. (b) Processo de corte. Fonte: (a) Adaptado de Extra (2018); (b) Acervo do Autor (2017)

Antes da colagem da sequência de garrafas, houve uma preparação da superfície das mesmas com um uso da Lixa Folha de granulometria P80, objetivando o aumento da aderência do material com a cola. O processo de lixamento também foi realizado nas tubulações de ferro e tubo de PVC, precedendo os processos de aplicação de tinta e colagem. A Figura 4 apresenta o processo de montagem da tubulação externa, com o posicionamento da interna.



**Figura 4: (a) Colagem das garrafas PET. (b) Montagem das tubulações. Fonte: elaborado pelo autor.**

A cola era do tipo específica para PVC. Para vedação das junções, foi usado silicone. Foram feitos dois coletores distintos através destes procedimentos, sendo um deles com funcionamento a vácuo e outro sem, de forma que pudesse ser feita uma comparação do comportamento de ambos.

O material reflexivo presente no interior dos coletores foi montado através de película fumê adesiva espelhada – comumente utilizada como revestimento para vidros automotivos - colada sobre um cano de PVC de 100mm de diâmetro. A Figura 5 ilustra o adesivo fumê prateado espelhado e o cano utilizado, respectivamente.



**Figura 5: (a) Superfície reflexiva. (b) Tubulação de PVC. (c) Espelhos montados. Fonte: elaborado pelo autor.**

As principais vantagens do uso do cano PVC estão relacionadas à sua rigidez e uniformidade significativas. A película fumê adesiva também apresentou uma boa performance devido às características reflexivas e homogeneidade apresentadas.

A tubulação central do coletor, disposta na Figura 6, é o duto condutor da água que será aquecida, composto por ferro galvanizado. O material foi lixado e em seguida pintado de

cor preto fosco, visando uma melhor absorção de calor. Como solução alternativa à solda de vários tubos, foi dada preferência ao rosqueamento das tubulações, de forma a uni-los através de conexões – tais como joelhos de 90°. A Figura 6 também ilustra a rosca com conexão. Este recurso possibilita o arranjo do sistema de diferentes maneiras, como por exemplo, montagem em série ou paralelo.



**Figura 6: (a) Tubulação central. (b) Conexão rosqueada. Fonte: elaborado pelo autor.**

Através dos resíduos gerados com o uso do cano PVC em outras etapas do trabalho, foi feito o apoio do espelho, com o intuito de manter a tubulação na exata distância focal do material reflexivo. As bases foram montadas com o uso de tábuas de resíduo da construção civil, de fácil obtenção. A Figura 7 apresenta os apoios de PVC, bem como a montagem com base de madeira para o sistema e sua fixação.



**Figura 7: (a) Elevação em PVC. (b) Fixação da base. (c) Montagem. Fonte: elaborado pelo autor.**

Após montagem das tubulações externas e internas, os coletores foram configurados conforme Figura 8.



**Figura 8: Vista longitudinal da montagem dos coletores. Fonte: elaborado pelo autor.**

O processo de construção dos dois coletores ocorreu de maneira semelhante, diferindo apenas na criação de vácuo dentro de um deles, com objetivo de atingir um menor índice de perdas convectivas para o meio. Foi instalada uma válvula de vácuo através do uso de um recipiente de coleta de sangue, ilustrado na Figura 9.



**Figura 9: Válvula de vácuo em um dos coletores. Fonte: elaborado pelo autor.**

Como pode ser observado na figura 9, tanto a extremidade da garrafa que contém o gargalo quanto a tubulação interna estão isolados com silicone, de forma a garantir estanqueidade e impedir a passagem de ar. Este isolamento foi aplicado ao longo de todo o coletor.

O sistema completo, já ligado ao reservatório de água aquecida, está disposto na Figura 10 em ambos arranjos: em série e em paralelo, respectivamente.



