



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**JOSUÉ LUCAS SOUSA CUTRIM**

**COLETOR SOLAR COM TUBO DE VIDRO EVACUADO**  
**UTILIZANDO LÂMPADAS FLUORESCENTES DESCARTADAS PELA**  
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO**

SÃO LUIS/MA  
2017

**JOSUÉ LUCAS SOUSA CUTRIM**

**COLETOR SOLAR COM TUBO DE VIDRO EVACUADO  
UTILIZANDO LÂMPADAS FLUORESCENTES DESCARTADAS PELA  
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO**

Monografia de graduação apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Me. Núbia Célia Bergê Cutrim

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA MONOGRAFIA DEFENDIDA PELO ALUNO JOSUÉ LUCAS SOUSA CUTRIM E ORIENTADA PELO PROF. ME. NÚBIA BERGÊ CUTRIM

SÃO LUIS/MA

2017

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO**  
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

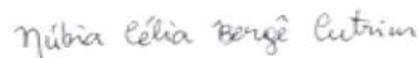
**COLETOR SOLAR COM TUBO DE VIDRO EVACUADO**  
**UTILIZANDO LÂMPADAS FLUORESCENTES DESCARTADAS PELA**  
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO**

Autor: Josué Lucas Sousa Cutrim

Orientador: Núbia Célia Bergê Cutrim

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Monografia:

**Prof. Me. Núbia Célia Bergê Cutrim**



**Instituição: Universidade Estadual do Maranhão**

**Prof. Me. Valdirson Pereira Mendes**



**Instituição: Universidade Estadual do Maranhão**

**Prof. Dr. Me. Jorge de Jesus Passinho Silva**



**Instituição: Universidade Estadual do Maranhão**

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

São Luís/MA, 04 de DEZEMBRO de 2017

Cutrim, Josué Lucas Sousa.

Coletor solar com tubo de vidro evacuado utilizando lâmpadas fluorescentes descartadas pela Universidade Estadual do Maranhão / Josué Lucas Sousa Cutrim. – São Luís, 2017. 32,f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2017.

Orientador: Prof. Núbia Célia Bergê Cutrim.

1. Coletor solar. 2. Tubo evacuado. 3. Experimental. I. Título.

CDU 621.327.534.15:697.329(812.1)

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho aos meus pais e familiares que sempre me apoiaram ao longo da minha carreira estudantil e vida.

## **Agradecimentos**

À professora Núbia Célia pela orientação no desenvolvimento do presente trabalho e troca de conhecimento.

Ao professor Valdirson Pereira pelo apoio com laboratório e instrumentos.

Ao professor Jorge Passinho pelo apoio com instrumentos.

Aos meus pais pelo amor, carinho e educação.

Aos familiares, amigos e namorada que direta ou indiretamente, contribuíram para a efetivação desta pesquisa.

## **Resumo**

Este Trabalho propõe construir um protótipo e verificar seu desempenho de forma experimental, desenvolver um modelo de coletor solar com tubo de vidro evacuado, tubos que serão construídos a partir de lâmpadas fluorescentes descartadas pela universidade. Será realizado no Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, que tem como objetivo simular a operação deste tipo de coletor e comparar os resultados com outros coletores planos existentes no mercado, para determinação do coeficiente de troca de calor e o desempenho do mesmo. Sendo a inspiração para este trabalho a busca por benefícios econômicos e sustentáveis do setor energético, e que nos remete a necessidade por novas fontes de energia renováveis, por isso a busca por fontes limpas de energia. O que levou a um crescimento na construção de coletores solares. Atualmente existem vários tipos de coletores solares no mercado, os coletores solares planos são utilizados no Brasil, já os coletores de tubo evacuado, devido ao custo ser considerado elevado ainda são pouco utilizados, mas devido estudos tecnológicos avançados e adequação de sua utilização, cada dia fica mais viável economicamente sua aquisição.

Palavras Chave: coletor solar, tubo evacuado, experimental.

## **Abstract**

This paper proposes to build a prototype and verify its performance experimentally, to develop a model of solar collector with evacuated glass tubes, which were made from fluorescent lamps discarded by the university. It was not found in the Center of Technological Sciences of the State University of Maranhão - UEMA, which aims to simulate the operation of this type of collector and comparison of results with other existing collectors in the market, to determine the coefficient of heat exchange and the same performance. Being an inspiration for this paper, the search for economic and sustainable investments in the energy sector, and which refers us to the need for new sources of renewable energy, so the search for clean sources of energy. This has led to a growth in the construction of solar collectors. There are currently several types of solar collectors on the market. In Brazil, flat solar collectors are the most used. Due to their higher cost, evacuated tube collectors are rarely used. However, advanced technological studies promote the adequacy of its use making its acquisition economically more viable.

**Keywords:** solar collector, evacuated tube, simulation.

## Lista de Ilustrações

Figura 1: Sistema direto, circulação por termosifão .....	15
Figura 2: Esquema de circulação forçada.....	16
Figura 3: Esquema de reservatório térmico produzido pela Energysol. ....	17
Figura 4: Composição de um coletor solar plano. ....	18
Figura 5: Coletor solar e seus principais componentes. ....	19
Figura 6: Estrutura do coletor montado. ....	22
Figura 7: Coletor fabricado com lâmpada fluorescente. ....	22
Figura 8: Materiais e dispositivos para montagem do coletor. ....	23
Figura 9: Esquema da bancada experimental. ....	24
Figura 10: Teste da bancada. ....	24
Figura 11: Fieldlogger.....	25
Figura 12: Termopar tipo J. ....	25
Figura 13: Radiação solar no Brasil.....	27
Figura 14: Gráfico temperaturas do sistema. ....	28
Figura 15: Medias de temperatura no coletor. ....	29

