

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS MEDIANEIRA
CURSO DE TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**

HENDERSON SILVA MARTINS

**PROJETO E EXECUÇÃO DE UM COLETOR SOLAR UTILIZANDO
MATERIAL ALTERNATIVO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2016

HENDERSON SILVA MARTINS

**PROJETO E EXECUÇÃO DE UM COLETOR SOLAR UTILIZANDO
MATERIAL ALTERNATIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado a disciplina de Trabalho de Diplomação, do curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial, como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Manutenção Industrial. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Medianeira.

Orientador: Prof. Me. Giovano Mayer.

MEDIANEIRA

2016



Ministério Da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Gerência de Ensino
Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em
Manutenção Industrial



TERMO DE APROVAÇÃO

PROJETO E EXECUÇÃO DE UM COLETOR SOLAR UTILIZANDO MATERIAL ALTERNATIVO

HENDERSON SILVA MARTINS

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 13:30h do dia 02 de Dezembro de 2016 como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo no Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Me. Giovano Mayer
UTFPR – *Câmpus* Medianeira
(Orientador)

Prof. Me. Yuri Ferruzzi
UTFPR – *Câmpus* Medianeira
(Convidado)

Prof. Dr. Leandro A. Pasa
UTFPR – *Câmpus* Medianeira
(Convidado)

Prof. Me. Paulo Job Brenneisen
UTFPR – *Câmpus* Medianeira
(Resp. pelas atividades de Tcc)

A Folha de Aprovação devidamente assinada deste documento encontra-se na Coordenação do Curso no Câmpus Medianeira.

Dedico esse trabalho à minha família, pelo otimismo, incentivo e apoio, quando da realização desse curso.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida que me permite lutar para conquistar meus objetivos.

Aos meus pais Sueli e Wilson por serem exemplos de pessoas na minha vida, transmitindo muito amor, incentivo, apoio e compreensão.

Aos meus irmãos Heron e Henrique pela torcida.

As minhas avós Julia e Marta por não medirem esforços e tentarem sempre me ver feliz.

A minha namorada Luana e minha filha Joana, pelo amor e por estarem presentes nos momentos mais difíceis.

A minha sogra Lurdes pela motivação, apoio e carinho.

Ao meu orientador, Prof. Me. Giovano Mayer, pela disposição, pelo apoio, dedicação e incentivo para realização deste trabalho.

A minha amiga Lais, pela amizade, carinho e auxílio durante todo o período da graduação, dando força para continuar.

Os amigos e colegas, pela amizade e compreensão nos momentos de ausência, companheirismo e de confraternizações,

Aos professores do Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial da UTFPR, pela competência, pelo conhecimento repassado, pela vontade de formar profissionais capacitados para o mercado de trabalho e para a vida.

A todos que, com boa intenção, colaboraram para eu alcançar o objetivo de concluir este curso.

“Quanto mais aumenta nosso conhecimento, mais evidente fica nossa ignorância”.

(John F. Kennedy)

RESUMO

MARTINS, HENDERSON. **Projeto e execução de um Coletor Solar Utilizando Material Alternativo**. 2016. 72f. Trabalho de Conclusão de Curso – Tecnologia em Manutenção Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2016.

A busca por fontes alternativas de energia vem sendo amplamente discutida na atualidade e grande parte dos países estão preocupados com o aquecimento global e pretendem diminuir drasticamente as emissões de dióxido de carbono na atmosfera. Neste cenário, fontes alternativas de energia e que apresentam baixo impacto ambiental, quer seja de implantação ou de operação, vem sendo cada vez mais estudadas. Discute-se também sobre a necessidade de aumentar a eficiência de fontes de energia tais como a solar térmica, utilizada principalmente para o aquecimento de água para fins residenciais. Considera-se a energia solar como uma ótima fonte de recurso energético quer seja na forma de energia elétrica ou na forma de calor para o aquecimento de água. Este trabalho apresenta o projeto e a execução de um coletor solar utilizando material alternativo. O material alternativo proposto é constituído por tubos de vidro oriundos de lâmpadas fluorescentes tubulares e acredita-se que tais tubos cheios de água aumentam a concentração solar. Os testes realizados mostram que a técnica de utilização de tubos de vidro em coletores deve ser melhorada, pois devido à alta temperatura interna do coletor, ocorreu a evaporação da água contida nos tubos. Apesar deste fato, os resultados apontam que os tubos de vidro provenientes de lâmpadas fluorescentes tubulares podem ser utilizados para a fabricação de um coletor solar pois funcionam como concentradores de radiação solar e ajudam a armazenar o calor por mais tempo no coletor e com isso podem aumentar a eficiência do mesmo.

Palavras-chave: Aquecimento Térmico Solar, Coletor Solar, Eficiência.

ABSTRACT

MARTINS, HENDERSON. **Design and execution of a solar collector using alternative materials.** 2016. 72f. Trabalho de Conclusão de Curso – Tecnologia em Manutenção Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2016.

The search for alternative sources of energy has been widely discussed today and most countries are concerned about global warming and aim to drastically reduce emissions of carbon dioxide in the atmosphere. In this scenario, alternative sources of energy and that have low environmental impact, whether of implantation or operation, have been increasingly studied. It also discusses the need to increase the efficiency of energy sources such as solar thermal, mainly used for heating residential water. Solar energy is considered as a great source of energy resource, whether in the form of electric energy or in the form of heat for heating water. This work presents the design and execution of a solar collector using alternative materials. The proposed alternative material consists of glass tubes from tubular fluorescent lamps, it is believed that such tubes filled with water increase the solar concentration. The tests carried out show that the technique of using glass tubes in collectors must be improved because, due to the high internal temperature of the collector, the water contained in the tubes has evaporated. Despite this fact, the results indicate that glass tubes from tubular fluorescent lamps can be used to manufacture a solar collector because they function as concentrators of solar radiation and help to store the heat for longer in the collector and thereby increase the Efficiency.

Keywords: Solar Thermal Heating, Solar Collector, Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Coletor Solar de Concentração Horizontal.	16
Figura 2: Composição do Sol.	20
Figura 3: Consumo de Energia Residencial no Brasil por eletrodomésticos no ano de 2013.	22
Figura 4: Esquema Simples de Aquecedor Solar com Circulação Natural.....	23
Figura 5 Principais Partes Constituintes de um Coletor Solar.	24
Figura 6: Módulo de Aquisição e Registro de Dados – Datalogger	29
Figura 7: Datalogger CR200.....	29
Figura 8: Termopar tipo J.	30
Figura 9: Piranômetro CS300.....	32
Figura 10: Estrutura e dimensionamento do suporte do coletor solar. Unidade mm.	34
Figura 11: Estrutura e dimensionamento do suporte e reservatório d'água. Unidade mm.	34
Figura 12: Componentes do coletor solar.....	35
Figura 13: Partes constituintes do sistema de aquecimento solar.....	35
Figura 14: Sistema de aquecimento finalizado.	36
Figura 15: Comportamento do fluido no sistema de aquecimento solar.....	36
Figura 16: Sistema de interligação do projeto.	37
Figura 17: Processo de corte das lâmpadas fluorescentes tubulares. (a) Medição das lâmpadas. (b) Corte da lâmpada com choque térmico (fogo e água fria).....	39
Figura 18: Confecção das tampas e processo de fechamento. (a) Nylon finalizado, b) Nylon fixado na lâmpada e colado.	40
Figura 19: Configuração final da montagem. (a) Lâmpada com um dos lados fechados e seu efeito como lente. (b) Configuração final da lâmpada cheia de água.	41
Figura 20: Configuração do tubo de vidro da lâmpada com água e com tubo de cobre embutido.....	42
Figura 21: Chapa da base do Coletor Solar.	42
Figura 22: Base do Coletor com o material isolante e pintura na cor preta.	43
Figura 23: Marcação dos pontos de fixação da tubulação de cobre e da tubulação das lâmpadas. (a) Marcação da posição da tubulação. (b) Inserção das presilhas para o suporte da tubulação de cobre e da tubulação das lâmpadas.	43
Figura 24: Configuração final dos suportes das tubulações de cobre e dos tubos das lâmpadas.....	44
Figura 25: Configuração final do Coletor com a tubulação de cobre e a tubulação das lâmpadas.....	44
Figura 26: Coletor solar finalizado.	45
Figura 27: Processo de fabricação do suporte de fixação do coletor solar.	46
Figura 28: Suportes do coletor solar e do reservatório finalizados.....	46

Figura 29: Instalação do sistema de aquecimento solar. (a) Suporte para coletor e reservatório. (b) Reservatório e coletor fixados.	47
Figura 30: Montagem do suporte para os sensores. (a) Corte do tubo acquatherm. (b) Furo de passagem dos sensores na tubulação de PVC. (c) Fechamento da tubulação. (d) Suporte finalizado.	48
Figura 31: Suportes de alargamento da tubulação e instalação dos sensores de temperatura.	49
Figura 32: Quadro com o Datalogger Fieldlogger e a saída dos termopares (a). Detalhe do termopar de medição da temperatura ambiente. (b) Sistema de aquisição de dados CR200	50
Figura 33: Configuração final dos sistemas de aquecimento solar. À esquerda: Coletor solar com material alternativo. A direita: Coletor solar convencional.	50
Figura 34: Uma das telas de configuração do Fieldlogger.	51
Figura 35: Valores de temperatura ambiente obtido a partir dos termopares.	52
Figura 36: Verificação das medições dos termopares. (a) Termopares inseridos em mistura de água e gelo próximo à 0 °C. (b) Aquisição dos dados via Datalogger e verificação dos resultados no computador.	53
Figura 37: Comportamento da temperatura ambiente no dia 10/11/16.	55
Figura 38: Incidência solar no dia 10/11/2016.	55
Figura 39: Temperatura de entrada T_e e de saída T_s no Coletor 1 Convencional.	56
Figura 40: Temperatura de entrada T_e e de saída T_s no Coletor 2 Alternativo.	57
Figura 41: Hora de maior incidência solar – 13 as 14h.	58
Figura 42: Temperatura interna dos coletores.	59
Figura 43: Temperatura de saída T_s nos dois coletores.	60
Figura 44: Temperatura interna nos dois coletores.	60
Figura 45: (a) Abertura da Tubulação para o escoamento da água quente para outro reservatório. (b) Sensor de temperatura inserido no interior do reservatório principal.	62
Figura 46: Comportamento da Temperatura Ambiente no dia 30/11/2016.	63
Figura 47: Incidência Solar para o dia 30/11/2016.	64
Figura 48: Comportamento da temperatura interna do coletor de material alternativo para o dia 30/11/2016.	64
Figura 49: Comportamento da Temperatura de entrada e saída do coletor e da temperatura interna do reservatório.	65
Figura 50: Valores de Eficiência nos intervalos de tempo.	65
Figura 51: Rendimento total do sistema térmico para o dia 30/11/16 durante um intervalo de tempo de aproximadamente 6h.	66
Figura 52: Pontos de caracterização do coletor com material alternativo para o dia 30/11/2016.	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Medições dos termopares em mistura de água e gelo.	54
---	----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A	Área
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
C	Calor específico
°C	Grau Celsius
cm	Centímetros
G	Incidência solar
h	Hora
IEA	Agência Internacional de Energia
IHM	Interface Homem Máquina
I/O	Input/Output
J	Joule
K	Kelvin
km	Quilômetros
l	Litros
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i>
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
m ²	Metro quadrado
MMC	<i>Multi Media Card</i>
ms	Milisegundo
mV	Milivolts
OPC	Ole para controle de processo
P	Densidade do fluido
PVC	Policloreto de vinil
PU	Poliuretano
Pu	Potência útil transferida ao fluido de trabalho
s	Segundo
SD	<i>Secure Digital</i>
SIN	Sistema Interligado Nacional
T	Tera
Te	Temperatura de entrada
Ts	Temperatura de saída
TWh	Terawatt-hora
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
V	Volume de fluido
W	Watts
ΔT	Variação de temperatura

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVOS GERAIS.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1 SOL E ENERGIA SOLAR.....	20
2.2 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL NO BRASIL	21
3.3 AQUECEDOR SOLAR	23
3.3.1 Coletor Solar	23
3.3.2 Tubulação de Cobre	27
3.4 DATALOGGER	28
3.5.1 Sensores de temperatura – Termopares.....	30
3.5.2 Sensor de incidência solar – Piranômetro	31
4. PROJETO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO	33
4.1 PROJETO MECÂNICO	33
4.2 LAYOUT DAS MONTAGENS DOS SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS E DOS SENSORES.....	37
5. EXECUÇÃO DOS PROJETOS MECÂNICO E LIGAÇÃO DOS SENSORES E SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS	39
5.1 EXECUÇÃO DO PROJETO MECÂNICO	39
5.1.1 Execução do Coletor Solar	39
5.1.2 Execução do suporte para o coletor e para o reservatório	45
5.2.2 Instalação dos sensores de temperatura	47
5.2.4 Instalação do sistema de aquisição de dados	49
6. METODOLOGIA DOS ENSAIOS	51
6.1 CONFIGURAÇÃO DOS SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS FIELDLOGGER E CR 200.....	51
6.2 VERIFICAÇÃO DAS MEDIÇÕES DOS TERMOPARES	52
7. ENSAIOS INICIAIS	55
7.2 ENSAIOS COM O COLETOR 2 ALTERNATIVO	56
7.5 RESULTADOS DOS ENSAIOS	61
8. ENSAIOS DE EFICIÊNCIA	62

9. RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68
10. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS	70

1. INTRODUÇÃO

Estima-se que a Terra receba a cada metro quadrado cerca de 1370 JS^{-1} , essa energia é recebida em forma de radiação luminosa e posteriormente convertida direta ou indiretamente em outras formas de energia, sendo assim absorvida pela atmosfera e pelo planeta (SENTELHAS, 2009).

O Sol é responsável pela maioria dos eventos ambientais, tais como: evaporação da água da superfície do planeta, ventos, fotossíntese, chuva, entre outros. Além disso, a energia proveniente do sol pode ser convertida em outras formas, como elétrica ou diretamente em energia térmica acumulada.

Um sistema de aquecimento solar tem por objetivo principal transformar a energia da radiação solar em energia térmica e transferi-la, para algum tipo de fluido, que posteriormente transportará e armazenará esta energia. Um aquecedor solar é composto por um coletor solar, tubulações e reservatório. O coletor solar é a principal parte do aquecedor e tem por objetivo coletar a energia solar e transmitir para o fluido. Geralmente o coletor solar possui um painel de cobertura de vidro duplo que serve para aumentar a eficiência do coletor. A tubulação conduz o fluido a um reservatório e por consequência a energia térmica absorvida. O reservatório serve para armazenar o fluido (JURADO, 2004).

Os coletores solares podem ser classificados de baixa, média e alta concentração dependendo do nível de temperatura requerida. Os mais utilizados para esse fim são os coletores de placa plana que são constituídos basicamente por uma caixa isolada termicamente nas partes lateral e inferior.

Existem diversos tipos de coletores solares térmicos que diferem na proteção térmica que utilizam, na utilização ou não de concentradores solar e adequados a diferentes temperaturas (CIENCIA VIVA, 2016).

Os coletores solares se dividem em dois grandes grupos:

- Coletores solares sem concentração: Estes coletores não ultrapassam 70°C e são usados nas aplicações da energia solar térmica de baixa temperatura. Um exemplo de aplicação seria a produção de água quente sanitária.
- Coletores solares de concentração: Estes coletores, mediante o uso dos métodos de concentração da óptica, são capazes de elevar a temperatura de

fluido a mais de 70°C. São aplicados na energia solar térmica de média e alta temperatura. Podemos encontrar exemplos deles na central solar térmica de Almería (Espanha), em Grenoble (França) e na Califórnia. Uma imagem de um coletor solar de concentração horizontal pode ser verificada na Figura 1. Esse coletor tem sua superfície refletora em formato parabólico e tubos superiores com o fluido, desta forma os raios do sol são concentrados e direcionados nos tubos que aquecem o fluido. O fluido aquecido, posteriormente pode ser usado em diversas aplicações. A necessidade da constante focalização dos raios solares obriga este tipo de sistema a ter um subsistema auxiliar de acompanhamento no percurso do sol.

