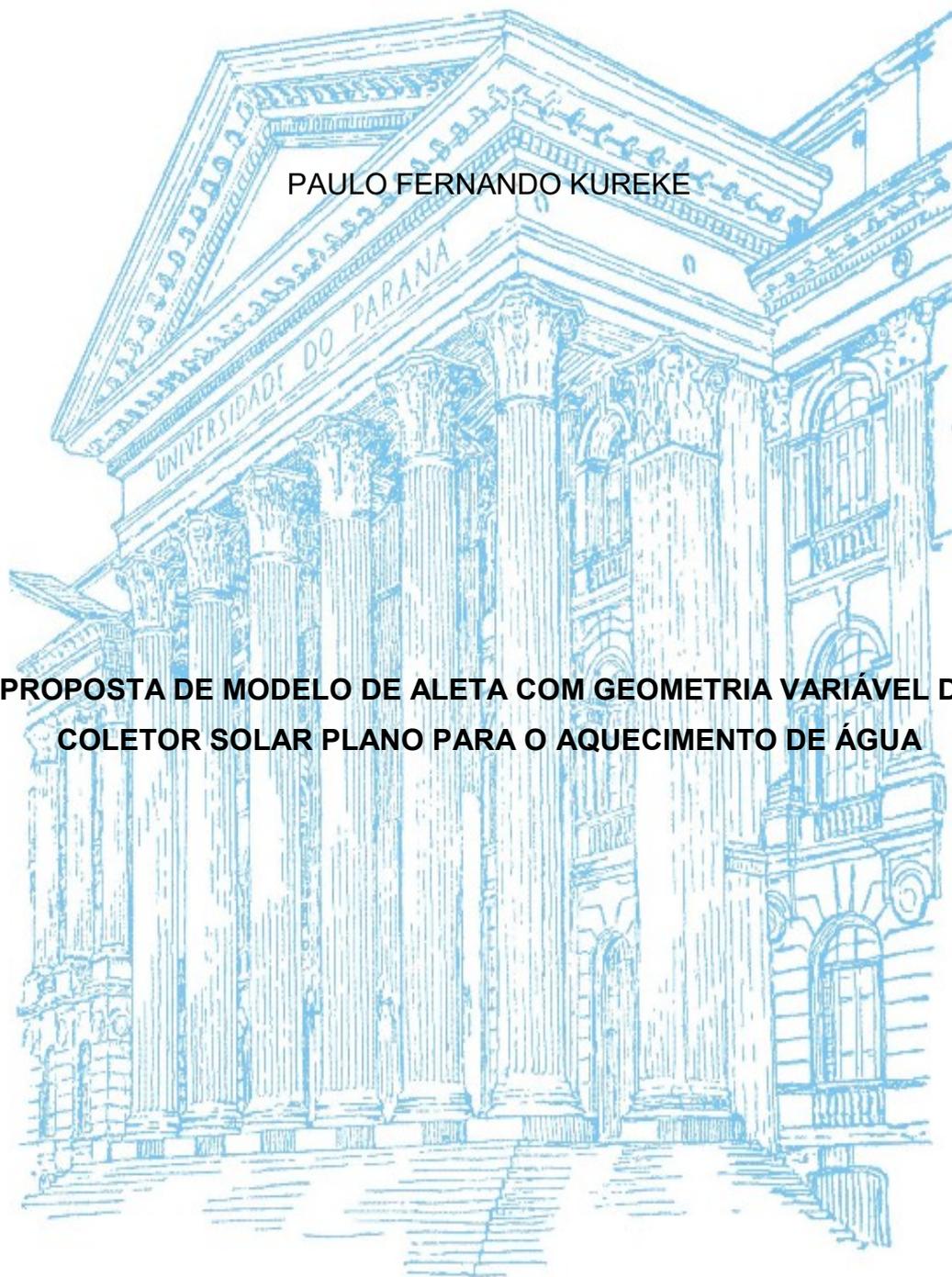


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PAULO FERNANDO KUREKE

**PROPOSTA DE MODELO DE ALETA COM GEOMETRIA VARIÁVEL DE  
COLETOR SOLAR PLANO PARA O AQUECIMENTO DE ÁGUA**



CURITIBA

2016

PAULO FERNANDO KUREKE

**PROPOSTA DE MODELO DE ALETA COM GEOMETRIA VARIÁVEL DE  
COLETOR SOLAR PLANO PARA O AQUECIMENTO DE ÁGUA**

Dissertação apresentada ao mestrado profissional em meio ambiente urbano industrial (PPGMAUI) da Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Social.