**Figura 10: (a) Arranjo em série. (b) Arranjo em paralelo. Fonte: elaborado pelo autor.**

Foi dada preferência à seleção de materiais de baixo custo, porém, com precaução na manutenção da qualidade do protótipo e atenção para que o custo reduzido não comprometesse demasiadamente o rendimento ou o funcionamento do coletor. Os custos apresentados na Tabela 1 seriam suficientes para a construção de três coletores, porém, apenas dois foram construídos. Sendo assim, o valor por unidade de coletor fica em torno dos R\$ 56,00. A associação de um número maior de coletores seria capaz de aumentar ainda mais o rendimento e a temperatura alcançada pelo sistema.

Nome	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário	Preço total
Garrafa PET	Garrafa incolor	Unidade	12	R\$ -	R\$ -
Cola	Cola para PVC da pequena	Unidade	3	R\$ 1,50	R\$ 4,50
Lixa	Lixa P80, blue metal	Lixa	1	R\$ -	R\$ -
Cano de ferro	Cano galvanizado de 1/2 "	M	6	R\$ 6,67	R\$ 40,02
Joelho	Joelho 90°	Joelho	4	R\$ 3,00	R\$ 12,00
Película fumê	Película prata espelhada	m <sup>2</sup>	2	R\$ 25,00	R\$ 50,00
Cano PVC	Cano PVC de 100 mm	6 m	0,5	R\$ 34,40	R\$ 17,20
Tábua	Madeira/compensado	m <sup>2</sup>	-	R\$ -	R\$ -
Parafuso, porca	Parafuso do tipo fenda	Parafuso	16	R\$ 0,60	R\$ 9,60
Alumínio	Tira de alumínio	m <sup>2</sup>	-	R\$ -	R\$ -
Silicone	Um tubo de silicone	Unidade	1	R\$ 11,00	R\$ 11,00
Tinta preta	Tinta preta fosca	Lata	1	R\$ 16,00	R\$ 16,00
Adesivo	Fita dupla face	Rolo	1	R\$ 2,00	R\$ 2,00
Isopor	Isopor pequeno	Folha	0	R\$ -	R\$ -
Isolante	Isolamento térmico	m	2	R\$ 3,75	R\$ 7,50
Bomba	Bomba para circular água	Unidade	1	R\$ 40,00	R\$ 40,00
<b>TOTAL</b>					<b>R\$169,82</b>

**Tabela 1: Custo dos materiais usados na construção do coletor. Fonte: elaborado pelo autor.**

#### 4. Resultados e Discussões

A coleta dos resultados foi realizada através de um termopar, e o acompanhamento da variação de temperatura no coletor ocorreu a cada hora, durante todo o dia, em diferentes pontos dos coletores. Com o arranjo do sistema em série, os pontos de coleta foram três: no interior do reservatório, entre a saída dos primeiro e segundo coletores, e na saída do segundo coletor. Já para o arranjo em paralelo, as coletas foram realizadas na entrada e saída do reservatório. Em seguida, foram calculados os rendimentos de ambos arranjos para cada vazão utilizada seguindo a Equação (1).

$$\eta = \frac{m C_p \Delta T}{A I} \quad (1)$$

Onde  $I$  representa a irradiação solar de João Pessoa,  $A$  é a área do coletor,  $m$  a vazão mássica de água,  $C_p$  o calor específico da água e  $\Delta T$  o gradiente de temperatura.

A potência absorvida no coletor depende da absorvidade da superfície da tubulação ( $\alpha_t$ ), da transmissividade da garrafa PET ( $\tau$ ), da irradiação solar ( $I$ ) e da área  $A$  do coletor, e pode ser representada através da Equação (2):

$$P_{abs} = \alpha_t \tau I A \quad (2)$$

Para a potência transferida para o fluido de trabalho, utilizou-se a vazão mássica de água ( $m$ ), o calor específico da água ( $C_p$ ) e o gradiente de temperatura de entrada e saída ( $\Delta T$ ), apresentados na Equação (3).