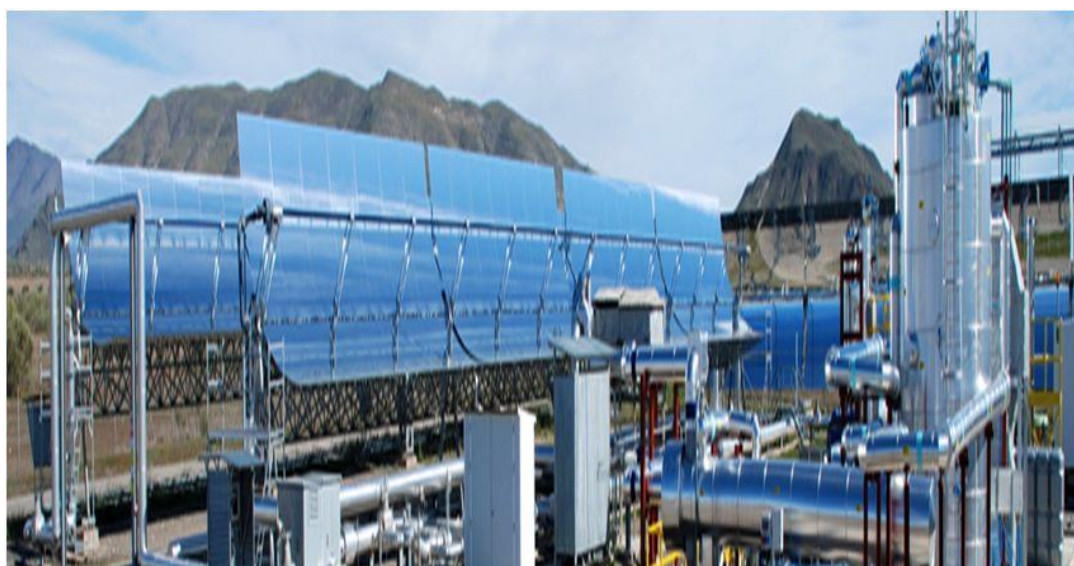


Figura 1: Coletor Solar de Concentração Horizontal.

Fonte: Rojas, 2016.

Para aplicações em sistemas de aquecimento de água para fins residenciais, a tecnologia de sistemas de concentração é afetada sob o ponto de vista dos custos envolvidos e espaço para a instalação. Diante disso, podemos perguntar: Será possível desenvolver um coletor solar compacto que apresente características de concentrador solar com materiais alternativos e mais baratos?

Os tubos das lâmpadas fluorescentes tubulares quando cheias de água, funcionam como uma lente de aumento e que pode ser utilizada no projeto de um coletor solar. Desta forma, com a utilização da parte vítrea das lâmpadas fluorescentes tubulares, pretende-se construir um coletor solar com características de

um coletor concentrador. Uma vez construído, o sistema de aquecimento será instalado e estudado quanto a sua eficiência. No sistema proposto serão medidos dados de temperatura da água no reservatório, dentro do coletor, temperatura de entrada e saída do coletor, temperatura ambiente e incidência de radiação solar. Tais dados permitirão o cálculo da quantidade de energia recebida e absorvida pelo sistema e sua efetiva eficiência. Um segundo coletor solar desenvolvido em outro trabalho e que passará por melhorias, será instalado na proximidade do novo coletor e as mesmas grandezas serão medidas. Desta forma será possível comparar também as grandezas medidas nos dois coletores.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo geral deste trabalho é projetar e construir um sistema de aquecimento solar com um coletor constituído por material alternativo que apresente características de um concentrador solar, visando o aumento da eficiência energética do sistema. A ideia da instalação de tubos de vidro operando como concentrador solar, foi do orientador do presente trabalho.

É importante destacar que não é objetivo deste trabalho desenvolver um sistema de aquecimento térmico de baixo custo, portanto, objetiva-se o estudo da empregabilidade do material alternativo na construção do coletor e o estudo do rendimento do sistema.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

-
- Projetar com *software* o sistema de aquecimento solar para aquecimento de água;
- Fazer melhorias em um coletor solar convencional constituído por tubos de cobre e vidro;
- Projetar um coletor solar utilizando material alternativo com lâmpadas fluorescentes tubulares cheias de água e tubos de cobre;
- Executar todo o sistema de aquecimento incluindo os dois coletores solares e caixas de armazenamento (boilers);
- Fazer a instalação do sistema proposto incluindo a instalação de sensores de temperatura;
- Configurar um *datalogger* existente para adquirir os dados de incidência solar, com o auxílio de um sensor existente e já instalado na proximidade das instalações;

- Configurar um segundo *datalogger* da marca Novus, para adquirir os dados de temperatura;
- Com os dados de incidência solar e temperatura, verificar a eficiência do sistema;
- Analisar eficiência, benefícios do projeto e empregabilidade dos materiais.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As seções seguintes têm por finalidade apresentar alguns fundamentos gerais que auxiliarão no desenvolvimento do trabalho. Serão abordados os seguintes itens: energia solar, princípio de funcionamento de um sistema de aquecimento solar para água, especificação do sistema de aquisição de dados da marca Novus, funcionamento dos sensores de temperatura e incidência solar, metodologia para o cálculo da eficiência do coletor solar.

2.1 SOL E ENERGIA SOLAR

O Sol é classificado basicamente como uma bola de gás incandescente a temperaturas inimagináveis (5.785K, temperatura efetiva). Ele é composto basicamente por hélio, carbono, hidrogênio (cerca de 91%) e oxigênio (FARIAS, 2016)

O sol é composto por um núcleo, uma zona radiativa, uma zona convectiva, como pode ser observada na Figura 2.

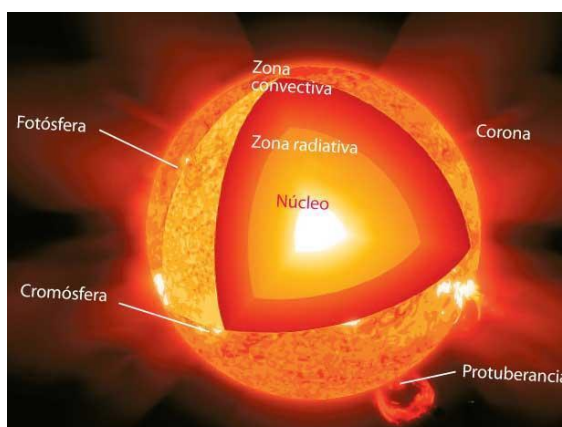


Figura 2: Composição do Sol.

Fonte: Farias, 2016.

O gás em ebulição do interior do sol sobe até atingir a próxima camada e perde calor, descendo novamente; a fotosfera composta por grânulos de até 5.000km de diâmetro que nada mais são que a parte superior da camada convectiva onde o gás, que subiu, perde calor e torna a descer dando a aparência característica de líquido

borbulhante, formando em alguns lugares as chamadas “manchas solares” devido à interferência do campo magnético solar. A cromosfera é formada por pontos brilhantes na superfície solar (espículas) que podem atingir 7.000km de altura, mas só são observáveis durante os eclipses solares. A coroa solar é acamada mais rarefeita composta por átomos de ferro, níquel, neônio e cálcio várias vezes ionizados, o que significa que a temperatura da coroa solar deve estar em torno dos 1 milhão de graus Kelvin (FARIAS, 2016).

Sabe-se que em um dia a radiação solar que atinge a terra é muito maior que toda a energia que a espécie humana utiliza em um único ano, para ser mais específico, em um ano a energia que atinge a terra proveniente do sol é estimada em 885 milhões de Terawatt hora (TWh) (IEA, 2011).

A fonte de energia que predomina e comanda os fenômenos na Terra é a energia solar, com isso apresenta o maior potencial de gerar o suprimento de energia para humanidade.

Um dos grandes desafios é desenvolver tecnologias que substituam a atual matriz energética fóssil para a matriz renovável solar. Um dos problemas da energia solar é a dificuldade em que esta tem de ser estocada como as energias fósseis. Sua capacidade de estocagem no caso de armazenamento em forma de energia térmica no reservatório de água quente é limitada a poucas horas (IEA, 2011). Por mais isolado que o reservatório seja do ambiente externo, parte do calor absorvido será perdido.

2.2 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL NO BRASIL

Em 2013 o consumo de energia residencial no Brasil correspondeu aproximadamente a 27% do total de energia consumida (EPE, 2014).

No Brasil o chuveiro elétrico detém o maior consumo dentre os usos finais, consumindo 24% da energia elétrica. Estes dados podem ser mais bem visualizados com o auxílio da Figura 3 (PROCEL, 2014). A maior parte da energia consumida no Brasil é na chamada hora de pico que ocorre entre as 18h e às 21h, onde ocorre o acionamento da iluminação pública e o fim do expediente. Neste horário é maior o número de pessoas em suas residências para fazer suas necessidades como:

Banhos, assistir televisão, ar condicionado, computadores e outros. Isso impõe uma sobrecarga no SIN - Sistema Interligado Nacional (EPE, 2012).

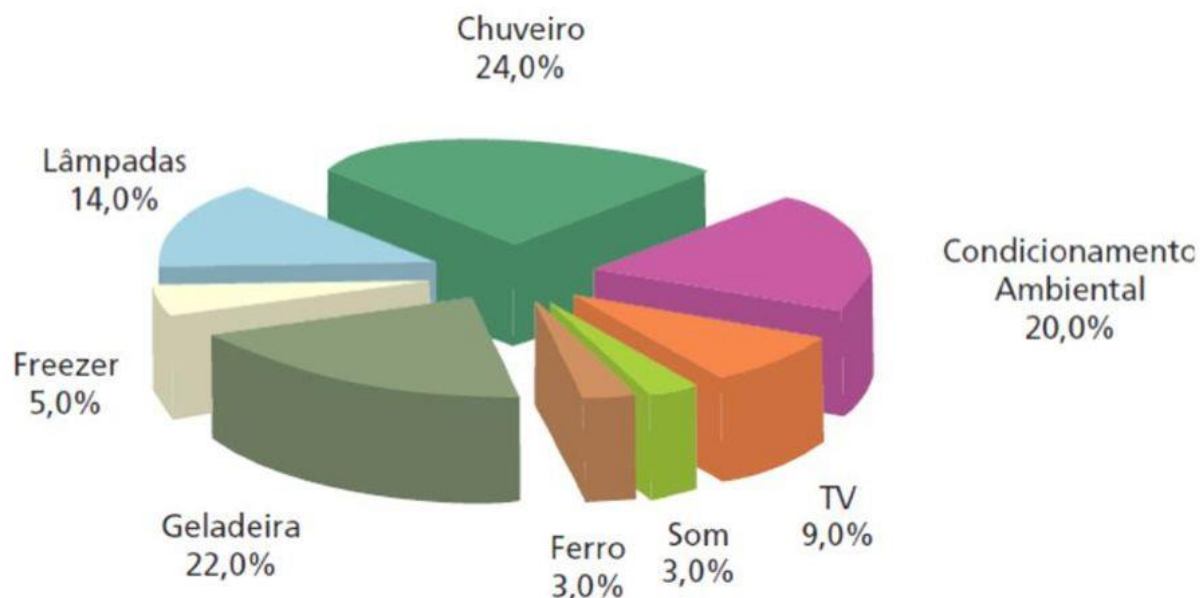


Figura 3: Consumo de Energia Residencial no Brasil por eletrodomésticos no ano de 2013.

Fonte: PROCEL, 2014.

Segundo Lenz (2016) o uso do sistema de aquecimento solar de água é mais viável do que converter a energia solar em energia elétrica. A conversão de energia solar em elétrica com o auxílio de painéis fotovoltaicos possui baixo rendimento (18%) e se perderia novamente energia na conversão da energia elétrica em térmica com o uso de chuveiros elétricos. Napolini. et al.(2010) demonstrou a economia no uso de chuveiros eletrônicos com água aquecida por aquecedores solares no sul do Brasil. Num experimento realizado em um conjunto de 90 residências na cidade de Florianópolis, foi obtida uma redução de 38% no consumo de energia elétrica.

3.3 AQUECEDOR SOLAR

O aquecedor solar em geral tem por objetivo principal transformar a energia da radiação solar em energia térmica e transferir esta energia para algum tipo de fluido, que posteriormente transportará e armazenará esta energia.

Um aquecedor solar é composto por um coletor solar, tubulação de cobre e reservatório, como pode ser observado na Figura 4.

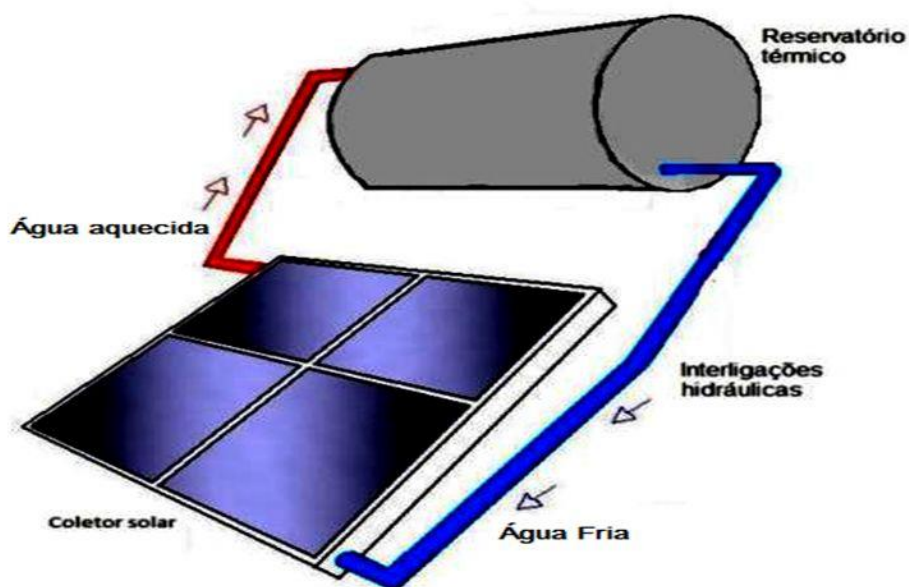


Figura 4: Esquema Simples de Aquecedor Solar com Circulação Natural.

Fonte: Adaptado de DANIEL N (2015).

O coletor solar é a principal parte do aquecedor e tem por objetivo coletar a energia solar e transmitir esta energia para o fluido. Geralmente possui um painel de cobertura de vidro duplo que serve para aumentar a eficiência do coletor. A tubulação tem por objetivo conduzir o fluido a um reservatório e por consequência conduzir a energia térmica absorvida.

3.3.1 Coletor Solar

O coletor solar é utilizado para aquecer água à aproximadamente 60° C. Ele é composto basicamente por 5 elementos descritos a seguir e que podem ser visualizados na Figura 5:

1º Cobertura transparente: Manta de vidro e um sistema de vedação, que produz um efeito semelhante à nossa atmosfera, ou seja, o efeito estufa (PRADO, 2007). Este efeito estufa evita a troca de calor com o ar ambiente, armazenando os raios solares ao entrarem no coletor e dificultando a saída do mesmo.

2º Placa absorvedora: É uma placa que pode ser constituída por aço inoxidável e geralmente pintada na cor preta. Esta placa recebe o calor que é posteriormente transferido para a tubulação por onde circula o fluido a ser aquecido.

3º Tubulação: A tubulação é constituída geralmente por tubos de cobre por onde circula o fluido a ser aquecido.

4º Isolamento térmico: O isolamento térmico serve para isolar o coletor. É constituído geralmente por espuma expansiva de poliuretano. O isolamento faz com que o calor absorvido não seja trocado com o ambiente nas partes inferior e laterais da placa.

5º Caixa estrutural: A caixa estrutural é que dá a solidez mecânica ao coletor. É constituída geralmente por uma caixa externa que geralmente é metálica.

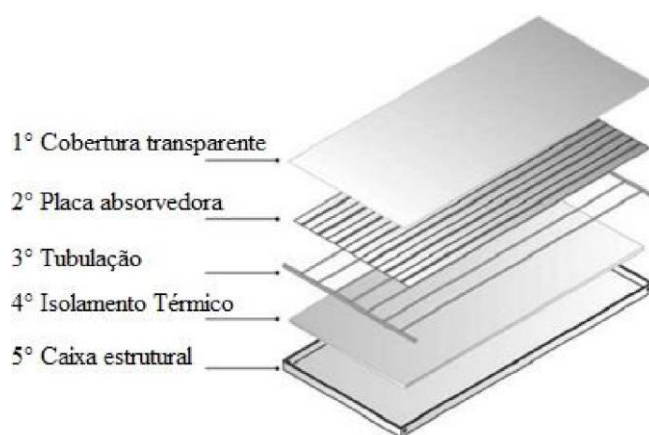


Figura 5 Principais Partes Constituintes de um Coletor Solar.

Fonte: Adaptado de MAXTEMPER (1998).

Os sistemas de aquecimento solar de água apresentam uma eficiência muito boa na conversão da radiação solar em energia térmica, em avaliações realizadas em coletores solares planos no clima típico do hemisfério norte nas latitudes entre 40 e

60°, a eficiência média fica entre 35-40% (German Solar Energy Society, 2007). Em outro estudo realizado, em Dublin, Ireland (latitude 53° 20'N e longitude 6°15'), com uma coleta de dados em um painel termo solar de 4m², em um período de um ano, obteve eficiências variando de 39-55% de conversão.