Orientador: Haroldo de Araújo Ponte  
Co-orientador: Prof. Dr. Álvaro Matias

CURITIBA

2016

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

PAULO FERNANDO KUREKE

PROPOSTA DE MODELO DE ALETA COM GEOMETRIA VARIÁVEL DE COLETOR  
SOLAR PLANO PARA O AQUECIMENTO DE ÁGUA

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de mestre no curso de pós-graduação em meio ambiente urbano industrial (PPGMAUI), Setor de Engenharia Química da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

### **COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Haroldo de Araújo Ponte  
Orientador - Universidade Federal do Paraná

---

Prof. Dra. Margarete L. Erbe  
Universidade Federal do Paraná

---

Prof. Dra. Mônica Beatriz Kolicheski  
Universidade Federal do Paraná

---

Prof. Dr. Carlos Itsuo Yamamoto  
Orientador - Universidade Federal do Paraná

## RESUMO

Em tempos que a demanda por abastecimento energético é uma das maiores preocupações em escala mundial, a criação e melhoria de tecnologias sustentáveis para esse fim são de fundamental importância para o enfrentamento dos desafios do novo milênio. Visando esse paradigma, este trabalho trata de uma proposta de melhoria de tecnologias de aproveitamento da energia solar, sendo essa uma das alternativas energéticas mais interessantes para países como o Brasil. Tendo como principal objetivo a apresentação de melhorias construtivas nos coletores solares de sistemas de aquecimento solar de água, proporcionando uma visão da energia solar como alternativa para o aquecimento da água, aumentando a viabilidade técnica de instalação e diminuindo dessa forma os custos de moradia para a população. Para aquisição de resultados concisos, foi realizado o projeto e execução de um coletor solar com aletas de geometria variável, baseado em um coletor solar plano comercial com um metro quadrado de área de captação solar, com as mesmas características deste, com exceção das aletas, objeto de estudo desse trabalho. Foi realizado o experimento de comparação da eficiência dos dois coletores nas mesmas condições atmosféricas, durante um período de 12 meses, resultando na coleta de dados da temperatura de ambos os coletores. As aletas do coletor confeccionado foram posicionadas para permitir que os raios solares atingissem suas superfícies na medida que o coletor se encontra entre  $5^\circ$  e  $45^\circ$  em relação ao solo, podendo dessa forma se ter permanecido no o ângulo ideal para captação do calor do sol indicado para a região de Curitiba apenas com o ajuste das aletas.

Palavras-chave: Energia Solar. Aquecimento. Coletor solar. Aletas. Captação solar.

## ABSTRACT

In times that demand for energy supplies is a major concern worldwide, the establishment and improvement of sustainable technologies for this purpose are of fundamental importance to face the challenges of the new millennium. Given this paradigm, this document is a proposal for improving the utilization of solar energy technologies, which is one of the most interesting energy alternatives for countries like Brazil, where good insolation rates anywhere in the territory. This study aims to present improvements in solar collector systems, providing a vision of solar energy as an alternative for heating the water, thereby reducing the housing costs for the population. For the acquisition of accurate results, it was made a vast preliminary study based on existing data, and the acquisition of a commercial solar collector with 1m<sup>2</sup> area and making another with the same characteristics as the first, except for the fins, study objects this work. The experiment was conducted over a period of approximately 12 months, resulting in the collection of temperature data of both collectors. The fins made collector has been positioned in a way to allow the sunrays from reaching their surfaces to the extent that the collector lies between 5 and 45 ° with respect to the ground, and may thus achieve the optimal angle for captor the sunshine indicated to the area only with the adjustment of the vanes.