$$P_{transf} = m C_p \Delta T \quad (3)$$

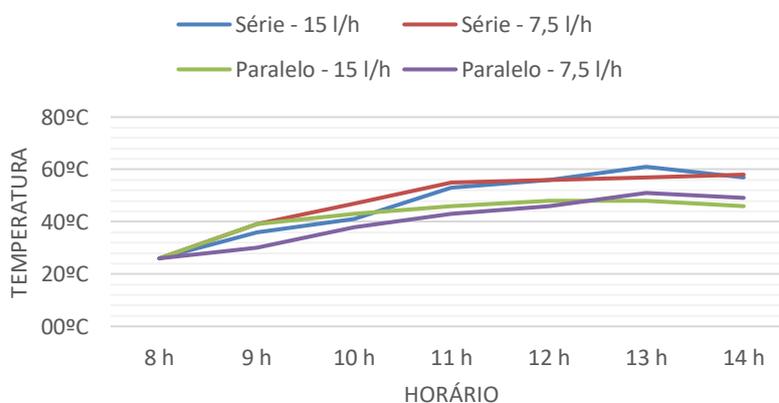
Diante de todos esses dados, pode-se calcular o coeficiente global de perda para o sistema ( $U_{perda}$ ), da seguinte forma, de acordo com a Equação (4):

$$U_{perda} = \frac{P_{abs} - P_{transf}}{A (T_{mt} - T_a)} \quad (4)$$

A Tabela 2 resume os resultados das coletas de temperatura para cada combinação estudada, os quais estão representados em formato gráfico na Figura 11, para melhor visualização das informações.

Horário	Série		Paralelo	
	15 l/h	7,5 l/h	15 l/h	7,5 l/h
8 h	26°C	26°C	26°C	26°C
9 h	36°C	39°C	39°C	30°C
10 h	41°C	47°C	43°C	38°C
11 h	53°C	55°C	46°C	43°C
12 h	56°C	56°C	48°C	46°C
13 h	61°C	57°C	48°C	51°C
14 h	57°C	58°C	46°C	49°C

**Tabela 2: Resultados das coletas. Fonte: elaborado pelo autor.**



**Figura 11: Comparativo entre as diferentes configurações. Fonte: elaborado pelo autor.**

A Tabela 3 consiste em um quadro comparativo entre as máximas temperaturas e rendimentos médios para cada tipo de arranjo – série ou paralelo, em cada uma das vazões estudadas. A Tabela 4, por sua vez, resume os resultados para cálculo de potência em cada uma das situações apresentadas.

Arranjo	T máxima (°C)	$\eta$ média (%)
Série 15 l/h	61	18,28
Série 7,5 l/h	63	25,55
Paralelo 15 l/h	50	13,55
Paralelo 7,5 l/h	53	13,79

**Tabela 3: Quadro comparativo. Fonte: elaborado pelo autor.**

Arranjo	Vazão	Pot. absorvida	Pot. Transferida	Perda radiação	Coef. de perda
Série	15 l/h	88,25W	19,92W	68,33W	21,21W
Série	7,5 l/h	86,84W	27,39W	59,45W	16,38W
Paralelo	15 l/h	89,32W	14,94W	74,38W	29,11W
Paralelo	7,5 l/h	80,42W	13,7W	66,73W	27,72W

**Tabela 4: Resumo dos resultados. Fonte: elaborado pelo autor.**

De acordo com os dados apresentados, observou-se que o arranjo em série apresentou melhores resultados em relação ao rendimento, temperatura máxima e potência transferida para o fluido, além de menores perdas por radiação e coeficiente de perda reduzido.

Ao compararmos resultados das diferentes vazões para os arranjos em série, verificou-se que a menor vazão está associada a uma eficiência melhor. Apesar de a potência absorvida neste coletor ter sido inferior devido às condições de irradiação solar no momento da medição, ainda assim obteve parâmetros superiores às demais situações de arranjo e vazão.

## **5. Considerações Finais**

O modelo sugerido apresentou resultados satisfatórios, operando de acordo com o previsto, e alcançou em testes uma temperatura de até 63°C com o arranjo montado em série. O aquecimento do fluido proposto destina-se ao uso doméstico, para aquecimento de água em piscinas, banho, entre outros usos. De acordo com Yara (2011), a temperatura ideal para tais fins é de até 40°C, desta forma, concluiu-se o coletor em questão atendeu à temperatura requisitada para este propósito.