Segundo Guerra (2014), o rendimento térmico do coletor solar permite verificar a determinação da quantidade de energia que o sistema consegue reter. Esse rendimento pode ser adquirido através da relação entre a potência transferida ao fluido de trabalho (P_u) e a potência de radiação solar global G em kW/m². A potência P_u transferida para o sistema é dada pela Equação (01)

$$P_u = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (01)$$

Onde:

P_u - Potência útil transferida ao fluido de trabalho, em KW;

\dot{m} - É a vazão mássica, em kg/s;

c_p - Corresponde ao calor específico da água, em kJ/kg °C;

ΔT - Consiste na diferença de temperatura do fluido obtida no sistema, em graus °C.

A variação de temperatura ΔT é a diferença da temperatura em graus °C de saída T_s do coletor e da temperatura de entrada T_E , ou seja, $\Delta T = T_s - T_E$

O rendimento é expresso por:

$$\eta_t = \frac{P_u}{A \cdot G} \quad (02)$$

Onde:

η_t - Rendimento térmico do coletor;

A - Área do coletor solar que é exposta a radiação solar em m²;

G - Radiação solar global em kW/m².

Conhecendo os valores de temperatura de entrada e saída do coletor, das dimensões do mesmo, da incidência solar e da vazão de água, é possível obter o rendimento do sistema.

Embora Guerra (2014) tenha inserido a vazão da água para o cálculo da eficiência, este fez uma aproximação ao substituir a vazão pela massa total de água aquecida durante um determinado intervalo de tempo. Isso é uma aproximação e pode ser feita uma vez que a medição de vazão na tubulação pode inserir uma perda de carga no sistema.

Deste modo Lenz (2016), utilizou o volume total de água durante um certo intervalo de tempo para calcular a energia total absorvida pelo líquido. Para isso utilizou-se a Equação 03.

$$Q_d = \frac{m \cdot C_p (T_{SE} - T_{RES})}{860} \quad (03)$$

Onde:

Q_d – energia diária absorvida (Wh/dia).

m – massa de água (g). (1000kg/m³)

C_p – calor específico da água (cal/g °C). (1 cal/g °C).

T_{EC} – temperatura mínima de entrada no coletor (°C).

T_{RES} – temperatura máxima do reservatório após certo intervalo de tempo (°C).

O rendimento do sistema pode ser então calculado com o auxílio da Equação (04):

$$\eta = \frac{Q_d}{A \cdot G \cdot nH} \quad (04)$$

Onde:

G = Energia solar incidente total sobre o plano do coletor durante o tempo de ensaio em W/m²;

A = Área do coletor em m²;

nH = Número de horas que o ensaio foi realizado;

Com a Equação (04) é possível encontrar vários pontos de rendimento ao longo de um intervalo de tempo, que para este trabalho será de 7 horas. Na literatura o rendimento é geralmente expresso em termos da relação entre as diferenças de temperatura de saída do coletor e da temperatura ambiente, pela incidência solar, conforme apresentado na Equação (05), (LENZ ET AL, 2016).

$$X = \frac{(T_s - T_a)}{G} \quad (05)$$

Onde T_a é a temperatura ambiente. Desta forma o rendimento fica expresso em função de fatores externos como a temperatura ambiente e a incidência solar. Esta metodologia será adotada neste trabalho.

3.3.2 Tubulação de Cobre

A tubulação tem a finalidade de conduzir o fluido e também de absorver e transmitir o calor para o mesmo. A tubulação utilizada neste trabalho é de cobre de ¼ de polegada. A escolha da tubulação de cobre se deu pelos seguintes motivos:

- Possui boa condutibilidade térmica;
- É resistente à corrosão;
- É maleável;
- Pode ser encontrada facilmente no mercado;

3.3.3 Reservatório

A função do reservatório é armazenar e manter a água aquecida e seu volume é dimensionado de acordo com o consumo de água. O reservatório é constituído basicamente de uma estrutura interna, isolamento térmico, estrutura externa e conexões com a tubulação. O reservatório geralmente é posicionado a 30 cm acima do nível do coletor e assim é possível aproveitar o efeito da convecção, o que permite

que a água circule naturalmente no sistema. Quando a circulação ocorre de forma natural, podemos dizer que o sistema é a termossifão.

Segundo Duffie e Backman (2006), ocorre um processo de estratificação da água no reservatório, a sua parte superior é mais aquecida que a sua parte inferior o que permite que a água circule de forma natural.

3.4 DATALOGGER

Os *datalogger* são dispositivos eletrônicos utilizados para registrar dados ao longo de um determinado tempo. É baseado em um processador digital que recebe os sinais de sensores externos e converte os sinais analógicos em digitais. São alimentados diretamente em níveis de tensão residencial ou industrial e podem também operar com baterias de pequeno porte, possuem memória interna *flash* e possuem expansão de memória geralmente por cartão de memória SD. A maioria pode interagir com um computador para a parametrização, visualização e coleta dos dados adquiridos. Um dos benefícios é a sua capacidade de coletar dados automaticamente por longos períodos de tempo, permitindo um monitoramento completo dos dados adquiridos (SINGH, 2007).

Um dos *Datalogger* utilizados neste trabalho é da marca NOVUS, modelo FieldLogger. Este equipamento tem alto desempenho e alta conectividade, além de ser fácil de configurar e operar. Possui 8 entradas analógicas, dispõe ainda de 2 saídas a relé e 8 portas digitais individualmente configuráveis como entrada ou saída. Possui uma interface USB para conectar ao um computador (configuração, monitoramento ou coleta).

Para indicação ou configuração local, uma exclusiva IHM com display colorido pode ser acoplada ou instalada remotamente. Possui ainda um *software* que permite configurar e fazer alterações nas configurações dos canais. Este mesmo *software* é utilizado para a visualização em tempo real dos dados e para a aquisição dos mesmos no computador. Com o auxílio da Figura 6 é possível observar o DataLogger utilizado.



Figura 6: Módulo de Aquisição e Registro de Dados – Datalogger

Fonte: NOVUS, 2016.

Um segundo Datalogger Modelo CR200 foi utilizado para adquirir dados do piranômetro. Este datalogger possui 5 canais analógicos e uma resposta para aproximadamente 0,2mV. Possui 2 canais de pulsos e 2 canais I/O Programáveis. A Figura 7 apresenta o segundo datalogger utilizado.



Figura 7: Datalogger CR200.

Fonte: CAMPBELL, 2016.

3.5 SENSORES UTILIZADOS

3.5.1 Sensores de temperatura – Termopares

Os termopares são sensores de temperatura compostos por dois fios de diferentes materiais unidos em uma extremidade denominada junção. Duas ou mais junções quando expostas a diferentes valores de temperatura, fazem com que surja um sinal de tensão na ordem de mV. Este efeito é chamado de efeito Seebeck. (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2008).

O Efeito Seebeck foi observado pela primeira vez pelo físico Thomas Johann Seebeck, em 1821 quando juntou dois fios de metais diferentes, sendo um de cobre e outro de bismuto, formando um circuito ligando os dois fios. Ele descobriu que se um dos lados fosse aquecido e o outro permanecesse com uma temperatura mais fria, isso resultaria em uma corrente elétrica e por consequência uma tensão gerada. (CAMARGO, 2010).

Os sensores do tipo “J”, são compostos por fio de ferro puro, como elemento positivo e Cobre - Níquel como negativo. Possuem uma faixa de medição que vai de -40°C a 750°C (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2008)

Os sensores de temperatura podem ser fixados de forma mecânica e devem estar em contato direto com a parte do sistema que se deseja medir (SENSE, 2015). Com o auxílio da Figura 8, é possível observar uma foto de um termopar tipo J.



Figura 8: Termopar tipo J.
Fonte: ELETROLICO, 2016.

3.5.2 Sensor de incidência solar – Piranômetro

Piranômetros são sensores utilizados para medir a radiação solar global sobre uma superfície plana horizontal. Tem por característica apresentar uma superfície sensível a luz do Sol. Esta superfície sensível altera características, tais como tensão, corrente ou resistência elétrica, de forma linear com a variação da intensidade da radiação global solar (BOLZAN, 2014).

A radiação global solar, é a soma da radiação direta e da difusa proveniente das ondas ultravioletas e infravermelhas do aspecto eletromagnético da luz solar. Os piranômetros geram sinais elétricos do tipo analógico, os quais são transformados pelo sistema em unidade de radiação (W/m^2) (BOLZAN, 2014).

Segundo Naziazeno (2009, p.27) “Os primeiros piranômetros datam da década de 20 do século passado. O modelo produzido por Kimball-Hobbs, operava a partir das diferentes temperaturas geradas por duas diferentes superfícies expostas ao sol. Uma das superfícies era recoberta por uma camada de óxido de magnésio e tinha por característica ser um bom refletor e a outra superfície era recoberta por uma camada que não refletia a radiação solar. Devido às diferenças de reflexão as superfícies aqueciam de forma diferente possibilitando correlacioná-las com a intensidade da radiação solar total.

Atualmente os modelos de piranômetros são muitos. Alguns operando de forma semelhante ao modelo de Kimball-Hobbs e outros utilizando novas tecnologias, como os produzidos com semicondutores e com LDR que são resistores dependentes da intensidade da radiação luminosa. O piranômetro utilizado neste projeto é o CS300.

Segundo Campbell (1994), “O CS300 mede a radiação solar total e radiação solar difusa. É utilizado para aplicações agrícolas, meteorológicas e hidrológicas. Sua faixa espectral é de 300 a 1000 nanômetros o que inclui a maior parte da radiação de ondas curtas que alcança a superfície terrestre”. A escolha do piranômetro CS300 se deu pelos seguintes motivos:

- Operação autônoma em diversas condições;
- Compatível com vários *dataloggers*;
- Sua interface isolada impede acúmulo de água;
- Tempo de resposta 1ms;

- Absoluta precisão: $\pm 5\%$ para a radiação total diária;
- Conexão com sensores sem fio;
- Baixo custo;

Com o auxílio da Figura 9, é possível observar uma foto do piranômetro utilizado.



Figura 9: Piranômetro CS300.

4. PROJETO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO

Segundo ROTOGINE (2010) em uma residência, um banho de 15 minutos equivale a 45 litros de água com o registro meio aberto. Desta forma, o reservatório dos sistemas de aquecimento solar deste trabalho, foram pensados para atender uma residência de duas pessoas tomando 1 banho por dia, ou seja, os reservatórios possuem capacidades individuais de 100 litros de água.

O coletor solar com material alternativo foi dimensionado com 1m² de área, para que este tivesse a mesma área do coletor convencional a ser comparado. A área de 1m² foi usada também, pois é o valor base da potência solar fornecida pelo piranômetro (W/m²). Como não é o objetivo deste trabalho o projeto de um coletor com materiais mais baratos, o mesmo foi projetado com os seguintes componentes:

- Chapa de aço CH 18, (1m²), pintada na cor preto fosco, para a fabricação da estrutura externa;
- Espuma expansiva (PU) para a isolação;
- Chapa de aço CH18, (95cm x 95cm), pintada na cor preto fosco, para a fabricação da estrutura interna;
- Tubulação de cobre ¼ polegada para a condução do fluido;
- Lâmpadas fluorescentes tubulares, tamanho T8, para construção da estrutura do sistema de concentração solar;
- Vidro Temperado (4mm x 1m²) para a cobertura final do coletor.

A seção a seguir apresenta o projeto mecânico das partes constituintes do sistema de aquecimento solar.

4.1 PROJETO MECÂNICO

Nas Figuras 10 e 11 pode ser visualizada a estrutura do suporte do coletor e do reservatório.

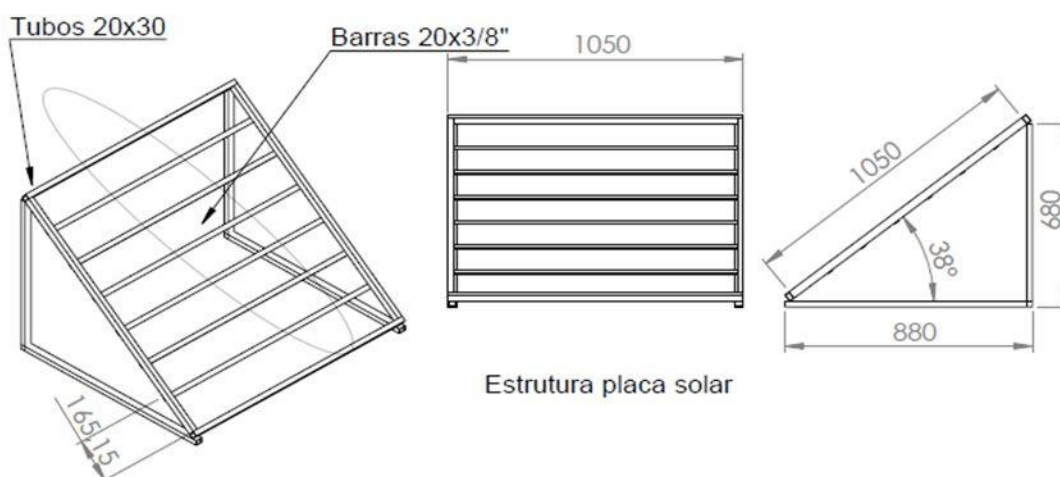


Figura 10: Estrutura e dimensionamento do suporte do coletor solar. Unidade mm.

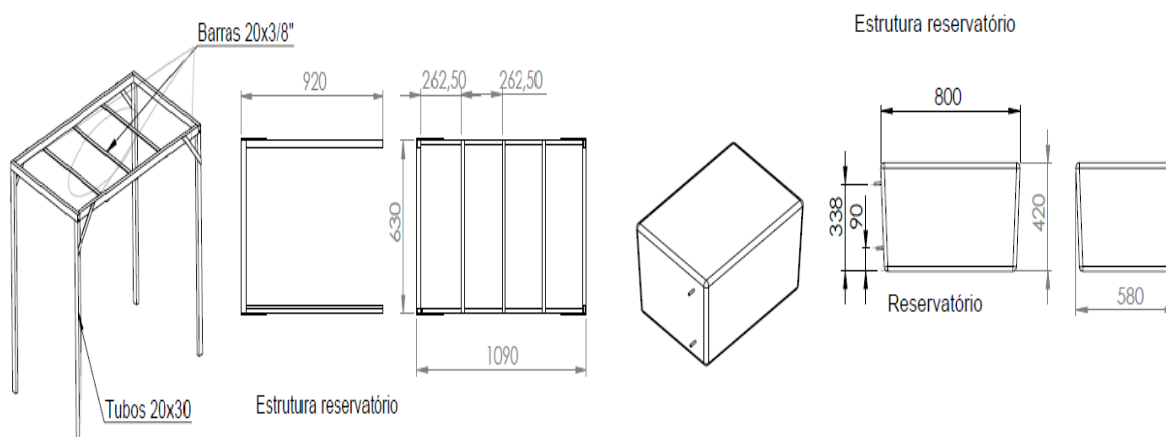


Figura 11: Estrutura e dimensionamento do suporte e reservatório d'água. Unidade mm.

O projeto do coletor foi desenvolvido em seis partes constituintes, sendo elas:

- Caixa externa estrutural;
- Isolamento térmico constituído por Poliuretano;
- Caixa estrutural interna;
- Tubos de vidro obtidos a partir de lâmpadas fluorescentes tubulares T8;
- Tubulação de cobre de $\frac{1}{4}$ ';
- Cobertura de vidro.

Com o auxílio da Figura 12 é possível observar uma vista explodida do coletor solar. O projeto foi desenvolvido no Solid Works®.

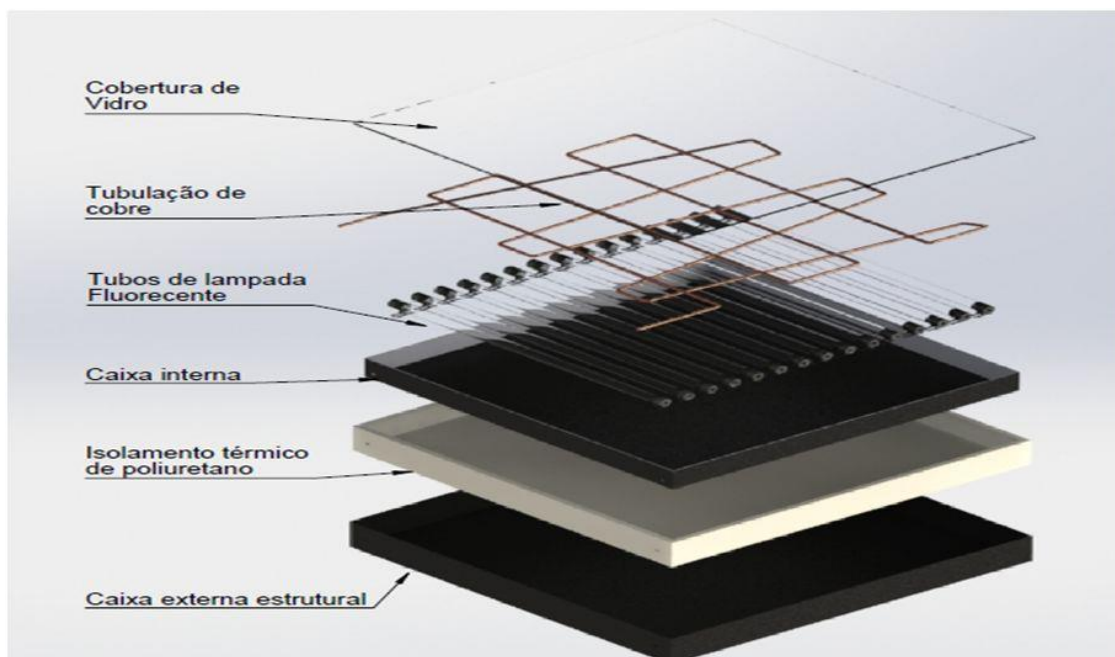


Figura 12: Componentes do coletor solar.