Keywords: Solar Energy. technology construction. Heating. solar collector. flippers. Energy matrix.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA (TERMOSSIFÃO).....	17
FIGURA 02 - TIPOS DE COLETORES SOLARES .....	18
FIGURA 03 - COLETOR SOLAR PLANO FECHADO.....	19
FIGURA 04 - COLETOR SOLAR DE TUBOS À VÁCUO.....	20
FIGURA 5 - MODELO DE FLAUTA OU SERPENTINA DE COLETOR SOLAR PLANO.....	21
FIGURA 06 - DIAGRAMA DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA – DIAGRAMA DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA .....	23
FIGURA 07 - SISTEMA TERMOSSIFÃO.....	23
FIGURA 08 - SISTEMA BOMBEADO. ....	24
FIGURA 9 – DETALHE DA ALETA COMERCIAL.....	27
FIGURA 11 - TRAJETÓRIA ANUAL DO SOL .....	29
FIGURA 12 - COLETOR SOLAR PLANO FECHADO COM RESERVATÓRIO DE ÁGUA.....	31
FIGURA 13 - INSTALAÇÃO SOLAR TÉRMICA EM TELHADO NA CIDADE DE FRANKFURT (ALEMANHA).....	32
FIGURA 15 - IMAGEM DE SATÉLITE DA ÁREA DE ESTUDO.....	35
FIGURA 16 - LOCALIZAÇÃO DE CADA COLETOR SOLAR DO EXPERIMENTO .....	36
FIGURA 17 - ALETA DE GEOMETRIA VARIÁVEL .....	38
FIGURA 18 - TUBULAÇÃO DA SERPENTINA INSTALADA NA ALETA DE GEOMETRIA VARIÁVEL COM O ÂNGULO PLANO E NA ALETA DO COLETOR COMERCIAL PLANO.....	39
FIGURA 19 - DETALHE DA CONEXÃO DO TUBO DA SERPENTINA NA ALETA DE GEOMETRIA VARIÁVEL.....	40

FIGURA 20 - VISTA SUPERIOR DO COLETOR SOLAR COM ALETA DE GEOMETRIA VARIÁVEL .....	41
FIGURA 21 - EXEMPLO DE POSSIBILIDADES DE INSTALAÇÃO DO COLETOR SOLAR PROPOSTO. ....	42
FIGURA 22 - EXEMPLO GRÁFICO DOS ÂNGULOS 5° E 35° DE INSTALAÇÃO DO COLETOR SOLAR PROPOSTO PARA O EXPERIMENTO .....	43
FIGURA 23 - COLETOR SOLAR PLANO COMERCIAL (T1) INSTALADO NO LOCAL DO EXPERIMENTO .....	44
FIGURA 24 - DETALHE DA LOCALIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO DO TERMOPAR NOS RESERVATÓRIOS .....	46
FIGURA 25 - DETALHE DA LOCALIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO DO TERMOPAR NOS RESERVATÓRIOS .....	46
FIGURA 26 - TELA DO PROGRAMA <i>TEMP MONITOR</i> .....	47
FIGURA 27 - GRÁFICO DA RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA MÉDIA DE CURITIBA – PR .....	49
FIGURA 28 - GRÁFICO DO RESULTADO DO EXPERIMENTO ENTRE T2 E T1 NO PERÍODO DE INVERNO .....	52
FIGURA 29 - GRÁFICO DO RESULTADO DO EXPERIMENTO ENTRE T2 E T1 NO PERÍODO DE OUTONO .....	53
FIGURA 30 - GRÁFICO DO RESULTADO DO EXPERIMENTO ENTRE T2 E T1 NO PERÍODO DE PRIMAVERA .....	54
FIGURA 31 - GRÁFICO DO RESULTADO DO EXPERIMENTO ENTRE T2 E T1 NO PERÍODO DE VERÃO .....	55
FIGURA 32 – CAPTAÇÃO DE RAIOS SOLARES NAS ALETAS PROPOSTAS NOS PERÍODOS DE MAIOR EFICIÊNCIA.....	56
FIGURA 33 - VISTA SUPERIOR DE COLETOR SOLAR PROPOSTO INSTALADO EM TELHADO COM ÂNGULO DE DECLIVIDADE MENOR QUE 5 .....	57