## Lista de Símbolos

$\Delta t$	Variação do tempo	[s]
$\Delta T_m$	Variação de temperatura média	[°C]
$A_c$	Área do coletor	[m <sup>2</sup> ]
$C_p$	Calor específico da água	[J/Kg.°C]
$I$	Energia solar incidente (radiação)	[W/m <sup>2</sup> ]
$I_{on}$	Irradiância	[Wh/m <sup>2</sup> ]
$I_{SC}$	Constante Solar	[W/m <sup>2</sup> ]
$\dot{m}$	Taxa mássica	[Kg/s]
$Q$	Vazão	[m <sup>3</sup> /s]
$Q$	Taxa de calor útil	[W]
$T_f$	Temperatura final	[°C]
$T_i$	Temperatura inicial	[°C]
$V$	Volume	[m <sup>3</sup> ]
$\mu$	Eficiência	-
$\rho$	Massa específica da água	[Kg/m <sup>3</sup> ]

## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NBR	Norma Brasileira
PVC	Policloreto de vinila

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1. Radiação Solar.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2. Sistemas Passivos.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3. Sistemas Ativos.....</b>	<b>15</b>
<b>2.4. Reservatório térmico.....</b>	<b>16</b>
<b>2.5. Coletor Solar.....</b>	<b>17</b>
2.5.1. Coletores Solares Planos .....	17
2.5.2. Coletor Solar com Tubo Evacuado .....	18
<b>2.6. Calor útil.....</b>	<b>19</b>
<b>2.7. Eficiência do Coletor .....</b>	<b>21</b>
<b>3. MODELAGEM TEÓRICA.....</b>	<b>21</b>
<b>3.1. Construção do Tubo Evacuado.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2. Construção do Coletor Solar.....</b>	<b>22</b>
<b>3.3. Montagem Hidráulica e Instrumental .....</b>	<b>23</b>
<b>3.4. Montagem da bancada experimental .....</b>	<b>24</b>
<b>3.5. Equipamentos utilizados medição e aquisição de dados .....</b>	<b>25</b>
3.5.1. Sistema de aquisição de dados .....	25
<b>3.6. Cálculos no coletor.....</b>	<b>26</b>
<b>3.7. Eficiência do Coletor .....</b>	<b>26</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>28</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>31</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Com as significativas mudanças que vem ocorrendo no meio ambiente, vem buscando-se cada vez mais fontes de energias sustentáveis, que sejam ecologicamente corretos e viáveis economicamente, para um desenvolvimento mais justo e responsável, gerando assim motivação para o consumo.

A maioria da energia de uso doméstico consumida no Brasil poderia ser substituída por energia solar, que além de viabilidade econômica, traria grandes vantagens ambientais.

Os coletores solares tradicionais mais utilizados são os de placas planas com custo mais acessível, que são fabricados com chapa e tubos metálicos, sendo mais utilizado em aplicações domésticas. Enquanto o coletor solar com tubo evacuado, com custo maior, bem como outros coletores, utilizado nas aplicações industriais, situação essa que perdurou por um bom tempo.

Hoje, o coletor de tubo evacuado vem sendo muito usado, principalmente depois de sua fabricação pela China e tornando-se competitivo no mercado e começa a ser utilizado no uso doméstico. O coletor solar com tubo evacuado é mais usado que o coletor com placas planas, no inverno, por seu perfeito funcionamento nesse período devido às perdas térmicas.

Com a grande utilização do coletor solar de tubo evacuado, em vários países, é interessante um estudo mais completo no Brasil, onde temos climas muito diferentes em várias regiões.

Neste trabalho faremos ensaios experimentais que permitam a identificação dos principais parâmetros para a simulação operacional do coletor solar com tubo evacuado, tubos estes que foram construídos de reaproveitamento de lâmpadas fluorescentes queimadas descartadas pela Universidade Estadual do Maranhão, foram realizados ensaios de avaliação das propriedades térmicas e o desempenho do mesmo e com outros dados experimentais.

Para isso, necessitou-se: projetar o tubo evacuado utilizando lâmpadas fluorescentes descartadas instrumentando-o para que assim pudesse verificar o seu comportamento térmico, com instrumentos devidamente calibrados, para que assim seja possível medir a sua eficiência a fim de compara-lo com outros coletores existentes.

A importância do coletor solar com tubo evacuado é muito significativa, pois permite atingir alta temperatura sem perder a eficiência térmica. Seu desempenho propicia grande

possibilidade para novos desenvolvimentos de aproveitamento da energia solar além de aquecimento de água. Suas aplicações são de grande impacto na redução de consumo de energia elétrica, redução dos impactos ambientais associados à geração de metano e dióxido de carbono, prover conforto térmico sustentável em nível residencial, comercial e industrial (Kamal,2014). Finalmente este projeto pode abrir novas possibilidades de emprego e renda além de criação de “know how” nacional nesta área.

O projeto também contribui com o meio ambiente, pois os tubos transparentes serão feitos do reaproveitamento de lâmpadas fluorescentes que então sendo descartadas pela Universidade Estadual do Maranhão e que iriam parar em um lixão da cidade causando todos os problemas que são peculiares a este tipo de lixo.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

A energia solar por não poluir o meio ambiente é considerada como fonte de energia limpa e renovável. Para que essa energia seja transformada em outras como elétrica ou mecânica, é necessário uso de coletores solares que captam a energia solar. A utilização desta vem crescendo cada vez mais, principalmente em residências, para o aquecimento de água (ANEEL,2008).