Com o auxílio da Figura 13, é possível observar as partes constituintes do sistema de aquecimento solar.

Para o reservatório, foi utilizado o mesmo material do sistema de aquecimento já existente que é constituído por uma caixa de isopor de 800x 580 x 420mm, com capacidade para 100 l.

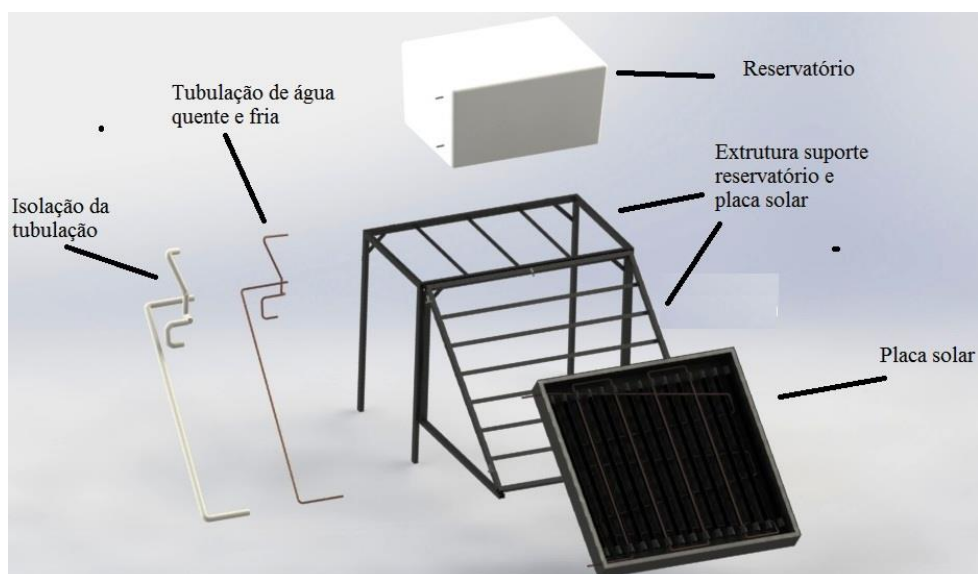


Figura 13: Partes constituintes do sistema de aquecimento solar.

Com o auxílio da Figura 14, é possível observar o projeto final do sistema de aquecimento.



Figura 14: Sistema de aquecimento finalizado.

O projeto inicial do sistema de aquecimento foi concebido para operar com a circulação natural da água, denominado sistema a termossifão. Neste processo a água mais fria que é mais densa e fica na parte inferior do reservatório, desce até a entrada do coletor.

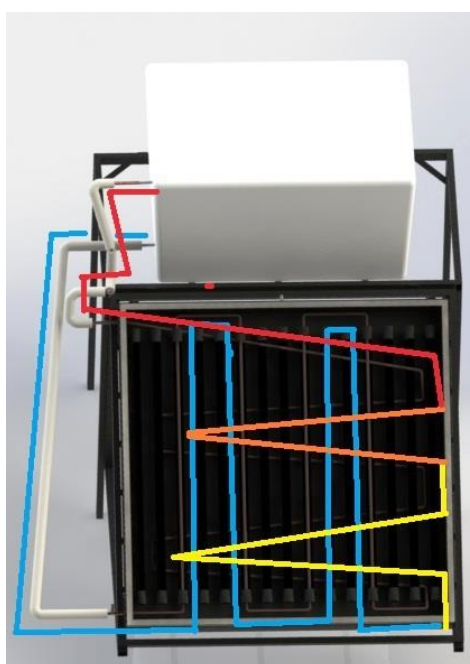


Figura 15: Comportamento do fluido no sistema de aquecimento solar.

A medida que a água é aquecida, se torna menos densa e retorna para a parte superior do reservatório. Com o auxílio da Figura 15 é possível visualizar por meio das cores da tubulação de cobre o comportamento da temperatura. A cor azul indica água em temperatura ambiente e a medida que é aquecida, é representada na figura pelas cores amarela, laranja e vermelha, que indica água aquecida.

4.2 LAYOUT DAS MONTAGENS DOS SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS E DOS SENSORES

Os sensores de temperatura foram instalados na entrada, na saída e na parte interna dos dois coletores. Os *dataloggers* foram instalados nas proximidades dos sistemas de aquecimento a cerca de 8m. Com o auxílio da Figura 16 é possível observar um *layout* das instalações dos sistemas de aquecimento.

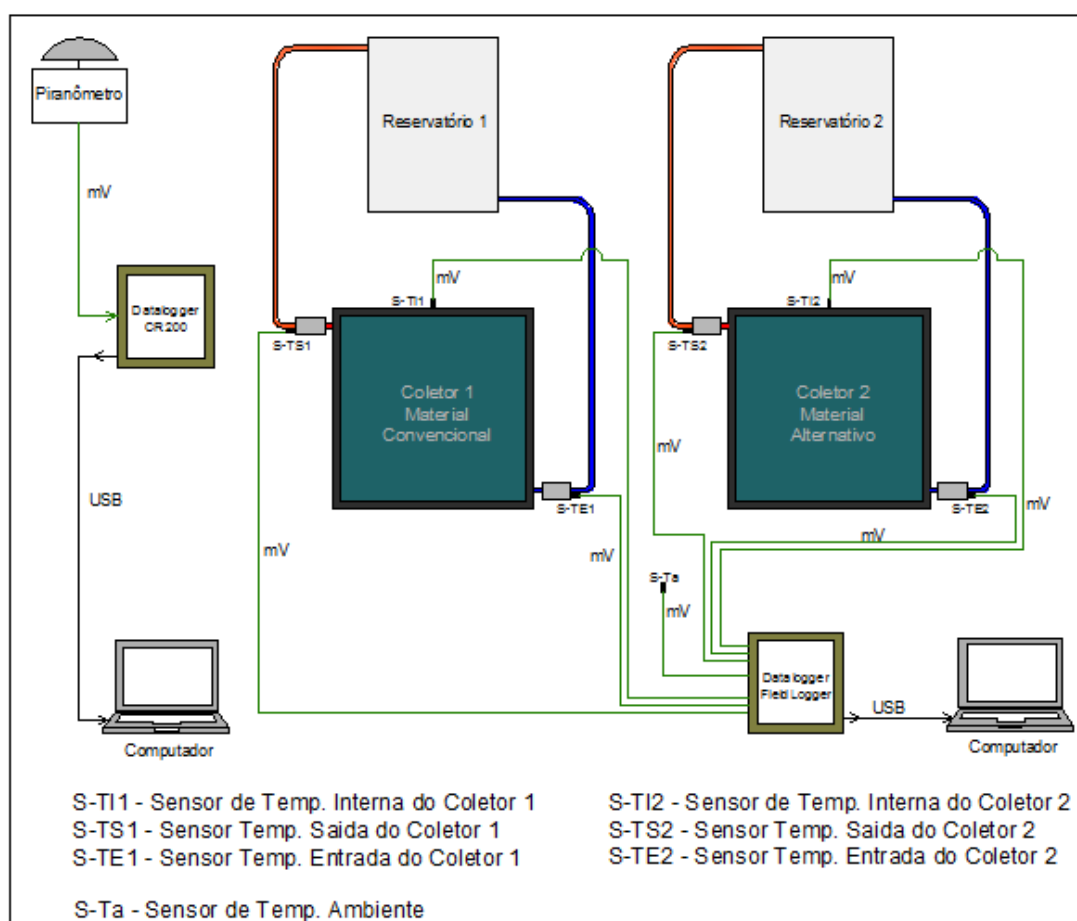


Figura 16: Sistema de interligação do projeto.

No layout é possível observar os pontos de inserção dos termopares e do piranômetro utilizados para as medições e dos dataloggers responsáveis por adquirir os dados e posteriormente encaminhar via USB para o computador.

5. EXECUÇÃO DOS PROJETOS MECÂNICO E LIGAÇÃO DOS SENSORES E SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS

5.1 EXECUÇÃO DO PROJETO MECÂNICO

5.1.1 Execução do Coletor Solar

Como comentado na Seção 1 deste trabalho, as lâmpadas fluorescentes tubulares quando abertas, limpas e cheias de água, funcionam como lentes. Esta característica pode ser utilizada para o desenvolvimento de um coletor solar.

Inicialmente foram escolhidas lâmpadas de mesmo comprimento e do tipo T8. As lâmpadas foram medidas com o auxílio de uma trena, a fim de serem cortadas todas com o mesmo tamanho (aproximadamente 80 cm). Para realizar o corte das mesmas, utilizou-se a técnica de choque térmico, ou seja, um barbante foi enrolado ao redor do ponto de corte. Em seguida o barbante era embebido em um material combustível (álcool) e queimado. Na sequência era derramada água fria no ponto quente e ocorria o choque que seccionava as lâmpadas com um corte de razoável precisão. Com o auxílio das Figuras 17 (a) e 17(b) é possível verificar as etapas descritas anteriormente.



(a)

(b)

Figura 17: Processo de corte das lâmpadas fluorescentes tubulares. (a) Medição das lâmpadas. (b) Corte da lâmpada com choque térmico (fogo e água fria).

Depois do corte, todas as lâmpadas foram lavadas e para isso utilizou-se água depositada em um tambor de PVC. Para esta etapa do processo (e as descritas

anteriormente), foram utilizadas luvas, máscara e óculos de proteção, a fim de evitar o contato com o pó das lâmpadas. A água da lavagem foi depositada em galões juntamente com os retalhos de vidro das lâmpadas, que foi destinada a uma empresa de descarte de Osasco-SP.

Com os tubos completamente limpos, iniciou-se o processo de fechamento das extremidades. As tampas foram construídas com *nylon*, que foi usinado para que ficasse com um diâmetro igual ao diâmetro interno das lâmpadas, ou seja, 29mm. Na sequência foi utilizada cola Reparamil para colar as tampas. Com o auxílio da Figura 18, é possível observar as tampas de *nylon* e o fechamento de uma das lâmpadas.



(a)



(b)

Figura 18: Confeção das tampas e processo de fechamento. (a) Nylon finalizado, b) Nylon fixado na lâmpada e colado.

Com o auxílio da Figura 19(a), é possível observar uma das lâmpadas com um dos lados fechado e o efeito de lente comentado anteriormente. A Figura 19(b) apresenta uma lâmpada finalizada.

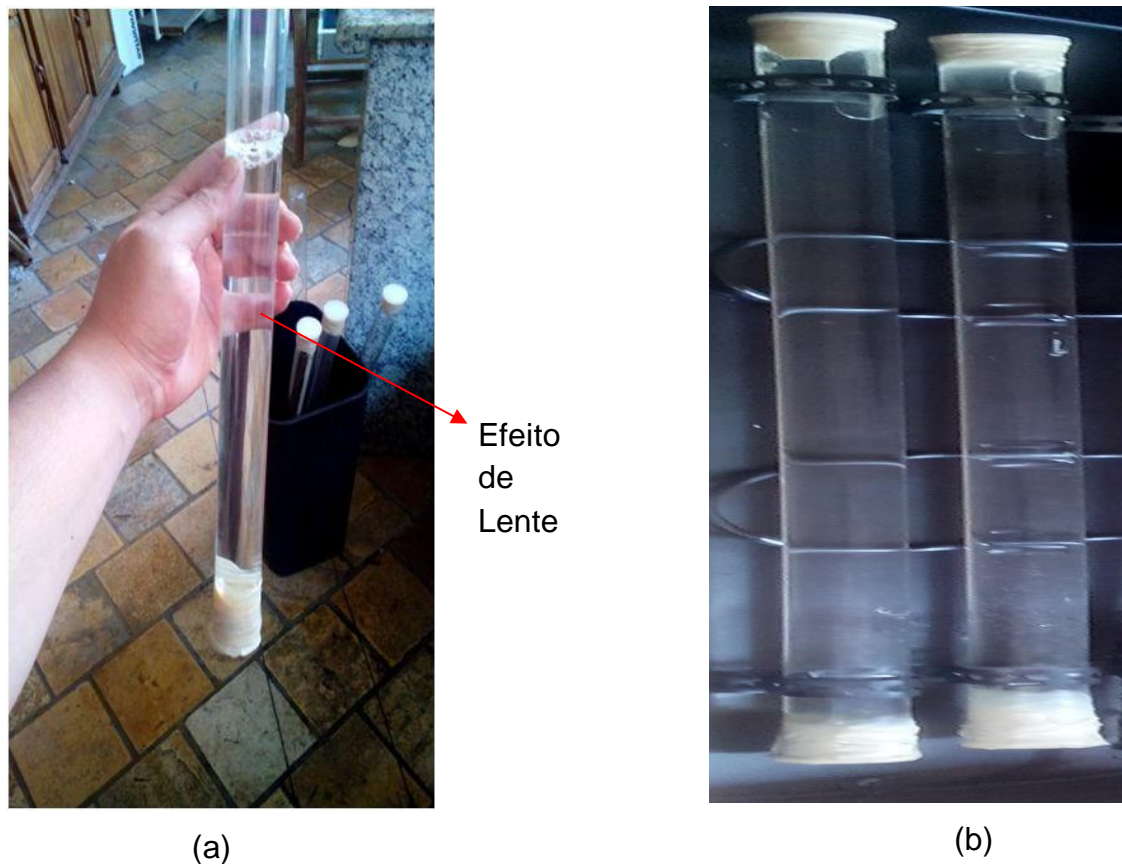


Figura 19: Configuração final da montagem. (a) Lâmpada com um dos lados fechados e seu efeito como lente. (b) Configuração final da lâmpada cheia de água.

Durante alguns testes iniciais, verificou-se que quando um tubo de cobre é inserido dentro de uma das lâmpadas cheia de água, o cano de cobre aquece muito, o que levou a se pensar em montar algumas das lâmpadas com o tubo de cobre dentro da mesma. Desta forma a superfície do coletor é constituída inicialmente por lâmpadas cheias de água e por lâmpadas cheias de água e com o tubo de cobre passando pelo seu interior. Com o auxílio da Figura 20, é possível observar uma montagem preliminar com o tubo de cobre embutido.



Figura 20: Configuração do tubo de vidro da lâmpada com água e com tubo de cobre embutido.

A base do coletor, conforme especificado no projeto, é constituída por duas chapas metálicas CH18, dobradas a 90° graus. As chapas foram cortadas com um pouco mais de 1m² e assim que dobradas, seus cantos foram soldados com solda tipo MIG e o acabamento foi feito com o auxílio de uma lixadeira manual. Na parte interna da base do coletor, foram soldados 4 tubos de 30x20mm, de tal forma a ficar um espaço com a segunda chapa e permitir o isolamento. Com o auxílio da Figura 21, é possível observar a primeira chapa dobrada e com os tubos preparados para a soldagem.

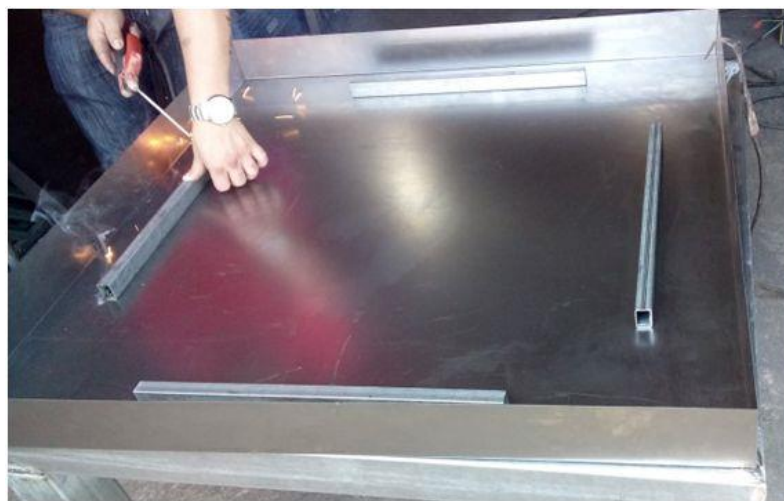


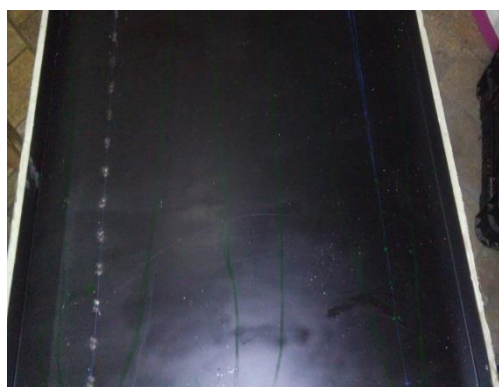
Figura 21: Chapa da base do Coletor Solar.