Comparando com os demais equipamentos já disponíveis no mercado e também voltados ao aquecimento de água de forma sustentável, observou-se uma diferença considerável no valor a ser investido durante fase de instalação entre os diferentes tipos de sistemas. Os materiais mais tradicionais, apesar de apresentarem maior durabilidade, estão sujeitos a maiores custos iniciais – o que muitas vezes não parece tão atrativo para o usuário, prejudicando a disseminação destes métodos.

Constatou-se através deste estudo a importância do desenvolvimento de pesquisas voltadas à busca de novas tecnologias que viabilizem a aplicação em larga escala de fontes alternativas e modelos sustentáveis de geração de energia, de modo a buscar maior economia, preservação ambiental e aproveitamento de fontes renováveis. Também percebeu-se a necessidade de maiores investimentos em políticas públicas de incentivo à eficiência energética, de forma a amenizar os impactos negativos causados pela produção, transporte e uso da energia, reduzindo o custo da manufatura e conseqüentemente do consumo final.

### **5.1. Sugestões de Pesquisa**

Objetivando aprimorar o projeto, diferentes materiais daqueles já utilizados podem ser testados. De forma a alcançar um maior rendimento do sistema através de melhor aproveitamento da energia solar presente, recomenda-se experimentar as seguintes possibilidades:

a) Tubulação de cobre substituindo a de ferro: Devido a uma maior condutividade térmica do cobre em relação ao ferro, a tubulação modificada seria capaz de transferir uma maior quantidade de calor à água, melhorando a eficiência do projeto. Além disso, a tubulação de ferro sofre mais com a oxidação do que a de cobre, quando em contato com a água aquecida;

b) Aprimorar o isolamento do reservatório: O investimento em isolamento de melhor qualidade no reservatório evitaria perdas de calor para o meio, aumentando a eficiência global;

c) Melhorar a qualidade do espelho: Para o projeto em estudo, utilizou-se como material reflexivo uma película fumê espelhada, comumente utilizada como revestimento de janela de carro. O uso de espelhos autocolantes, por exemplo, poderia acarretar em maior reflexividade e convergência do foco;

d) Tinta da tubulação: De forma a majorar a captação de calor nos tubos de ferro centrais, aplicou-se um revestimento de tinta spray preta. Há no mercado tintas pretas foscas de melhor qualidade que permitem uma maior absorção de temperatura para a água e melhor adesão ao material;

e) Aumentar o reservatório: Com o aumento da capacidade do reservatório, haverá uma menor variação de temperatura em seu interior, na eventualidade de más condições climáticas ocorrerem em um curto intervalo de tempo.

Para um uso racional dos materiais adotados e otimização de sua implementação em sistemas de captação de energia solar de baixo custo, deve-se ponderar o benefício alcançado com a adoção de componentes de melhor qualidade com o aumento de custo, avaliando se a proposta é de fato viável.

## Referências

Alternative Energy Tutorials. Parabolic Trough Reflector. Disponível em: <<http://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/parabolic-trough-reflector.html>>. Acesso em 17 de janeiro de 2018;

EXTRA. Refrigerante FANTA Laranja Garrafa 1,5 Litro. Disponível em: <<https://www.deliveryextra.com.br/produto/25184/refrigerante-fanta-laranja-garrafa-15-litros>>. Acesso em 20 de janeiro de 2018;

Günther, M.; Joemann, M.; Csambor, S. Parabolic Trough Technology. Advanced CSP Teaching Materials. EnerMENA, 2016;

TORRES, R. C. Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Área de Concentração em Térmica dos Fluidos. Universidade de São Carlos, São Carlos, 2012;

YARA, H. E. Projeto de um Sistema de Controle de Temperatura para Chuveiros Aquecidos por Queima de Gás. Artigo Científico. São Paulo, 2011.