Segundo a NBR12269(1991) para que o sistema com coletores solares tenha um ótimo desempenho com menor custo, é necessário dimensiona-lo corretamente e que os instrumentos estejam bem calibrados.

Conforme mostra a ANEEL (2008) no que desrespeito a energia proveniente dos raios solares, o Brasil é um dos países com maior potencial do mundo e isso é explicado vasto território com grande incidência dos raios de Sol.

### 2.1. Radiação Solar

A energia que chega a atinge o solo da Terra bem inferior por causa das perdas por absorção devido a atmosfera. A quantidade de radiação solar por unidade de área que toca um ponto qualquer da Terra interdepende da latitude, da declinação e da estação do ano (DONOSO).

A principal fonte de energia do nosso planeta é o Sol com 99,98%, O Calor interno com 0,018% e a Energia dos mares com 0,002 (Kamal, 2014).

Para um bom funcionamento dos coletores solares é importante observar o deslocamento do sol que incide no coletor. Pois o sol tem uma rotação diária terrestre durante o ano e o caminho aparente feito por ele muda constantemente. Os coletores devem ser instalados em ângulos de acordo com a latitude do local, para uma melhor captação da radiação solar.

A Constante Solar ( $I_{sc}$ ) que é o fluxo da radiação solar que chegar a terra, seu valor é de 1367 W/m<sup>2</sup> (Duffie e Beckman, 1991). Sendo que a distância entre o sol e a terra sofre uma variação durante o ano, variação esta de  $\pm 3\%$  na irradiância normal extraterrestre, que obtida pela equação (1):

$$I_{on} = I_{SC} (1 + 0,033 \cos 360n/365 ) \quad (1)$$

Onde  $I_{on}$  é a irradiância que chega efetivamente a um plano normal à radiação,  $I_{SC}$  é a Constate Solar e  $n$  representa o dia do ano.

## 2.2. Sistemas Passivos

Também conhecido como sistema de termossifão, o aquecimento de forma passiva decorre da circulação, de forma natural, da água entre coletor e reservatório, sem necessitar de bombeamento do fluido de trabalho. Conforme Manea (2012) o gradiente de temperatura é influenciador direto para a formação de um gradiente de massa específica no circuito hidráulico, que por sua vez gera a circulação normal no mesmo.

Vale ressaltar também que esses sistemas se adequam para utilização no Brasil por conveniência aos nossos climas (diversificado em território nacional), assim como a simplicidade do sistema. Por não depender de eletricidade o sistema torna-se vantajoso, mas por outro lado o seu reservatório precisa está impreterivelmente acima do nível do coletor.

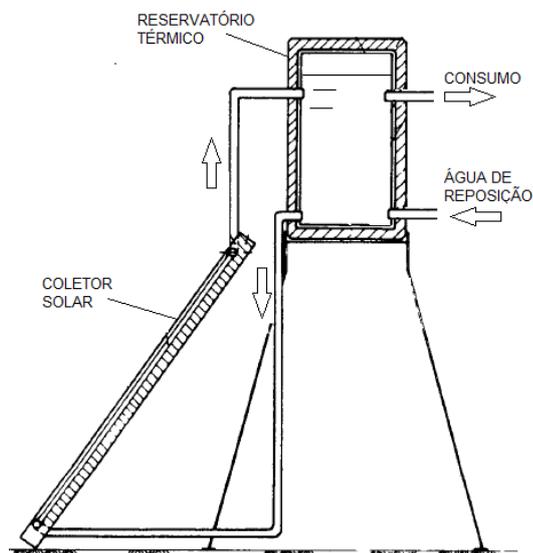


Figura 1: Sistema direto, circulação por termossifão

Fonte: Neves,(2013)

## 2.3. Sistemas Ativos

Diferentemente dos sistemas passivos a circulação, por intermédio de uma bomba hidráulica, passa ser forçada entre o reservatório e o coletor. Corriqueiramente se utiliza esse sistema quando as instalações determinam a impossibilidade de utilização do sistema de termofissão, sendo ela motivada pela grande perda de carga influenciada pelo grande número de coletores ou pela inviabilidade da fixação do reservatório acima no nível do coletor, ou até mesmo em situações onde o fluido de trabalho congelaria. Contudo podemos encontrar esse tipo de sistema como aquecedores de piscinas (MANEA, 2012).

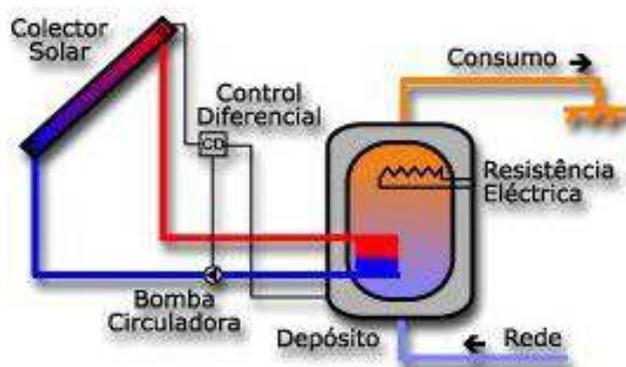


Figura 2: Esquema de circulação forçada

Fonte: Adaptado de Fernando (s.d).

## 2.4. Reservatório térmico

O reservatório térmico tem a funcionalidade de armazenar e manter a temperatura da água aquecida pelo coletor. Torna-se fundamental a utilização deste utensílio nos sistemas de aquecimento doméstico, visto que este proporciona, mesmo que a qualquer horário ou situação do dia, a utilização de uma água aquecida.