A Figura 22 apresenta a base do coletor com a segunda chapa e com o isolamento térmico em poliuretano (PU). Esta segunda chapa serve como o elemento absorvedor do coletor e foi pintado de cor preta para absorver ainda mais os raios solares e por consequência a energia térmica.



Figura 22: Base do Coletor com o material isolante e pintura na cor preta.

Posteriormente realizou-se as marcações de fixação das tubulações de cobre e das lâmpadas, como podem ser observadas na Figura 23(a) e 23(b). Para este trabalho foram utilizados furadeira, esquadro e rebidadeira manual. Em seguida foram fixadas as presilhas de suporte das tubulações e lâmpadas.



(a)



(b)

Figura 23: Marcação dos pontos de fixação da tubulação de cobre e da tubulação das lâmpadas. (a) Marcação da posição da tubulação. (b) Inserção das presilhas para o suporte da tubulação de cobre e da tubulação das lâmpadas.

Com o auxílio da Figura 24 é possível observar todos os suportes e um dos tubos de vidro das lâmpadas já fixadas.



Figura 24: Configuração final dos suportes das tubulações de cobre e dos tubos das lâmpadas.

Como comentado na Seção 4 deste trabalho, a tubulação de cobre não passou por todas as lâmpadas e isso foi feito para deixar o comprimento da tubulação igual ao comprimento da tubulação do coletor existente. A Figura 25 apresenta a configuração final do conjunto da tubulação de cobre e dos tubos das lâmpadas. Os tubos de vidro das lâmpadas por onde passam os tubos de cobre, foram pintadas de cor preta em suas extremidades com o intuito de proporcionar maior absorção dos raios solares.

Tubos das
lâmpadas
com
tubulação
interna



Figura 25: Configuração final do Coletor com a tubulação de cobre e a tubulação das lâmpadas.

A Figura 26 apresenta o coletor finalizado com o vidro de fechamento final. Este vidro possui espessura de 4mm e foi fixado com silicone.



Figura 26: Coletor solar finalizado.

5.1.2 Execução do suporte para o coletor e para o reservatório

O suporte para o coletor solar foi executado com tubos de aço CH18 de 30x20mm. Os tubos foram soldados de tal forma a ficar com a configuração de um quadro de 1,05m de lado, com inclinação de aproximadamente 30°. O acabamento foi feito com lixadeira e para finalizar, a estrutura passou por limpeza e foi pintada na cor preta. Com o auxílio da Figura 27, é possível observar os passos de montagem do suporte do coletor e do reservatório.



Figura 27: Processo de fabricação do suporte de fixação do coletor solar.

O suporte de fixação do reservatório foi executado com o mesmo material do suporte do coletor. Com o auxílio da Figura 28 é possível observar os dois suportes finalizados.



Figura 28: Suportes do coletor solar e do reservatório finalizados.

5.2 INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIAMENTO SOLAR, DOS SENSORES E DATALOGGER

5.2.1 Instalação do Coletor e do Reservatório

O sistema de aquecimento solar foi instalado na cobertura do bloco I3 da UTFPR Câmpus Medianeira/PR, na localização geográfica latitude ($25^{\circ} 17' 43''$ S) e longitude ($54^{\circ} 05' 38''$ O) e com uma inclinação de 38° , para permitir um maior aproveitamento da energia solar incidente entre verão e inverno (GNOATTO, 2003).

Inicialmente foram instalados os suportes do coletor e do reservatório na cobertura e na sequência o coletor e o reservatório foram instalados. Com auxílio da Figura 29 é possível observar os suportes, o reservatório e o coletor solar fixado.

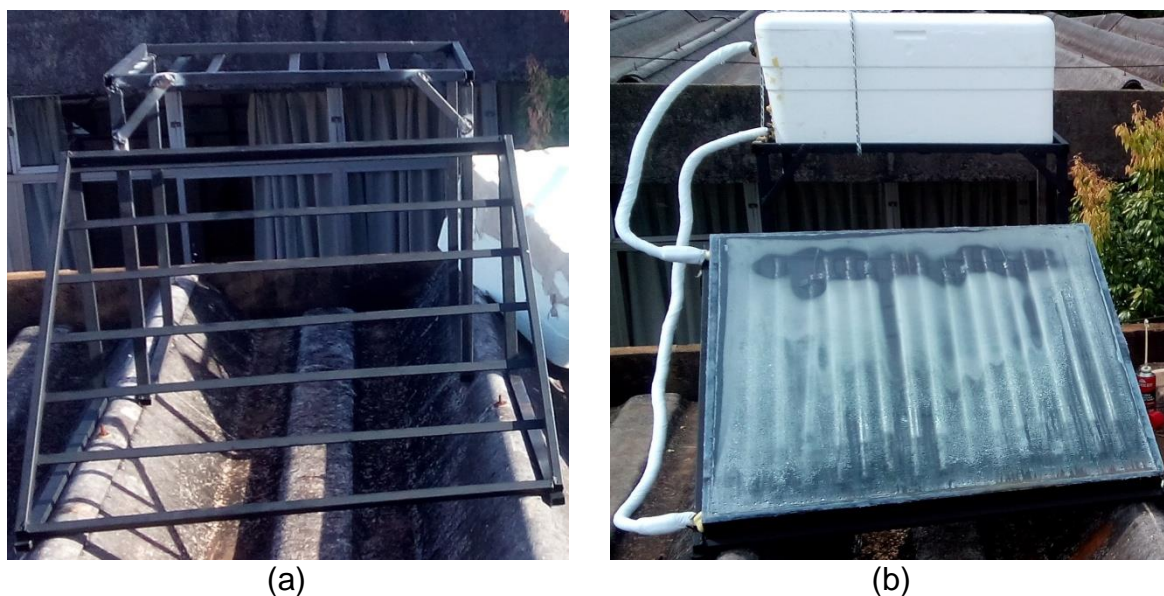


Figura 29: Instalação do sistema de aquecimento solar. (a) Suporte para coletor e reservatório. (b) Reservatório e coletor fixados.

5.2.2 Instalação dos sensores de temperatura

Os sensores de temperatura foram instalados a no máximo 0,05m do coletor solar, na tubulação de saída para o reservatório térmico e no máximo 0,20m do reservatório térmico, na tubulação de saída para os coletores (NBR 12269, 1992).

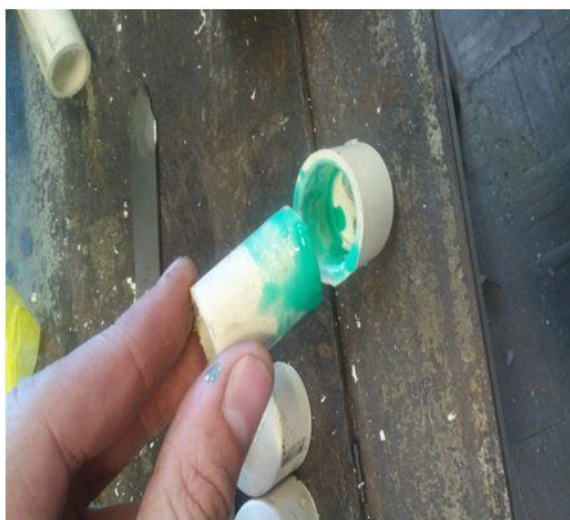
Como a tubulação de cobre utilizada é de $\frac{1}{4}$ ' e por ter um diâmetro muito pequeno para a inserção dos termopares do tipo J, a tubulação precisou ser alargada nas posições de entrada e saída dos coletores. Para isso, foram utilizadas oito tampas de tubulação de PVC própria para água quente. Foram executados quatro suportes de alargamento da tubulação, cada um com aproximadamente 70mm de comprimento e com a furação adequada para a conexão da tubulação de cobre e a conexão dos termopares. Com o auxílio da Figura 30, é possível observar o processo de execução dos suportes de alargamento da tubulação executados em PVC.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 30: Montagem do suporte para os sensores. (a) Corte do tubo acquatherm. (b) Furo de passagem dos sensores na tubulação de PVC. (c) Fechamento da tubulação. (d) Suporte finalizado.

5.2.3 Fixação dos suportes de alargamento da tubulação e dos sensores

Para a fixação dos suportes de alargamento da tubulação, foi utilizado adesivo plástico e cola reparamil. Com o auxílio da Figura 31 é possível observar o sistema de alargamento da tubulação instalado com os sensores de temperatura

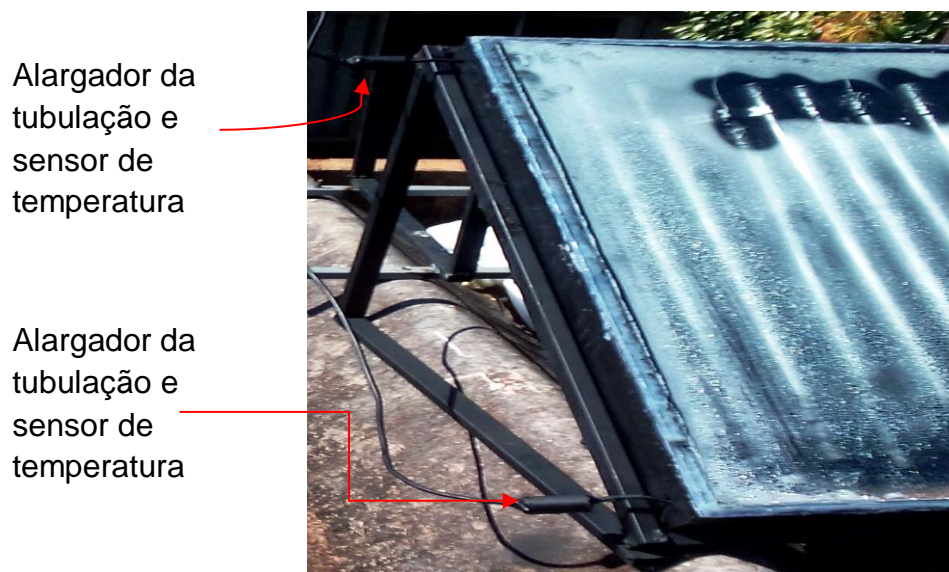


Figura 31: Suportes de alargamento da tubulação e instalação dos sensores de temperatura.

5.2.4 Instalação do sistema de aquisição de dados

O sistema de aquisição de dados (Fieldlogger -Novus), foi instalado em um quadro de sobrepor de 400 x 600 x 200mm (Largura, Altura e Profundidade). Com o auxílio da Figura 32(a), é possível observar o quadro instalado na parede do prédio do Bloco I3 e a saída dos cabos dos termopares. É possível verificar também na mesma figura, onde foi instalado o sensor que mede a temperatura ambiente.

O segundo sistema de aquisição de dados (CR200) já existente, está instalado logo abaixo do telhado. Este sistema aquisita dados de temperatura ambiente e de incidência solar proveniente do piranômetro. Este sistema de aquisição de dados pode ser visualizado na Figura 32(b).

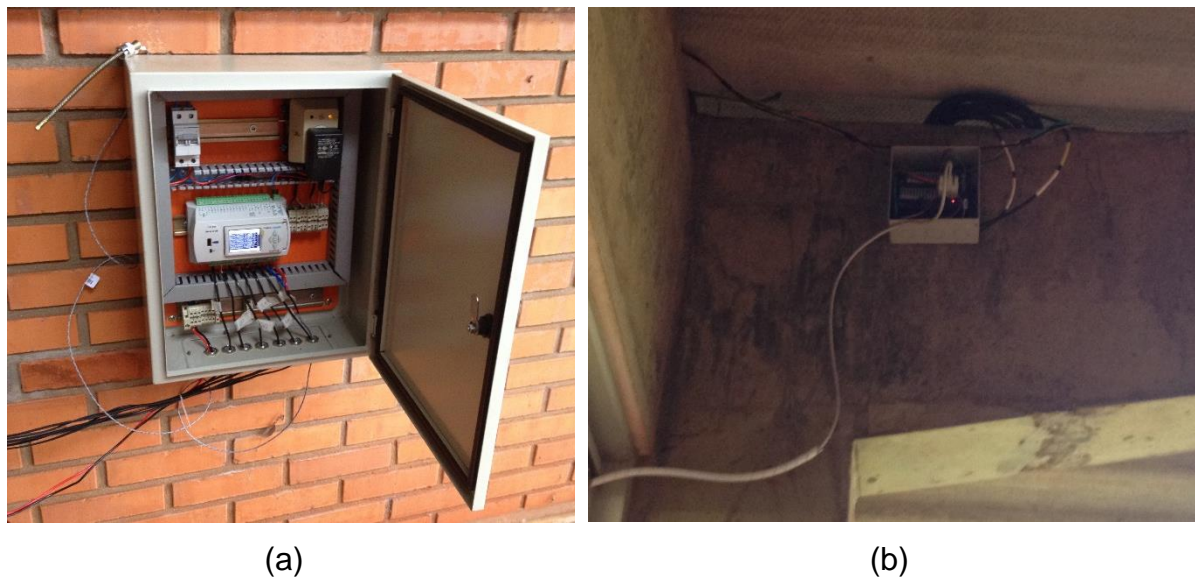


Figura 32: Quadro com o Datalogger Fieldlogger e a saída dos termopares (a). Detalhe do termopar de medição da temperatura ambiente. (b) Sistema de aquisição de dados CR200

As configurações finais dos dois sistemas de aquecimento solar podem ser verificadas na Figura 33.



Figura 33: Configuração final dos sistemas de aquecimento solar. À esquerda: Coletor solar com material alternativo. A direita: Coletor solar convencional.

6. METODOLOGIA DOS ENSAIOS

6.1 CONFIGURAÇÃO DOS SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS FIELDLOGGER E CR 200

Inicialmente o sistema de aquisição de dados foi configurado para medir em suas seis entradas analógicas, os valores de temperatura de entrada e saída do coletor alternativo e do coletor convencional, denominados deste ponto em diante por “Coletor 1 Alternativo” e “Coletor 2 Convencional”. O dispositivo foi configurado também para medir a temperatura ambiente. A Figura 34 apresenta uma das telas de configuração Fieldlogger.

The screenshot shows the 'Registros' (Records) configuration screen. At the top, there is a title bar with the word 'Registros' in blue. Below it, there are several configuration sections:

- Desabilitar Registros:** A checkbox that is currently unchecked.
- Modo de Início (Start Mode):** Includes radio buttons for 'Início Imediato' (selected), 'Por Data/Horário', 'Por alarme', and 'Somente por Comando Modbus'. The 'Por Data/Horário' option has a date field set to '08/11/2016' and a time field set to '06:00:00'.
- Modo de Término (End Mode):** Includes radio buttons for 'Ao encher memória', 'Não parar (memória circular)' (selected), 'Por Data/Horário', and 'Por alarme'. The 'Por Data/Horário' option has a date field set to '11/11/2016' and a time field set to '21:00:00'.
- Modbus Control:** Two checkboxes: 'Permitir início dos registros via comando Modbus' and 'Permitir término dos registros via comando Modbus', both unchecked.
- Seleção de Canais (Channel Selection):** A section with two columns: 'Canais Disponíveis' (empty) and 'Canais Selecionados' (containing: SensorTEcoletor 1, SensorTScoletor 1, SensorINcoletor 1, SensorTEcoletor 2, SensorTScoletor 2, SensorINcoletor 2, SensorAmbiente). There are navigation arrows between the columns and a '7/100' indicator at the bottom right.
- Memória para Registros (Memory for Records):** Radio buttons for 'Flash interna' and 'Cartão SD' (selected).
- Intervalo Entre Registros (Interval Between Records):** A text input field containing '30' and radio buttons for '(x 1 s)' (selected) and '(x 1 ms)'.

At the bottom of the screen, there is a navigation bar with several icons and labels: a green left arrow labeled 'Voltar', a floppy disk icon, a yellow question mark icon, a blue refresh icon, a red 'X' icon, and a green right arrow labeled 'Seguinte'.

Figura 34: Uma das telas de configuração do Fieldlogger.