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - COMPARAÇÃO DOS COLETORES SOLARES COMERCIAIS .....	37
QUADRO 2 - LISTA DE MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO DO COLETOR SOLAR PROPOSTO.....	42
QUADRO 3 - CONSUMO DE ENERGIA POR UNIDADE .....	50
QUADRO 4 - MÉDIA DA DIFERENÇA ABSOLUTA DA TEMPERATURA ENTRE T1 E T2 EM °C .....	57
QUADRO 5 - DISCRIMINAÇÃO DOS MATERIAIS E SEUS RESPECTIVOS CUSTOS NO VAREJO.....	58
QUADRO 6 - RESULTADOS DO EXPERIMENTO .....	67

## LISTA DE SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento.
- ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial
- CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais
- UNEP – United Nations Environment Program
- NBR – Norma Brasileira
- ONU – Organização das Nações Unidas.
- PUCRS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.
- SAS – Sistema de Aquecimento Solar.
- MME – Ministério de Minas e Energia

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
3.1	POTENCIAL solar ENERGÉTICO BRASILEIRO.....	14
3.2	Histórico construtivo do sistema de aquecimento solar de Água.....	16
3.3	SISTEMA SOLAR DE AQUECIMENTO DE ÁGUA .....	17
3.3.1	Coletor Solar.....	18
3.3.2	Flautas ou Serpentina.....	21
3.3.3	Reservatório térmico.....	22
3.3.4	Sistemas de circulação para água quente .....	23
3.3.5	Sistema de distribuição de calor .....	25
3.3.6	Os mecanismos de transferência de calor entre a aletas até a água .....	26
3.4	Estudos realizados para aperfeiçoamento de placas absorvedoras e aletas de coletores solares .....	28
3.5	Requisitos para correta instalação de um sistema de coletor solar.....	29
3.6	Influência dos parâmetros de projeto na eficiência das aletas e coletores .....	31
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>34</b>
4.1	Projeto e construção do coletor solar de aletas de geometria variavel para o experimento.....	34
4.1.1	Localização do experimento .....	35
4.1.2	Características técnicas dos coletores solares comerciais.....	36
4.1.3	Detalhamento do projeto das aletas propostas .....	38
4.1.4	Dimensionamento e construção dos reservatórios térmicos .....	45
4.2	coleta de dados do experimento.....	45
4.2.1	Apresentação dos dados do experimento .....	48
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>49</b>
5.1	Potencial solar energético .....	49

5.2	Levantamento de consumo energético para dimensionamento de um Sistema de aquecimento solar de água.....	50
5.3	Resultados dos experimentos .....	51
5.4	ANÁLISE DE CUSTO .....	58
5.5	VANTAGENS DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR COM ALETAS DE GEOMETRIA VARIÁVEL .....	59
5.6	Sugestões para Trabalhos Futuros.....	61
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>60</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>62</b>
	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Uma das formas de geração de energia é a captação direta dos raios solares, sendo essa difundida entre vários países. Esta fonte de aquecimento, além de causar menor dano ambiental, permite sua utilização em pequena escala e ainda pode ser instalada próxima ao ponto de consumo, de forma distribuída, minimizando perdas por transmissão da geração de energia centralizada (KREZNINGER, 2014, SALAMONI, 2003).

O território brasileiro, devido às suas proporções continentais e localização tropical, possui um dos maiores potenciais do mundo para a utilização da energia solar como forma alternativa de energia. Considerando dados solarimétricos do Brasil, há regiões que proporcionam 65% de economia em energia elétrica, sendo que, em regiões mais quentes, pode-se atingir até 80% de economia anual em energia elétrica, a qual era gasta para a geração de água quente (CEMIG, 2009).