Para que esse armazenamento seja eficaz, fazendo com que a temperatura do fluido sofra mínima variação imaginável, deve ser construída com a menor taxa de resfriamento possível e juntamente precisa suportar temperaturas próximas dos 80°C. Segundo Manea,(2012) nesse contexto, aço inoxidável, cobre ou polímeros resistentes a altas temperaturas e revestidos com material de baixa condutividade térmica, como poliuretano expandido ou lã de vidro, são bem vistos pelo autor quanto a utilização na montagem do reservatório.

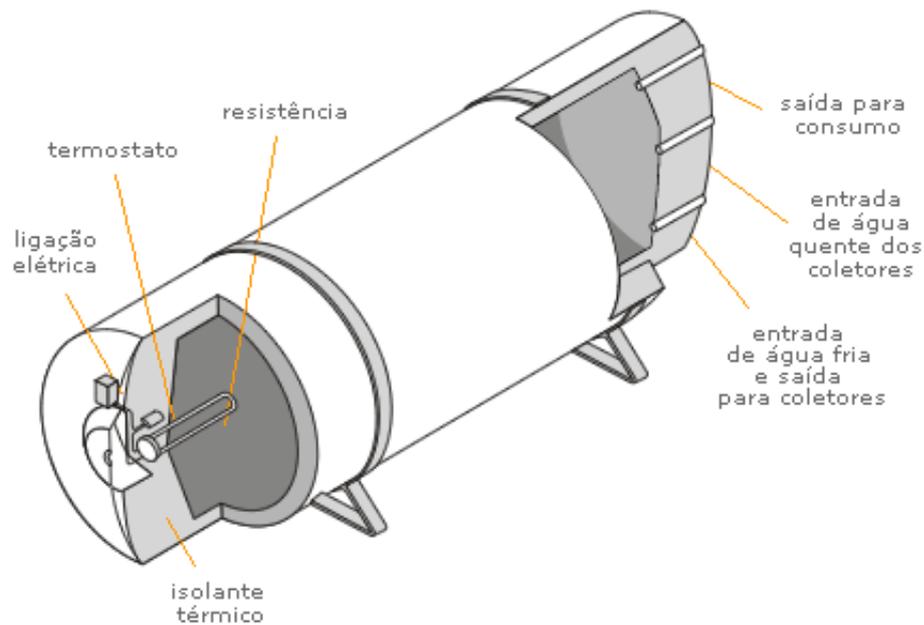


Figura 3: Esquema de reservatório térmico produzido pela Energysol.

Fonte: Copyright 2005

## 2.5. Coletor Solar

Segundo Siqueira (2009), “um coletor solar é o principal componente de um sistema de aquecimento solar. Ele promove a conversão da radiação solar, transferindo o fluxo energético proveniente da radiação incidente para o fluido que circula no interior do mesmo”.

Segundo Manea (2012), o coletor solar é considerado um aquecedor e sua eficiência está diretamente ligada às suas características construtiva e condições climáticas na qual irá operar. Desse modo para melhor dimensionar um sistema de aquecimento, deve-se simular ou estimar a quantidade de energia térmica que o coletor irá converter assim como seleção deste adequando-se as condições ambientais.

### 2.5.1. Coletores Solares Planos

Segundo Neves (2013), “os coletores solares planos fechados são utilizados para aquecer a água até uma temperatura de 60°C e proporcionar o condicionamento ambiental a partir da energia solar, com aplicação em residências, edifícios, hotéis, motéis, indústrias e hospitais”.

Neves (2013) demonstra de forma clara e sucinta como é formado o coletor solar plano, quando diz:

Este tipo de coletor é constituído por uma caixa de forma geométrica retangular, hermeticamente fechada e termicamente isolada por revestimentos de poliuretano expandido ou lã de vidro. Contém no seu interior uma chapa plana ou ondulada pintada de preto fosco, tendo como cobertura, uma lâmina de vidro plano ou plástico transparente. Internamente, a água circula por uma tubulação de cobre que, por ser um ótimo condutor de calor, transmite o calor absorvido do sol para a água.



**Figura 4: Composição de um coletor solar plano.**

Fonte : WGSOI (2016)

### 2.5.2. Coletor Solar com Tubo Evacuado

Manea, (2015) foi bem claro ao comentar sobre coletores solares de tubo evacuado e defini-lo, quando disse :

Coletores solares que utilizam o tubo a vácuo minimizam a troca de calor por convecção e condução colocando a superfície absorvedora em um ambiente quase totalmente evacuado de matéria. A troca de calor por radiação nestes coletores também é minimizada, devido à superfície absorvedora ter baixa emissividade. Estas características põem este tipo de coletor em vantagem aos coletores planos quanto às perdas térmicas. Desta forma, esses tipos de coletores, de tubos evacuados, tendem a ter melhor desempenho em ambientes menos favoráveis como, por exemplo, em climas mais frios ou em procedimentos que exijam temperatura mais alta do fluido de trabalho.

Nos coletores de tubo a vácuo, o fluido a ser aquecido pela radiação solar circula em um tubo metálico inserido em um tubo de vidro, viabilizando a sua utilização em altas pressões e temperaturas, algumas das formas mais comuns são: a utilização de tubos de calor, tubo em U e por transferência direta (Manea, 2012).

Os coletores solares de tubos evacuados são bastante utilizados na China e na Europa, por seu diferencial no que se refere em eficiência em dias nublados, utilizando muito mais a radiação difusa se comparado aos coletores planos. Porém no Brasil ainda são pouco conhecidos (Neves, 2013).



Figura 5: Coletor solar e seus principais componentes.