Os canais foram definidos com nomes apropriados para a identificação dos pontos de medição. Os dados aquisitados foram configurados para serem

armazenados no cartão de memória SD (16GB) do equipamento a partir das 6:00hs do dia 08/11/2016 até às 21:00hs do dia 11/11/2016. Os dados de temperatura foram coletados a uma taxa de amostragem de 1 amostra a cada 30s. Tal escolha na taxa de amostragem se deve ao fato dos sistemas térmicos terem por natureza, tempos de resposta elevados.

O CR200 foi configurado para aquisitar dados de temperatura ambiente a cada 60s. Neste mesmo intervalo de tempo é calculada a média de incidência solar em kW/m^2 e este valor médio é armazenado no SD do dispositivo. Os dados foram aquisitados nos mesmos horários de datas configuradas no Fieldlogger.

6.2 VERIFICAÇÃO DAS MEDIÇÕES DOS TERMOPARES

Antes dos sensores serem instalados nos sistemas de aquecimento, os mesmos foram testados para a verificação das medições de temperatura ambiente. A Figura 35 mostra um gráfico (obtido do *software* do Fieldlogger) com os valores de temperatura para alguns dos sensores utilizados.

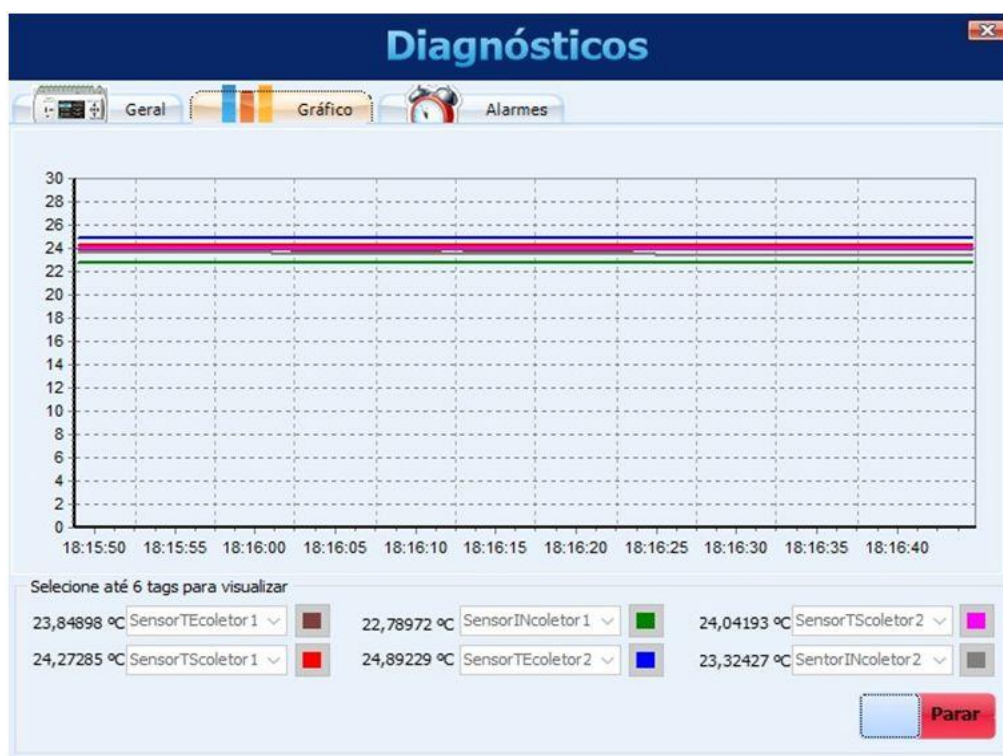


Figura 35: Valores de temperatura ambiente obtido a partir dos termopares.

Na Figura 35, nota-se que existe uma diferença de valores para cada um dos sensores. Desta forma todos os termopares tipo J, foram inseridos em um recipiente com gelo e água. Na Figura 36(a) é possível observar os sensores no recipiente e o *datalogger* instalado no quadro de sobrepor. Na Figura 36(b), é possível visualizar o computador com a tela de visualização dos valores.

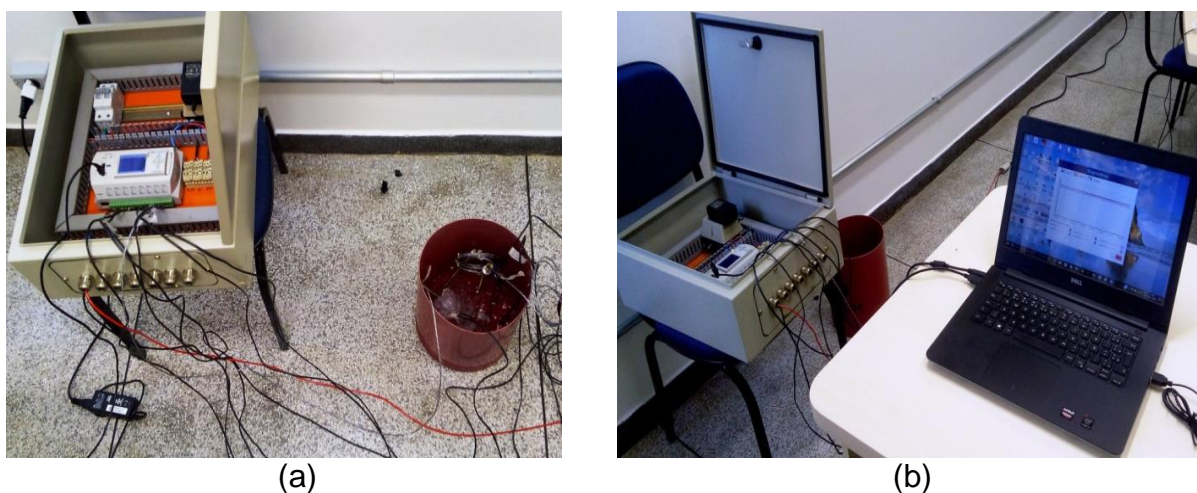


Figura 36: Verificação das medições dos termopares. (a) Termopares inseridos em mistura de água e gelo próximo à 0 °C. (b) Aquisição dos dados via Datalogger e verificação dos resultados no computador.

Com este ensaio, tomou-se como base o valor da temperatura ambiente e desta forma, a diferença da temperatura dos outros sensores para a medição do sensor de temperatura ambiente pode ser diminuída a fim de que os resultados não apresentassem erros relativos de medição. A Tabela 1 apresenta os valores de temperatura obtidos com todos os sensores na mistura de gelo e água.

Com os sistemas devidamente instalados, foram adquiridos dados de temperatura e incidência solar para três dias consecutivos. Com a análise dos dados e o emprego das equações apresentadas na seção 3.3.1, objetivou-se o cálculo da eficiência dos coletores solares.

Quadro 1: Medições dos termopares em mistura de água e gelo.

ENTRADAS/NOME NO DATALOGGER	IDENTIFICAÇÃO DOS SENSORES	TEMPERATURA
Canal 1: Sensor TE coletor1	Sensor de entrada do coletor com material alternativo	1,23°C
Canal 2: Sensor TS coletor1	Sensor de saída do coletor com material alternativo	0,45°C
Canal 3: Sensor IN coletor1	Sensor interno do coletor com material alternativo	-0,19°C
Canal 4: Sensor TE coletor2	Sensor de entrada do coletor convencional	0,32°C
Canal 5: Sensor TS coletor2	Sensor de saída do coletor convencional	0,76°C
Canal 6: Sensor IN coletor2	Sensor de temperatura interna do coletor convencional	2,92°C
Canal 7: Sensor Ambiente	Sensor ambiente para os dois coletores em estudo	1,29°C

7. ENSAIOS INICIAIS

Os ensaios iniciais foram feitos com o intuito da verificação do comportamento do sistema térmico. Os dois reservatórios foram cheios de água no final da tarde do dia 07/11/2016, cada um com 90 litros de água.

O gráfico da Figura 37 apresenta o comportamento da temperatura ambiente no dia 10/11/2016 das 08:00 às 17:00h.

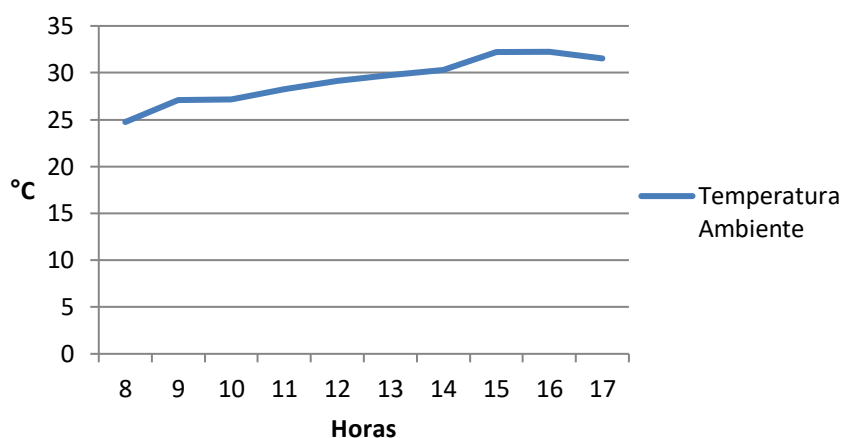


Figura 37: Comportamento da temperatura ambiente no dia 10/11/16.

O gráfico da Figura 38 apresenta os resultados da incidência solar para o mesmo intervalo de tempo.

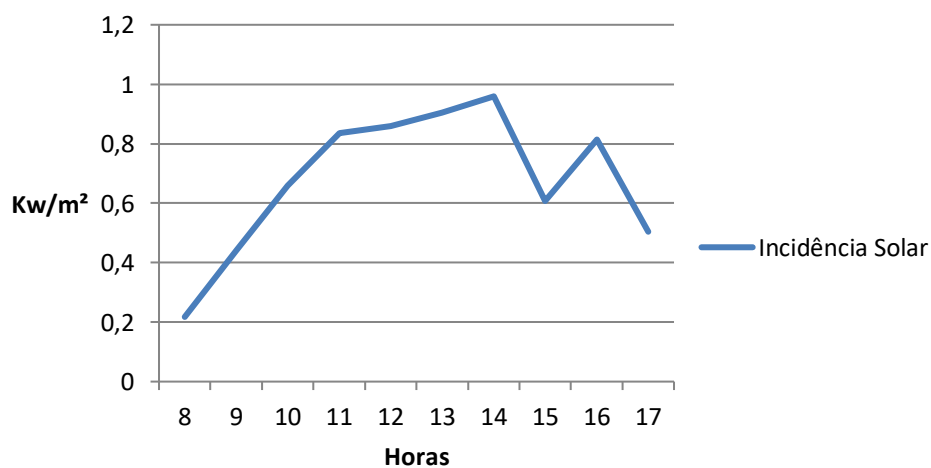


Figura 38: Incidência solar no dia 10/11/2016.

7.1 ENSAIOS COM O COLETOR 1 CONVENCIONAL

Com auxílio da Figura 39 é possível observar o comportamento das temperaturas de entrada T_e e de saída T_s do coletor 1 convencional.

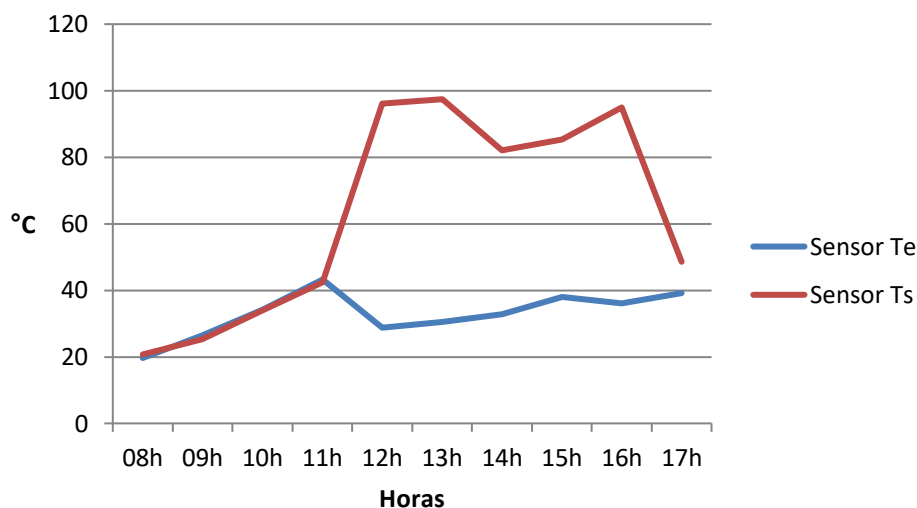


Figura 39: Temperatura de entrada T_e e de saída T_s no Coletor 1 Convencional.

É possível verificar que a partir das 10:30h, a temperatura de entrada do coletor começou a diminuir e a temperatura de saída a aumentar quase 60 °C em uma hora. Das 11:30h às 14:00h (aproximadamente) a temperatura de entrada do coletor aumentou em torno de 10 graus. Este aumento de temperatura indica que houve troca de calor e a circulação da água contida no reservatório.

7.2 ENSAIOS COM O COLETOR 2 ALTERNATIVO

Com auxílio da Figura 40 é possível observar o comportamento das temperaturas de entrada T_e e de saída T_s do Coletor 2 Alternativo. Salienta-se que devido à elevada temperatura interna do coletor 2 Alternativo, a água interna contida nos tubos das lâmpadas fluorescentes, evaporou, sendo perdido então o efeito de concentração solar que se esperava no coletor.

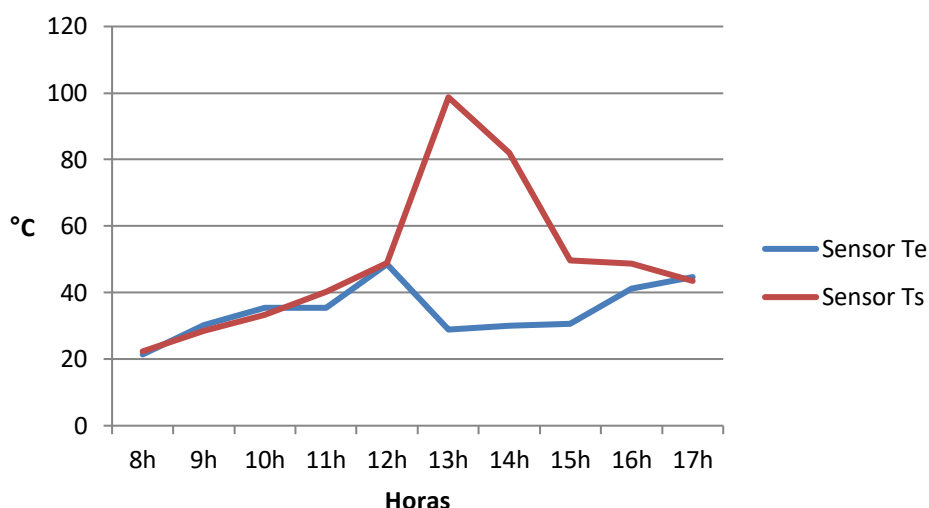


Figura 40: Temperatura de entrada Te e de saída Ts no Coletor 2 Alternativo.

Com o auxílio do gráfico da Figura 40 é possível observar que a partir das 11:30h a temperatura de entrada Te do coletor começou a diminuir e a temperatura de saída Ts aumentou cerca de 50 °C em uma hora. Nota-se, que a partir de aproximadamente 11:30h, a temperatura de entrada começa a aumentar até aproximadamente as 14:00h e a temperatura de saída do coletor diminui, o que indica que ocorreu circulação de água no sistema.

Como a circulação no sistema não foi intensa a tubulação do coletor alternativo foi seccionada na saída por volta das 14:30h. Observa-se no gráfico que como ocorreu a circulação de água, a temperatura da água de saída aumentou até as 17:00h, hora em que a vazão foi diminuindo até acabar completamente.

Observa-se também que as maiores temperaturas ocorrem nos momentos de maior incidência solar que pode ser observado na Figura 41.

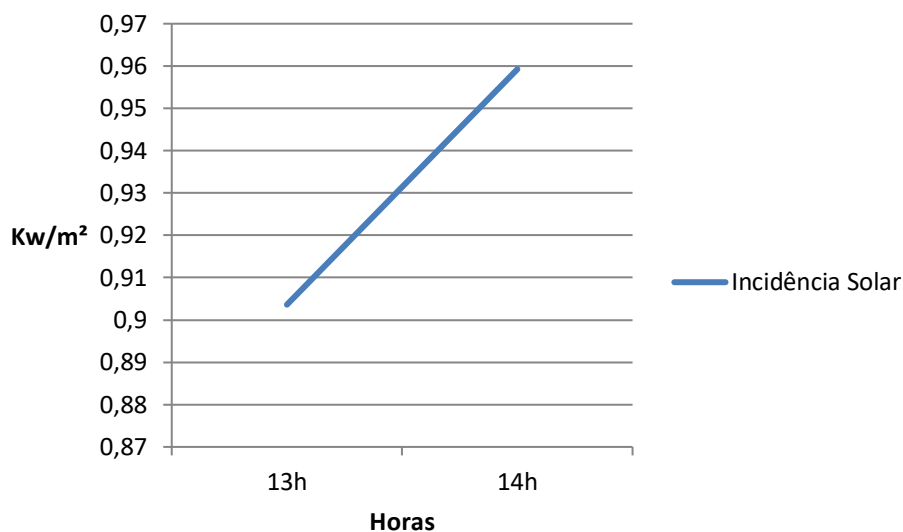


Figura 41: Hora de maior incidência solar – 13 as 14h.