Nos sistemas de aquecimento de água, o coletor mais utilizado é o de placa plana, constituído por uma caixa isolada com superfície superior de vidro que possui no seu interior uma placa absorvedora, responsável pela absorção dos raios solares, ligada a tubos de cobre, por onde a água escoar. O calor absorvido pela placa é transmitido para a água por condução e convecção, aquecendo-a.

Buscando ampliar o uso de energia solar, principalmente pela população, foram desenvolvidos novos estudos com o objetivo de utilizar da melhor forma possível a energia emitida pelo Sol. Neste trabalho foram propostas melhorias nas aletas de coletores solares planos existentes no mercado nacional, limitados a geometria das aletas, objetivando o aumento de eficiência, redução de custo, e consequente aceitação por parte do consumidor. Para a avaliação da proposta de melhoria foi realizado um experimento de comparação de dois coletores solares, um com a melhoria proposta e outro comercial, durante 12 meses.

Pode-se dizer que a implantação de um sistema que utilize energias de fontes renováveis, no caso, a energia solar, certamente afetaria positivamente a vida de milhões de brasileiros. Segundo dados da CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) de 2006, os brasileiros gastam em média 10% de sua renda mensal em serviços de energia elétrica e, deste percentual, 40% são destinados ao aquecimento da água.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Esse trabalho teve como objetivo geral avaliar o ganho de eficiência de um novo projeto de coletor solar, na absorção de calor para o aquecimento de água com a utilização de placa absorvedora com aletas de geometria variável.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A presente dissertação tem por objetivos específicos:

- a) Calcular o potencial solar energético da região de instalação dos coletores solares avaliados;
- b) Calcular o consumo de energia elétrica em uma unidade habitacional;
- c) Projetar um coletor solar plano com aletas de geometria variável;
- d) Comparar o desempenho de um coletor solar plano comercial com o desempenho de coletor com as aletas propostas nas mesmas condições e apontar as vantagens e oportunidades.
- e) Comparar os custos da fabricação do coletor proposto com o custo de um coletor comercial.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 POTENCIAL SOLAR ENERGÉTICO BRASILEIRO

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2014), o sistema de produção e distribuição de energia elétrica no Brasil é bastante complexo e interligado, com uma capacidade instalada de geração em torno de 133,9 GW, sendo cerca de 65,2% de base hidráulica, e 30,3% de base térmica. A necessidade da substituição das fontes não renováveis por fontes renováveis é um assunto que tem motivado o investimento em programas de eficiência energética (MME, 2014, PINHEIRO *et. al*, 2001).

A oferta interna de energia em 2014, atingiu o valor de 305,6 milhões de toneladas equivalentes de petróleo, 3,1% superior ao de 2013 (4,5% em 2013) e equivalente a 2,2% da energia mundial. Porém observou-se que a oferta de energias renováveis recuou 1% no mesmo período devido ao aumento do uso de gás natural em termoelétricas (MME, 2014).

As necessidades de energia elétrica advindas da sociedade moderna e os altos custos provenientes do não suprimento desta energia colocam as concessionárias diante da opção de aumentar a oferta mediante a construção de novas fontes de geração e as obras de transmissão e distribuição correspondentes. Com relação à geração de energia elétrica convencional, há certa centralização e distanciamento entre o polo gerador e o ponto de consumo, fazendo dessa forma com que o sistema gere perdas na distribuição, aumentando os custos da produção da energia e inundando extensas áreas (MME, 2014, PINHEIRO *et. al*, 2001).

No tocante da utilização da base hidráulica para geração de energia elétrica, destaca-se que somente 23% do potencial hidrelétrico brasileiro é aproveitado, tendo sua maior capacidade na região amazônica, onde a inundação de enormes áreas para a construção de reservatórios das hidrelétricas poderia trazer como resultado uma catástrofe ambiental (PINHO *et.al*, 2001, ANEEL, 2015).

Segundo Salamoni *et al.* (2004), experiências dos Estados Unidos e de outros países desenvolvidos têm demonstrado grande eficácia na prevenção da poluição com a diminuição de materiais utilizados na manufatura e utilização de

tecnologias mais limpas e eficientes em sua produção, tornando as mercadorias mais duráveis. Essas ações trazem grandes benefícios a longo prazo, tanto na relação custo benefício, como também para o próprio meio ambiente, se comparado com tecnologias tradicionais.