Fonte: WGSOL(2016) (Não é em negrito)

## 2.6. Calor útil

Em regime permanente e uniforme da água através do coletor, o calor útil ou calor ganho “q” é determinado pela Primeira Lei da Termodinâmica, conforme equação (2) (DUFFIE E BECKMAN,2006).

$$q = \dot{m}C_p(T_f - T_i) \quad (2)$$

onde:

q = Taxa de calor útil;

$\dot{m}$  = Taxa mássica (vasão);

$C_p$  = Calor específico da água;

$T_f$  = Temperatura final;

$T_i$  = Temperatura inicial.

Em que a Taxa Mássica é representada da pela equação (3).

$$\dot{m} = Q \rho \quad (3)$$

onde:

Q = vazão;

$\rho$  = massa específica da água.

Sendo a Vazão mostrada na equação (4).

$$Q = V/\Delta t \quad (4)$$

onde:

V = Volume;

$\Delta t$  = Variação do tempo.

## 2.7. Eficiência do Coletor

Se o coletor estiver em regime permanente, onde  $\Delta T$  é estável e as condições de vazão de água, radiação, temperatura de entrada e velocidade do vento apresentam poucas variações, determina-se a eficiência em um ponto de operação. A partir desses parâmetros calcula-se a eficiência em vários pontos da operação e assim podemos traçar a eficiência do coletor, bem como os parâmetros de desempenho (MENEIA,2012).

A eficiência do coletor solar de tubo evacuado é dada pela equação (5).

$$\eta = q/I A_c \quad (5)$$

onde :

$q$  = Taxa de calor útil;

$I$  = Energia solar incidente (radiação);

$A_c$  = Área coletora.

## 3. MODELAGEM TEÓRICA

### 3.1. Construção do Tubo Evacuado

O tubo evacuado foi montado com um tubo de vidro feito com sucata de lâmpada fluorescente de dimensões 1,2 m de comprimento e 53 cm de diâmetro, um tubo pintado com tinta negro mate de dimensões 1,2 m de comprimento por 3,6 cm de diâmetro e revestimento na parte interna inferior com uma película refletiva para aperfeiçoar o desempenho. As extremidades foram seladas com material resistente para que seja feita o vácuo.

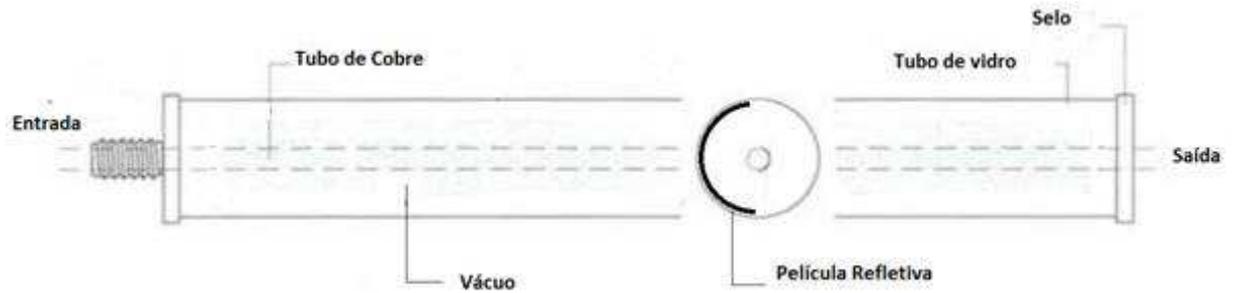


Figura 6: Estrutura do coletor montado.

Fonte: Duffie e Beckman, 1991.



Figura 7: Coletor fabricado com lâmpada fluorescente.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

### 3.2. Construção do Coletor Solar

O coletor solar foi montado com tubos de cobre, sendo cada tubo envolvido por outro de vidro transparente, em vácuo, para reduzir as perdas por radiação para isso foi utilizada uma válvula schrader. Estes tubos foram fixados em tubo de PVC na parte inferior na entrada do fluido (água fria) e montado na parte superior em tubo de cobre isolado na saída da água quente.



Figura 8: Materiais e dispositivos para montagem do coletor.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

### 3.3. Montagem Hidráulica e Instrumental

O sistema foi montado sobre uma base de metal, contendo um Coletor Solar de tubo evacuado, o grupo hidráulico composto de dois reservatórios de água (saída e entrada), válvula de respiro do sistema e o sistema de instrumentação com os seguintes equipamentos: válvula reguladora de vazão, sensor de temperatura na entrada do sistema (termopar tipo j), anemômetro, sensor de temperatura ambiente (termopar tipo j), sensor de temperatura se saída do sistema (termopar tipo j).

Todo sistema de instrumentação foi montado e calibrado conforme legislação vigente para cada instrumento.

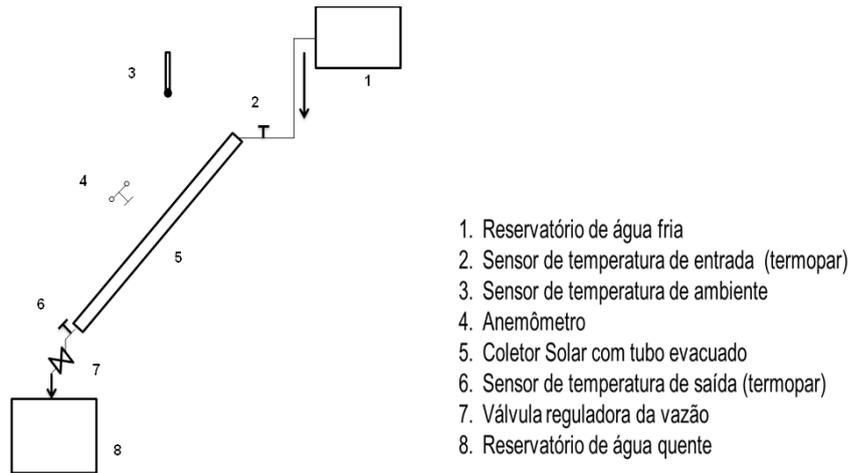


Figura 9: Esquema da bancada experimental.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

### 3.4. Montagem da bancada experimental

A bancada composta por: um coletor solar, reservatórios frio e quente, banco de aquisição de dados, computador, foi construída para analisar o comportamento térmico de um modelo de coletor do tipo tubo de vidro a vácuo, traçando-se seu desempenho e comparando com outros em regime permanente de coletores de tubo evacuado, descrito na norma Brasileira NBR.