7.3 TEMPERATURA INTERNA DOS COLETORES

Com auxílio da Figura 42, é possível observar o comportamento das temperaturas internas de ambos os coletores. Nota-se que mesmo com a danificação do coletor 2 de material alternativo (evaporação da água contida nos tubos das lâmpadas fluorescentes), a temperatura interna deste coletor alcançou um valor maior que o Coletor 1 Convencional. A temperatura no Coletor 2 Alternativo chegou a aproximadamente 110°C. É possível observar também que o coletor 2 leva mais tempo (embora pequeno) para perder calor, que começa a ocorrer somente a partir das 16:30hs.

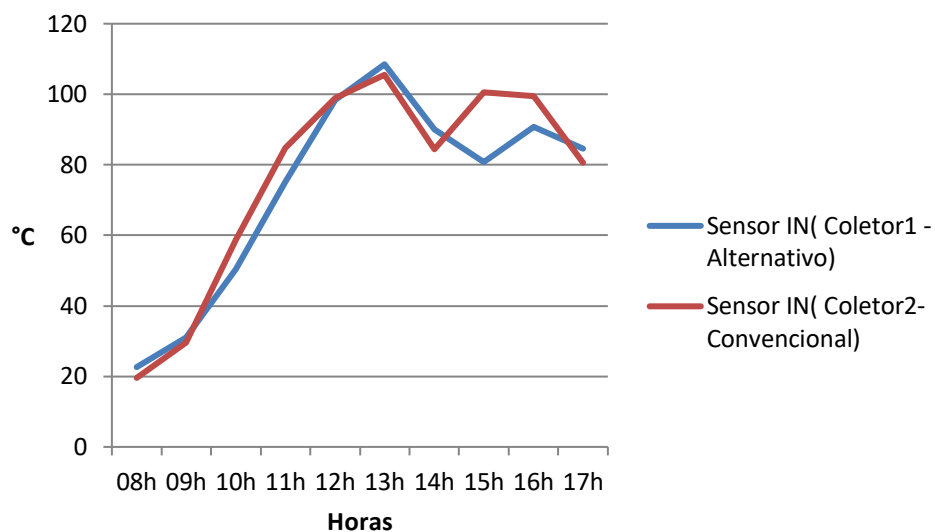


Figura 42: Temperatura interna dos coletores.

7.4 TEMPERATURA DE SAÍDA E INTERNA NO MOMENTO DA CIRCULAÇÃO DA ÁGUA NOS SISTEMAS

Foram analisados no período de maior incidência solar os dados de temperatura de saída e interna dos coletores no período das 11:30h às 14:00h, período quando ocorreu a circulação de água em ambos os sistemas. Com o auxílio da Figura 43, é possível verificar que durante a circulação da água, a temperatura de saída do Coletor 1 Convencional manteve-se sempre abaixo da temperatura de saída do Coletor 2 Alternativo.

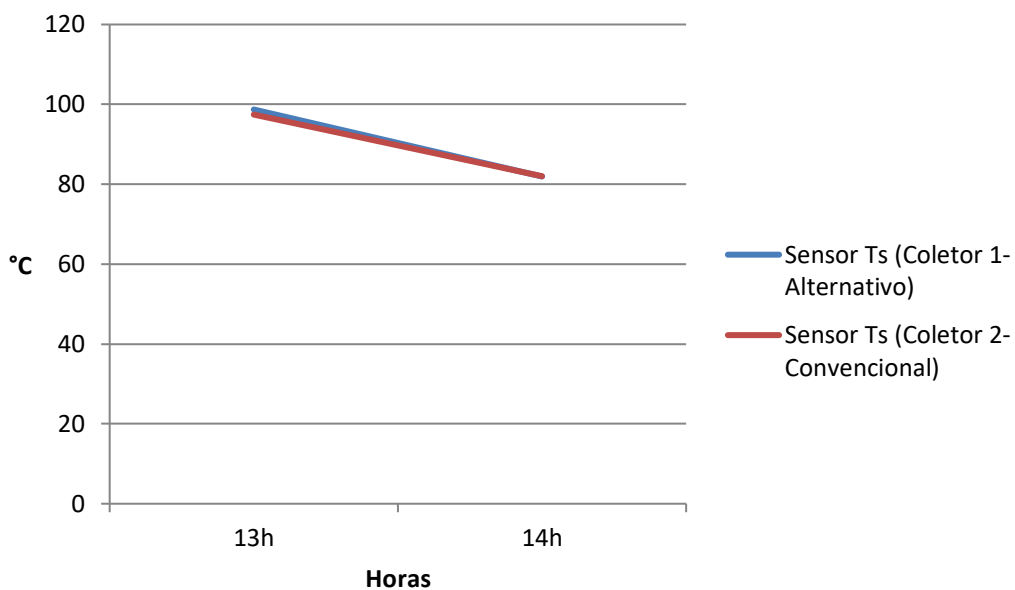


Figura 43: Temperatura de saída Ts nos dois coletores.

O gráfico da Figura 44 apresenta o comportamento da temperatura interna nos dois coletores. Observa-se que o Coletor 1 Alternativo, atinge valores maiores de temperatura se comparado ao Coletor 2 Convencional.

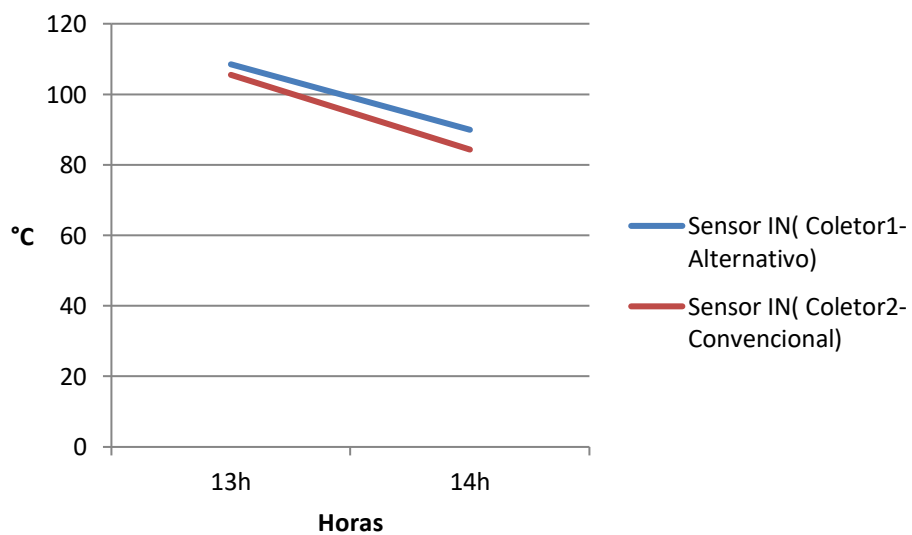


Figura 44: Temperatura interna nos dois coletores.

7.5 RESULTADOS DOS ENSAIOS

Embora tenha se verificado a circulação de água em ambos os sistemas, observou-se no final da tarde do dia 10/11/2016 que a temperatura da água do reservatório era fria o que indicou que o volume de água que circulou nos sistemas era inadequado para realizar uma troca de calor eficiente.

Acredita-se que a má circulação de água se deve ao pequeno diâmetro dos tubos de cobre ou a altura da parte de cima do coletor e da base do reservatório, que segundo alguns autores, deve ser acima de 30cm.

Desta forma os resultados iniciais obtidos, mostram que com a circulação natural da água, a eficiência dos sistemas não pode ser calculada.

As temperaturas internas maiores observadas no Coletor 2 Alternativo, se devem a uma quantidade maior de massa vítrea neste coletor, ou seja, devido a existência dos tubos de vidro das lâmpadas tubulares.

Como os resultados não foram satisfatórios, adotou-se uma outra forma de avaliar a eficiência do coletor de material alternativo. Não foi possível fazer o mesmo para o coletor convencional, pois a tubulação deste coletor foi obstruída e não pode ser limpa a tempo.

8. ENSAIOS DE EFICIÊNCIA

Conforme comentado anteriormente na seção 7.5, não ocorreu a vazão necessária para a troca de calor e o cálculo da eficiência ficou prejudicado. Desta forma, optou-se por abrir permanentemente a tubulação de saída do coletor de material alternativo e depositar a água em um outro reservatório, como pode ser observado na Figura 45 (a).



Figura 45: (a) Abertura da Tubulação para o escoamento da água quente para outro reservatório. (b) Sensor de temperatura inserido no interior do reservatório principal.

Foi inserido um sensor de temperatura dentro do reservatório do Coletor de Material Alternativo 2, Figura 45(b) e, portanto, o cálculo do rendimento foi realizado apenas para este coletor e seguindo a seguinte metodologia:

- 1 – Abertura da tubulação às 11:25hs;
- 2 – Coleta de 8 litros de água em aproximadamente 35 minutos;
- 3 – Inserção da água quente no reservatório principal;
- 4 – Homogeneização da água do reservatório (movimentação manual da água);
- 5 – O processo se repetiu até as 17:35hs;

Desta forma com o auxílio das Equações (03) e (04), foi possível calcular os rendimentos para os intervalos onde a água quente era depositada no reservatório. As Equações (03) e (04) estão descritas novamente abaixo:

$$Qd = \frac{m \cdot Cp(T_{RES} - T_{ES})}{860} \quad (03)$$

$$\eta = \frac{Qd}{A \cdot G \cdot nH} \quad (04)$$

Com o auxílio da Figura 46, é possível observar o comportamento da temperatura ao longo do dia 30 de novembro de 2016.

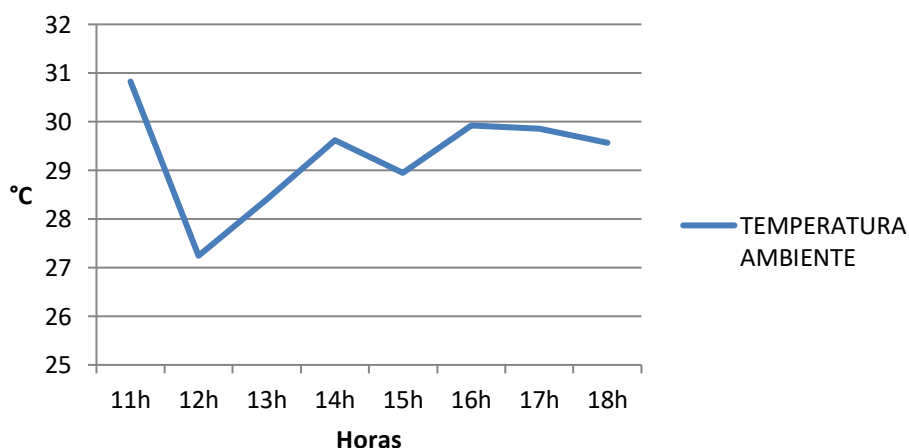


Figura 46: Comportamento da Temperatura Ambiente no dia 30/11/2016.

Com o auxílio da Figura 47 é possível observar o comportamento da incidência solar para o mesmo dia. Na Figura 48 é possível observar a temperatura interna do coletor. Nota-se que para este dia, não houve temperaturas elevadas, pois durante os ensaios o tempo estava instável e ficou nublado por várias vezes.

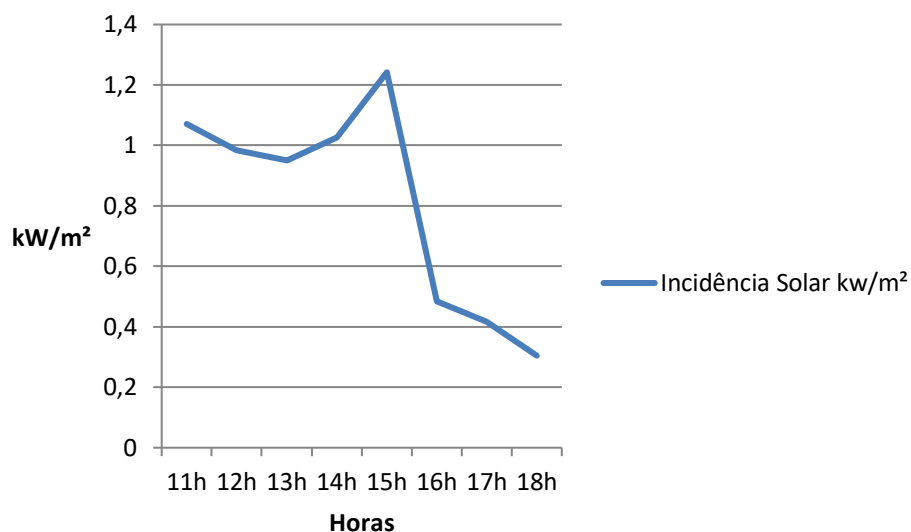


Figura 47: Incidência Solar para o dia 30/11/2016.

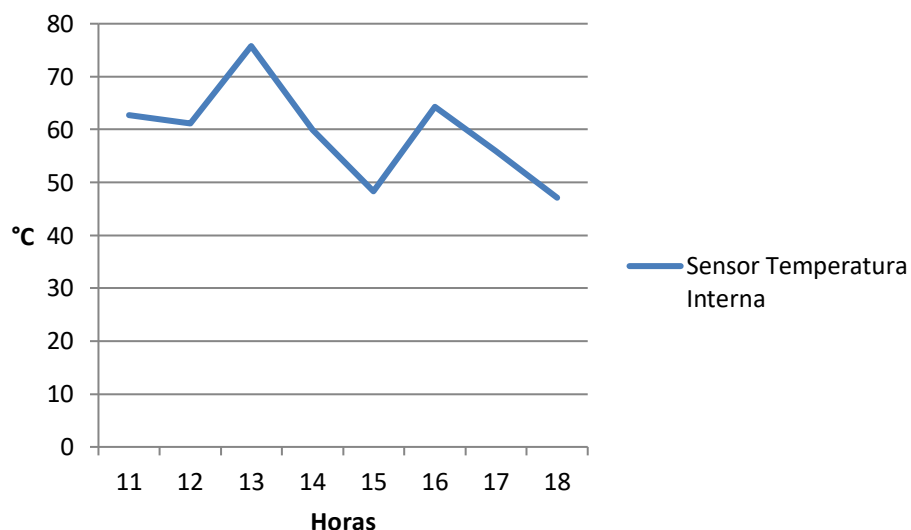


Figura 48: Comportamento da temperatura interna do coletor de material alternativo para o dia 30/11/2016.

Com o auxílio da Figura 49 é possível observar o comportamento da temperatura de entrada do coletor, da temperatura de saída do coletor e a temperatura do reservatório. Observa-se neste gráfico, que a partir do momento que a água aquecida é inserida no reservatório, a temperatura da água no mesmo começa a subir, indicando que o sistema está convertendo e armazenando energia térmica. Observa-se também com o auxílio da Figura 48, que a temperatura interna do coletor diminui

par um determinado tempo, aumenta com o aumento da temperatura ambiente e torna a diminuir no final do ensaio.

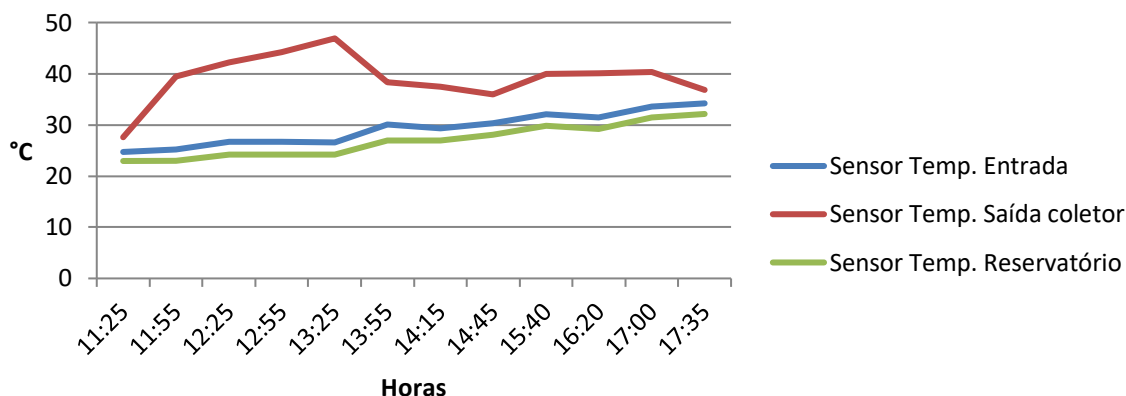


Figura 49: Comportamento da Temperatura de entrada e saída do coletor e da temperatura interna do reservatório.