Aliado a estes fatores, surge cada vez mais a necessidade da utilização de fontes renováveis de energia, de forma não poluente e sustentável. Os sistemas de aquecimento solares instalados em edificações cumprem importante papel na redução do gasto e energia, reduzindo o impacto ambiental causado pela utilização de áreas para a implementação de obras de geração de energia (FREITAS, *et al.*, 2013).

Para a utilização mais otimizada e eficiente do sistema de aquecimento solar, deve-se entender a dinâmica da irradiação solar na terra e os benefícios que essa fonte renovável pode trazer para a geração de energia elétrica. A conversão direta da irradiação do Sol em energia térmica tem um número significativo de vantagens sobrepondo as desvantagens. Além de se tratar de uma fonte renovável e abundante de energia, o sistema é silencioso, estático e sem poluentes, que converte diretamente a energia do sol em energia térmica.

O aprimoramento dos sistemas já existentes também deve ser levado em consideração, devido a constante busca por geração de energia com baixo custo. Com isso, busca-se a otimização do sistema de aquecimento solar, transformando em uma unidade compacta que tenha a mesma capacidade de absorção de calor com menor utilização de matéria prima (MOURA E OLIVEIRA, 2015).

### 3.2 HISTÓRICO CONSTRUTIVO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA

O cientista suíço Horace de Saussure fez os primeiros experimentos com a energia solar em 1767. O experimento baseava-se em uma caixa d'água revestida com um isolante térmico, aquecida diretamente pelo sol. Mais de um século depois, o engenheiro norte americano Clarence Kemp (1891) criou um aquecedor solar feito de placas de cobre, madeira e vidro, porém este perdia muito calor durante a noite, mas mesmo assim Kemp patenteou a ideia, que se tornou o primeiro projeto de aquecedor solar patentado no mundo. Já o também norte americano William Balley em 1909 avançou nos estudos e experimentos e projetou o modelo de aquecedor solar que ainda hoje é utilizado no mundo (RÍSPOLI, 2007).

Notadamente, assim como a maioria dos equipamento e mecanismos, com o passar dos anos e com a evolução dos materiais e dos processos construtivos os coletores solares são aperfeiçoados, tanto na redução da quantidade dos materiais e redução de custos quanto no aumento de sua eficiência.

No Brasil, em meados dos anos 70 (século XX), com a crise do petróleo, começaram a surgir os primeiros sistemas de aquecimento solar. A grande maioria eram projetos caseiros com pouca eficiência e construídos com materiais de baixa eficiência térmica, tanto para a absorção do calor quanto para o isolamento térmico. Uma década depois, com a crescente exigência de mercado, houve um aumento desta demanda, surgindo então os primeiros coletores solares comerciais devidamente padronizados tecnicamente (ABRAVA, 2013; KOMECO, 2015)