A bancada foi instalada na residência do autor, localizada em Paço do Lumiar, com Latitude  $2^{\circ} 32' 13.8''$  Sul, Longitude  $44^{\circ} 10' 42.2''$  Oeste e altitude de 24 metros.



Figura 10: Teste da bancada.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

### 3.5. Equipamentos utilizados medição e aquisição de dados

#### 3.5.1. Sistema de aquisição de dados

O sistema é composto pelo FieldLogger junto a termopares tipo J conectados ao mesmo afim de coletar dados como: temperatura de entrada e saída de água. Os termopares tipo J, que atuam a uma temperatura de 0 a 750°C e possuem um custo relativamente baixo, foram escolhidos pela sua adequação a faixa de temperatura em que o coletor trabalharia. Os dados de temperatura foram coletados a cada 2 minutos e armazenado no FieldLogger para ser trabalhado futuramente.



Figura 11: Fieldlogger.

Fonte: Elaborada pelo autor.

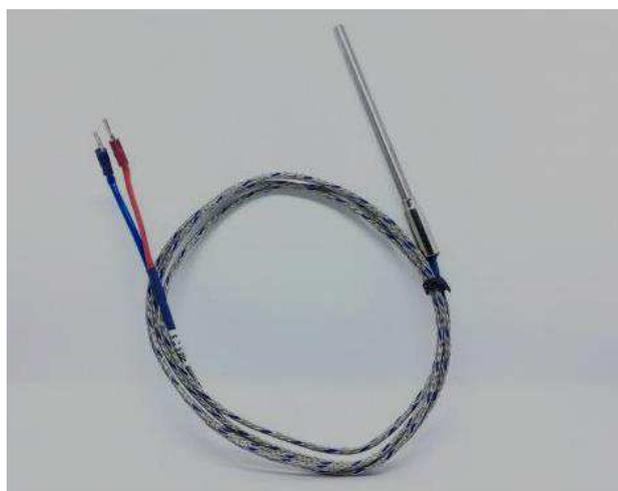


Figura 12: Termopar tipo J.

Fonte: Elaborada pelo autor

### 3.6. Cálculos no coletor

#### 3.6.1. Cálculo da carga útil

Utilizando equipamento de medição de vazão, obtivemos os seguintes resultados.

Para encher 1 litro (0,001 m<sup>3</sup>) de um recipiente graduado fora necessário 1 hora 30 minutos (5400s) logo temos que:

Utilizando a equação (4)

$$Q = V/\Delta t \quad (4)$$

$$Q = 0,001/5400$$

$$Q = 1,8518 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$$

Continuando o cálculo a fim de encontra a taxa mássica, empregamos a equação (3).

$$\dot{m} = Q \rho \quad (3)$$

$$\dot{m} = 1,8518 \times 10^{-7} \times 1000$$

$$\dot{m} = 1,8518 \times 10^{-4} \text{ Kg/s}$$

Por fim, aplicando os valores encontrados junto aos extraídos por meio experimental e aplicando a equação (2) temos:

$$q = \dot{m} C_p (T_f - T_i) \quad (2)$$

$$q = 1,8518 \times 10^{-4} \times 4186,7981 \times (39,86 - 32,61)$$

$$q = 5,621 \text{ J/s}$$

ou

$$q = 5,62 \text{ W}$$

### 3.7. Eficiência do Coletor

Para o cálculo da eficiência, utilizaremos os parâmetros encontrados anteriormente assim com dados fornecidos pelo INPE como mostra a figura (13).