Adotando a metodologia citada anteriormente, foi possível calcular os rendimentos para os intervalos onde a água aquecida era depositada no reservatório. Com o auxílio da Figura 50, é possível observar os rendimentos para cada intervalo de tempo.

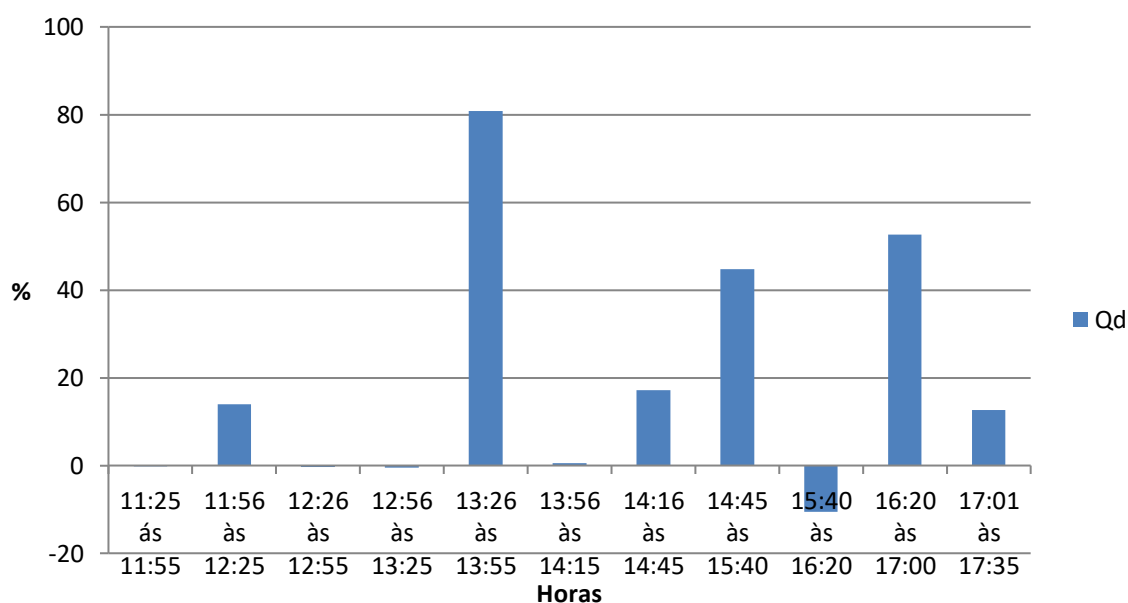


Figura 50: Valores de Eficiência nos intervalos de tempo.

Observa-se que alguns valores foram pequenos devido à baixa variação de temperatura do reservatório. Observa-se também que um valor de rendimento ficou negativo e isso ocorreu pelo fato da baixa incidência solar no período e a queda na temperatura ambiente. Desta forma quando o reservatório foi aberto para a inserção da água quente e homogeneização, perdeu-se calor. No mesmo gráfico, observa-se que os maiores rendimentos ocorreram entre as 13:26h e as 13:55h, entre as 14:45h e as 15:40h, e entre as 16:20h as 17:00h. No intervalo compreendido entre as 13:30 as 14:30 pode ser observado no gráfico da Figura 47, que ocorreram os maiores valores de incidência solar porem a temperatura ambiente diminui conforme pode ser observado na Figura 46. No intervalo das 14:30h até as 17:00h, embora a incidência solar tenha diminuído, a temperatura ambiente ficou elevada e manteve a temperatura interna do coletor com valor alto, como pode ser observado no gráfico da Figura 48.

Para todo o intervalo do ensaio (cerca de seis horas), o rendimento total do sistema ficou em torno de 25% e este resultado pode ser observado no gráfico da Figura 51.

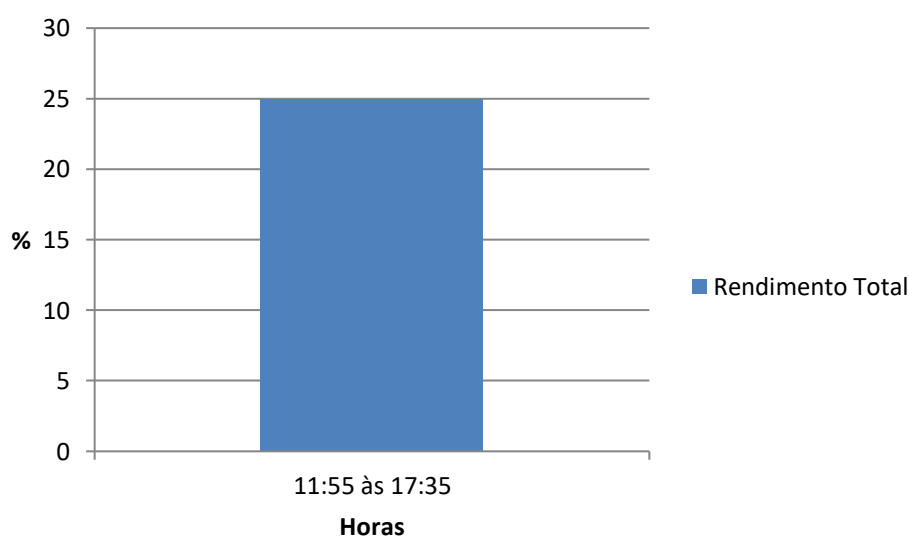


Figura 51: Rendimento total do sistema térmico para o dia 30/11/16 durante um intervalo de tempo de aproximadamente 6h.

Com o auxílio da Equação (05) descrita novamente abaixo, é possível encontrar para os rendimentos calculados, a relação entre os rendimentos e as grandezas envolvidas na equação 05.

$$X = \frac{(T_{sm} - T_{am})}{G_m}$$

Onde:

T_{sm} – Temperatura média de saída do coletor no intervalo de tempo de enchimento do reservatório auxiliar.

T_{am} - Temperatura média ambiente no intervalo de tempo de enchimento do reservatório auxiliar.

G_m – Incidência solar média no intervalo de tempo de enchimento do reservatório auxiliar.

Com os valores dos rendimentos obtidos anteriormente e apresentados no gráfico da Figura 50 e com os valores obtidos da Equação (05), é possível apresentar o gráfico da Figura 52.

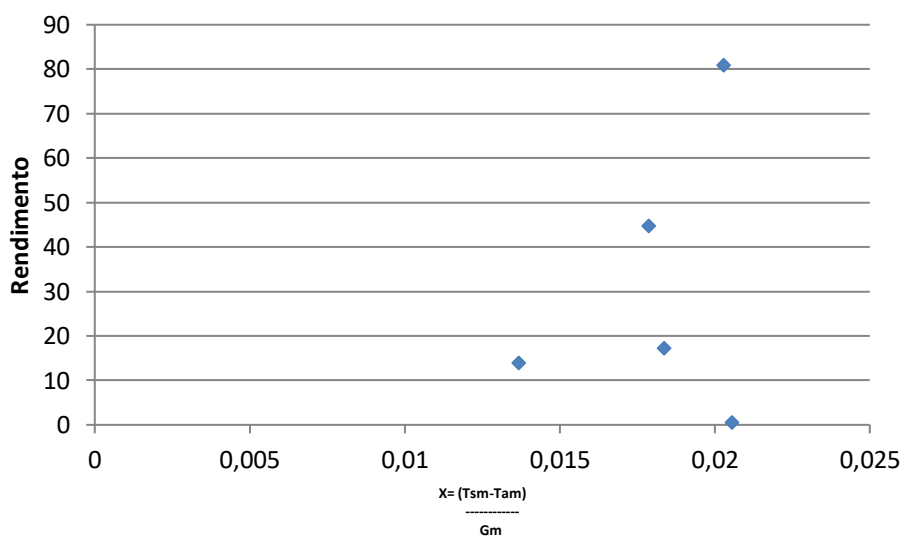


Figura 52: Pontos de caracterização do coletor com material alternativo para o dia 30/11/2016.

Observa-se na Figura 52, que não é possível encontrar uma linha de tendência que caracterize o coletor e isso se deve aos poucos dados de rendimento encontrados, desta forma, a caracterização somente será possível com a realização de novos ensaios.

9. RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo, a construção de um coletor solar com material alternativo. O material alternativo, que são os tubos das lâmpadas fluorescentes tubulares, quando não descartadas de forma correta, causam prejuízos ambientais devido a sua composição, pois possuem internamente gases tais como o mercúrio, que é um gás completamente tóxico e prejudicial. Desta forma, procurou-se também verificar se as lâmpadas fluorescentes tubulares inutilizadas podem ter outra utilidade final.

A ideia da utilização dos tubos de vidro das lâmpadas empregada no projeto é fazer com que estas funcionem como uma lente de aumento, concentrando os raios solares e transmitindo para o coletor. A utilização das lâmpadas apresentou dificuldades na montagem do coletor de material alternativo por conta da tubulação que passa por dentro de 4 tubos de vidro. Os tubos de vidro das lâmpadas fluorescentes são frágeis, o que acarretava na quebra ou rachaduras nas suas extremidades. Pensou-se em outra forma que facilitaria a instalação dos tubos de cobre internos, utilizando solda na tubulação, porém a alta temperatura do ferro de solda poderia também danificar os tubos de vidro. O material de *nylon* empregado para fechar os tubos mostrou-se eficiente nos primeiros testes, quando os tubos não estavam ainda instalados no coletor, porém depois de instalados dentro do coletor solar e sendo criado o efeito estufa com o aquecimento, o *nylon* e principalmente a cola utilizada, não suportaram às altas temperaturas internas do coletor, que chegaram em torno de 110°C. Outro ponto de destaque analisado, é que inicialmente não se sabia que a temperatura interna ultrapassaria os 100 °C, o que fez com que a água interna contida nos tubos de vidro evaporasse, perdendo-se então o efeito de concentrador solar pretendido.

Como pode ser observado nos testes iniciais, a temperatura interna do coletor de material alternativo manteve-se elevada mesmo com a abertura da tubulação de saída que ocorreu por volta das 14h. Quando a tubulação de saída do coletor de material alternativo foi aberta, nota-se uma queda na temperatura de saída do coletor, o que era esperado, pois a vazão ficou muito maior que a vazão do sistema com coletor convencional. Desta forma pode-se verificar que a temperatura interna do

coletor de material alternativo com a vazão maior manteve-se mais elevada que o sistema com coletor convencional com vazão menor, ou seja, acredita-se que diante desta análise, a eficiência do coletor de material alternativo é maior que o sistema com o coletor de material convencional. Observa-se também que a temperatura interna do coletor de material alternativo mantém a temperatura interna por um período maior de tempo, quando comparado com o coletor de material convencional.

O cálculo de eficiência não foi realizado para os dois sistemas devido aos problemas encontrados durante os ensaios (obstrução da tubulação de cobre do coletor convencional). Desta forma o ensaio foi realizado apenas para o coletor com material alternativo. Neste ensaio, a tubulação de cobre de saída do coletor foi aberta e a água quente depositada em um segundo reservatório. A cada 35 minutos (8 litros) aproximadamente, este reservatório enchia e a água quente era depositada e homogeneizada manualmente no reservatório principal. O processo se repetiu até completar a circulação dos 90 litros de água. O ensaio ocorreu das 11:25h às 17:35h. Os resultados obtidos de eficiência mostram que o coletor de material alternativo, apesar dos problemas, apresentou uma eficiência de 25%.

Trabalhos futuros podem ser realizados para melhorar o sistema e sugere-se o estudo de um material que possa ser inserido nos tubos de vidro das lâmpadas fluorescentes que suporte temperaturas acima de 100 °C, de tal forma que os tubos das lâmpadas operem como lentes e de fato façam o papel de concentrador solar.

10. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - **Associação Brasileira de Normas Técnicas, Sensores e Instalações.** 1992. Disponível em: www.abnt.org.br. Acesso em 1 de nov. de 2016.

BOLZAN, MAIQUEL.; **Desenvolvimento de um piranômetro baseado em componentes semicondutores** Dissertação (Mestrado) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 2014.

CAMPBELL, **Manual dataloggers CRBasic.** revisão 10/15, 1994. Pg9.

CAMARGO, J. R. 2010, “ **Aplicação de módulos termelétricos para condicionamento de ar**”. In: VI Workshop Universidade - Empresa em Automação Industrial, Energia, Materiais e Processos, Produção. Taubaté, SP.

CIENCIA VIVA, 2016. **Guia da Energia Solar.** Disponível em: <http://www.cienciaviva.pt/rede/himalaya/home/guia6.pdf>. Acesso em: 25 de setembro de 2016, 15:00.

DANIEL, N.; **Copyright DN Instalações.** 2015. Disponível em: <http://www.dninstalacoes.com.br/galeria/>. Imagem.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal processes.** 3ª ed. New Jersey. Wiley, 2006. 928 p.

ELETROLICO, **Termopar tipo J.** Disponível em: <http://www.eletrolico.com.br/termopares-baioneta-tipo-j-digimec-p526>. Acesso em 02 de dez de 2016.

EPE. Eficiência Energética. **Estudos de Demanda,** 2012. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie Estudos de Energia/20121221_1.pdf](http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20121221_1.pdf).

EPE. **Anuário estatístico de energia elétrica 2013.** Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2013. p. 253.

FARIAS, Caroline; 2016. **O sol e energia solar**. Disponível em: <http://www.infoescola.com/sol/>. Acesso em: 27 de set. 2016.

GERMAN, **Solar Energy Society**. 2007. Disponível em: <https://ises.org/what-we-do/publications/>. Acesso em: 28 de nov de 2016.

GNOATTO, E. **Desempenho de painel fotovoltaico para geração de energia elétrica na região de Cascavel**. 2003. 50 f. Dissertação (mestrado em Engenharia de Sistemas Agroindustriais) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel/PR, 2003.

GUERRA, M. I.S. **Análise do desempenho térmico de um sistema de aquecimento solar de baixo custo na cidade de Mossoró – RN**. 2012. 98 f. Monografia - Graduação em Engenharia de Energia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2012.

IEA. International Energy Agency. **Solar Heat Worldwide Markets and Contribution to the Energy Supply** 2011. Gleisdorf, Austria. Edition 2012.

JURADO, D. A. J. **Modelagem dinâmica de um sistema solar termossifão usando coletores atmosféricos de plástico**. Dissertação (Mestrado), UFU, Uberlândia - MG, 102 p., 2004.

LENZ, A. M.; **Uso da energia solar para aquecimento de água e microgeração de eletricidade visando a sustentabilidade energética de uma residência unifamiliar rural**. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2016. 91p.

MAXTEMPER, **Imagem coletor solar convencional vista explodida**. Disponível em: <http://www.maxtemper.com.br/produtos>. Acesso em 29 de set de 2016.

NASPOLINI, H. F.; MILITÃO, H. S. G.; RÜTER, R. **The role and benefits of solar water heating in the energy demands of low-income dwellings in Brazil**. Energy Conversion and Management, vol. 51, ed. 12, dez. 2010, p. 2835–2845.

NAZIAZENO, R. N. **Construção, calibração e análise de desempenho de um piranômetro de baixo custo, baseado no modelo kimball-hobbs**. 2009. 76 p.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Mecanica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

NBR 12269:1992. **Execução de instalações de sistemas de energia solar que utilizam coletores solares planos para aquecimento de água – Procedimento.**

NOVUS, **Imagem Datalogger.** Disponível em:
<http://www.novus.com.br/catalogos/?ID=917491>. Acesso em 20 de novembro de 2016.

PRADO, R.T.A. et al. **Levantamento do estado da arte: Energia solar. Projeto tecnologias para construção habitacional mais sustentável.** São Paulo Projeto FINEP 2386/04. 2007.

PROCEL. **Avaliação do mercado de eficiência energética do brasil.** Rio de Janeiro, 2014.

ROTOGINE, 2010. **Água: sabendo usar não vai faltar.** Disponível em:
http://www.rotogine.com.br/site/?page_id=205

SENTELHAS, PAULO CESAR;. **Energia em forma de radiação luminosa.** 2009. Disponível em: <http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/Aula5.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2015.

SENSE, **Sensores & instrumentos.** Rev- 09/2015. Disponível em:
http://www.sense.com.br/arquivos/produtos/arq13/Apostila_Temperatura_Rev_A.pdf. Acesso em: 03 de dez de 2016.

SINGH, Burgess (2007). **Measurement, Analysis, and Comparison of the Parcel Shipping Shock and Drop Environment of the United States Postal Service with Commercial Carriers.** Disponível em:
https://en.wikipedia.org/wiki/GPS_tracking_unit#Data_loggers. Acesso em: 02 de novembro de 2016.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. 5. Ed., São Paulo: Érica, 2008.