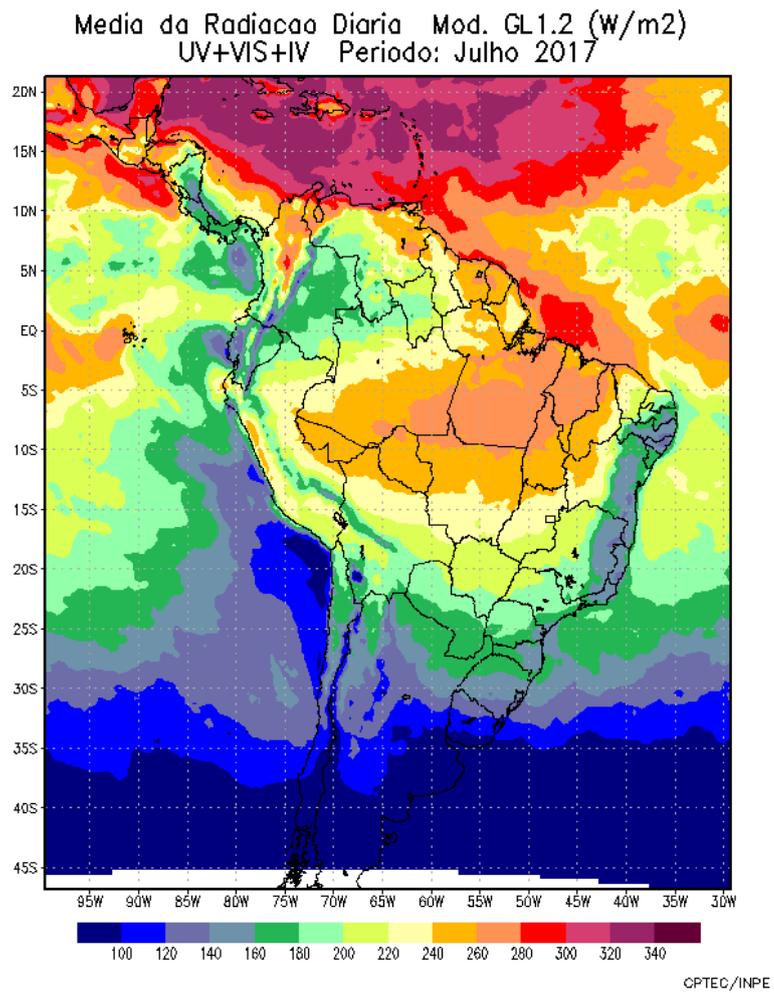


Figura 13: Radiação solar no Brasil.

Fonte: INPE, 2017

Logo calculamos a eficiência pela equação (5).

$$\eta = q/I A_c \quad (5)$$

$$\eta = 5,62/ 0,044 \times 280$$

$$\eta = 0,4562$$

ou

$$\eta = 45,62\%$$

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi realizada pesquisa bibliográfica, levantamento dos materiais e ferramentas necessárias para a viabilização do projeto e dimensionamento da bancada.

Foram coletadas as lâmpadas fluorescentes queimadas nos prédios da UEMA, do tipo T8 que são mais adequadas para o projeto. A maior dificuldade encontrada foi a realização do corte das lâmpadas, pois testamos vários métodos e a quebra das mesmas eram constantes, até obtermos um corte eficaz.

Aquisição de materiais e equipamentos de medição como: válvula schrader, tubo de cobre, peças complementares de cobre para montagem do sistema, bomba de vácuo, termômetro ambiente, termopar tipo j calibrado e adequado para temperaturas de 0°C a 260°C e módulo de leitura e registro de dados (FieldLogger).

Após a montagem da bancada experimental utilizamos os dados coletados no FieldLogger para expressar em gráficos os resultados obtidos no experimento.

Nos gráficos 1 e 2 podemos notar o comportamento das temperaturas no sistema em relação ao tempo de exposição a radiação solar e as máximas, mínimas e médias temperaturas.

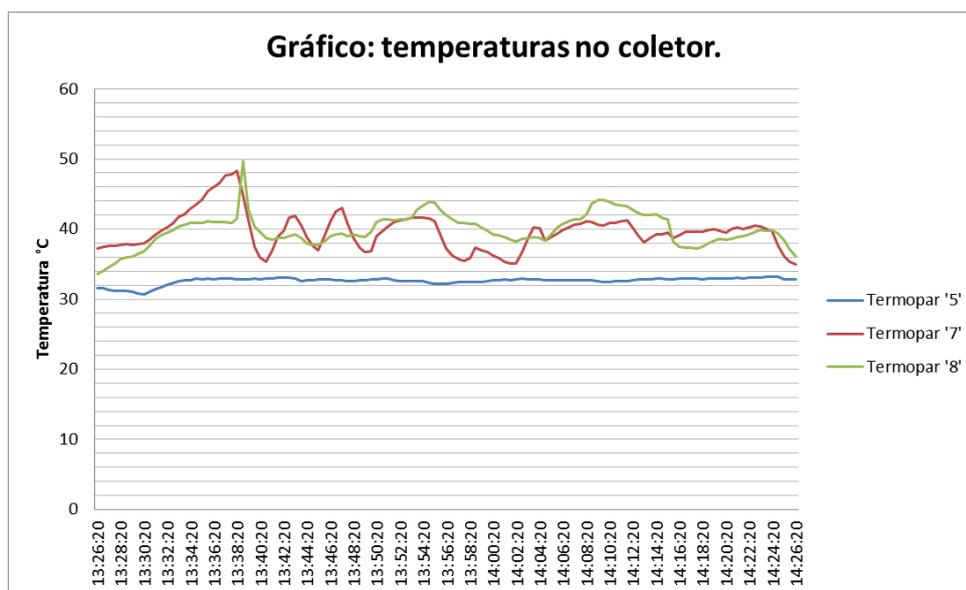


Figura 14: Gráfico temperaturas do sistema.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017

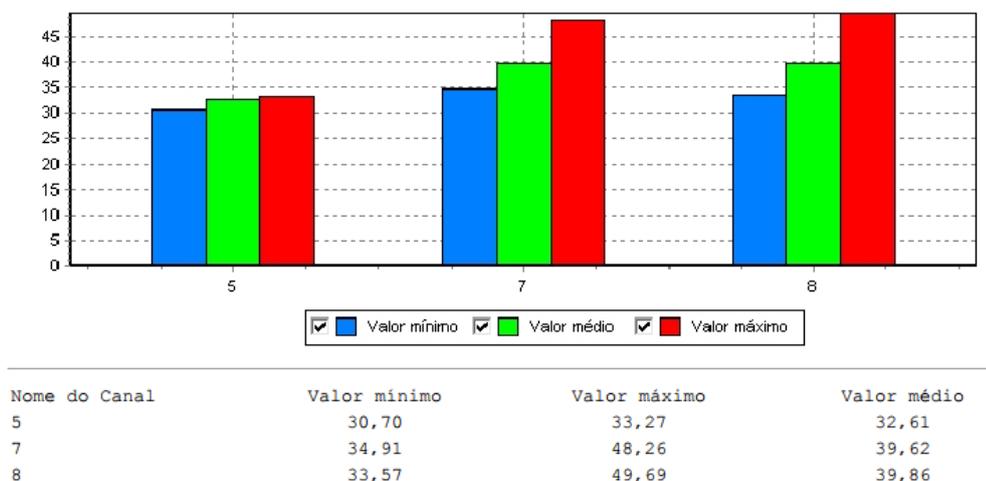


Figura 15: Medias de temperatura no coletor.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017

Este trabalho reitera outro já realizado por ARRUDA (2004), no qual foram utilizados quatro coletores planos com dimensões de  $1,41\text{m}^2$ , totalizando uma área de  $5,64\text{m}^2$  e registro de média de temperatura de  $\Delta T_m = 32^\circ\text{C}$ . Apesar das dimensões serem bem maiores que o experimento realizado, de  $0,044\text{m}^2$  apenas, este também conseguiu registrar variações significativas de temperatura média,  $\Delta T_m = 7,25^\circ\text{C}$ , o que comprova a eficácia do coletor com materiais recicláveis e o seu bom custo-benefício, assim também com o cálculo do rendimento feito anteriormente que foi de  $45,62\%$ .

## 5. CONCLUSÃO

A dificuldade para um corte adequado e efetivo levou a mudança do projeto inicial com dez lâmpadas (tubos evacuados) para um projeto com apenas uma. Além disso, na etapa de montagem do projeto notou-se a inviabilidade da utilização de alguns elementos planejados inicialmente, logo foi necessária a alterações no projeto da bancada.

Portanto, as modificações na estrutura tiveram propósito de adequação às normas para que assim encontrar e avaliar os resultados, eficazes, que a montagem da bancada traria. Resultados estes que foram obtidos através dos instrumentos de medição que foram devidamente instalados e calibrados conforme a ABNT, por tratados no computador.

Os resultados obtidos com a montagem do experimento com apenas uma lâmpada mostra a grande capacidade que o coletor solar tem na transformação de energia o que é demonstrado no seu calculo de rendimento térmico. Com esse potencial aliado à preservação do ambiente, sustentabilidade, pela reutilização da sucata que universidade descartaria, espera-se que os estudos sobre esse tema aumentem a fim de levar esse trabalho a proporções maiores.

## REFERÊNCIAS

**ABNT.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12269** – Execução de instalações de sistemas de energia solar que utilizam coletores solares planos para aquecimento de água, Rio de Janeiro, 1991.

**ANEEL** – Agência Nacional de Energia Elétrica, Atlas de Energia Elétrica – 3ª Edição; Brasília, 2008.

**ARRUDA**, Laerte Bernardes. Operação de sistemas de aquecimento solar de água com controle de vazões em coletores planos. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

**BAPTISTA**, A. S. C. Análise da viabilidade econômica da utilização de aquecedores solares de água em resorts no nordeste do Brasil. Rio de Janeiro. Universidade Federal Do Rio De Janeiro. 2006. Dissertação de Mestrado de Ciências em Planejamento Energético, Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal Do Rio De Janeiro.

**COPYRIGHT**, Energysol.SISTEMA CONVENCIONAL OU FECHADO. Disponível em: <[http://www.sub100.com.br/empresas/fornecedores/energysol/aquecedores\\_reservatorio.php](http://www.sub100.com.br/empresas/fornecedores/energysol/aquecedores_reservatorio.php)>. Acesso em: 21 de novembro 2017.

**DONOSO**, José Pedro. FCM 208 Física (Arquitetura).

**DUFFIE**, John A., **BECKMAN**, William A. Solar Engineering of Thermal Processes 4th Edition. John Wiley & Sons. 2013.

**FERNANDO**, Luís. Sistemas Solares Térmicos. Disponível em: <<http://www.construcoesluisfernando.com/sistemas-solares-termicos/>>. Acesso em: 21/11/2017

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE).** SGI 2.5 - Introdução ao Sistema de Informações Geográficas – SGI. Imagem Geosistemas São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1995.

**ISMAIL,** kamal Abdel Radi. Energia Solar e Aplicações. Campinas SP. Ed. Do Autor, 2010.

**MORRISON, G.L, BUDIARDJO, I., BEHNIA, M.** Water in glass evacuated tube solar water heaters. University of New South Wales, Sydney. Australia.2003.

**MANEA,** Tiago Francisco. Desenvolvimento de uma bancada para ensaios de coletores solares de tubos de vidro a vácuo. RS: UFRS. 2012

**MANEA, T.; ROSA, Fabio N.; KRENZINGER, A.;** Dispositivo para medir o diferencial de temperatura em coletores solares para aquecimento de água, ASADES,2011.

**NEVES,** João Carlos Munhoz das. Avaliação técnico-econômico de um aquecedor solar de água com coletor de tubos a vácuo na cidade de Cascavel - PR. UNIOESTE. 2012.

**SIQUEIRA,** D. A. Estudo do desempenho de um aquecedor solar de baixo custo. Uberlândia. Dissertação de mestrado Universidade Federal de Uberlândia. 2009.

**WGSOL,** Aquecedores Solar. AQUECEDOR SOLAR TRADICIONAL E AQUECEDOR SOLAR A VÁCUO. Disponível em: <<http://wgsol.com.br/aquecedor-solar-tradicional-e-aquecedor-solar-vacu/>>.Acesso em: 21 de novembro 2017.