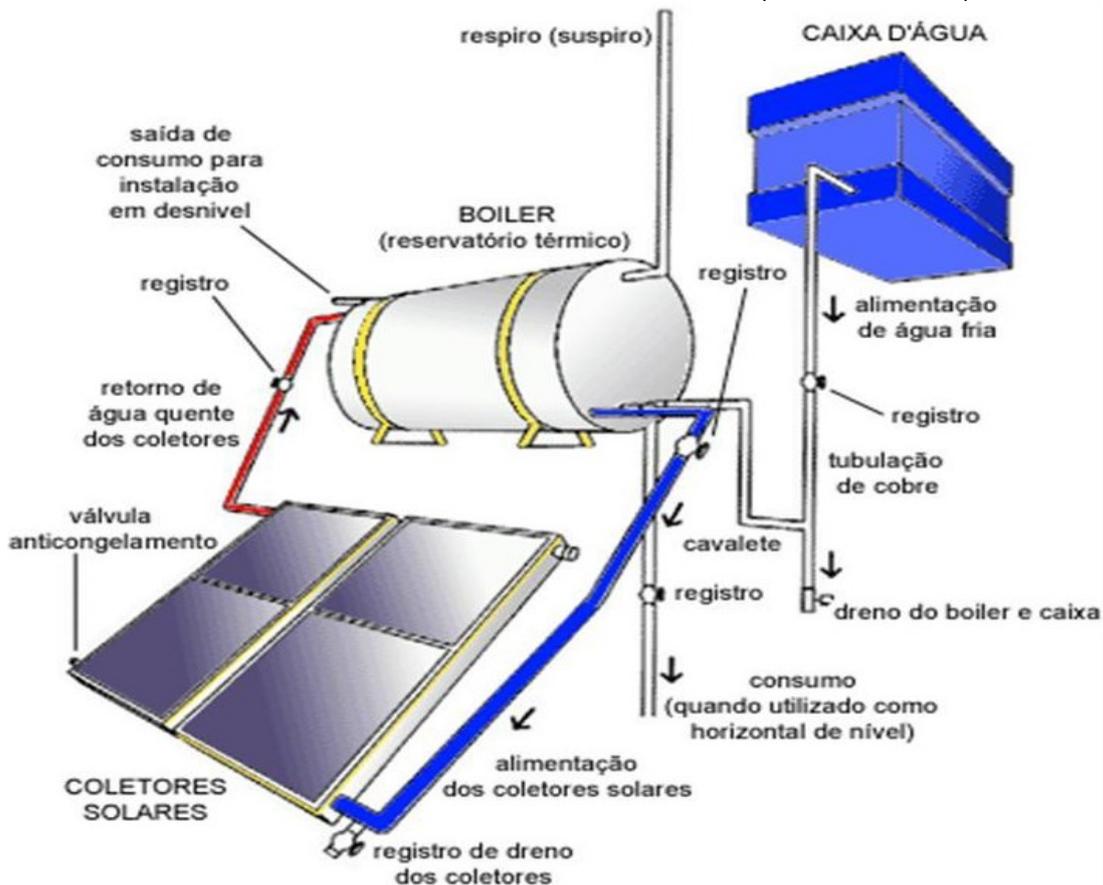
Segundo a ABRAVA (Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento), em 2009 o Brasil possuía uma área acumulada de 5,27 milhões de metros quadrados de coletores solares instalados, e em 2013 chegou ao 5ª país no âmbito de número de coletores solares instalados, com a marca de 9,6 milhões de metros quadrados. Por fim, em 2014 obteve-se o crescimento de 4,5% em relação ao ano anterior, com a produção de 1,44 milhão de metros quadrados de coletores solares, acumulando uma área de 11,24 milhões de metros quadrados de coletores solares instalados. (ABRAVA, 2015).

### 3.3 SISTEMA SOLAR DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

De acordo com Arruda (2004), os sistemas de aquecimento de água são compostos por coletores de energia solar, trocadores de calor, reservatórios de água quente, equipamentos auxiliares de aquecimento e sistema de distribuição de água quente, sendo a água utilizada no abastecimento aquecida diretamente ou de forma indireta através de um fluido refrigerante. Este fluido, quando aquecido no coletor solar, transfere este calor à água de abastecimento.

Segundo o mesmo autor, uma das razões para a utilização do sistema indireto seria a proteção contra o congelamento, porém esse sistema conta com menor rendimento. Já para o sistema direto, tem-se a variabilidade da posição do reservatório com relação aos coletores, podendo se encontrar até mesmo em nível inferior a estes. Ainda, no sistema direto de aquecimento, há possibilidade de seu emprego quando há grande número de coletores. A Figura 1, apresenta um sistema de aquecimento solar da água (ARRUDA,2004).

FIGURA 1 - SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA (TERMOSSIFÃO)



FONTE: ADAPTADO DE ABRVA, 2008.

### 3.3.1 Coletor Solar

O coletor solar é o equipamento destinado a absorver a radiação solar e aquecer a água que circula em seu interior. Há uma grande variedade de modelos de coletores solares no mercado, sendo três deles (fechados planos, abertos planos e tubos de vácuo) apresentados na FIGURA 02 e explicados detalhadamente a seguir (ABRAVA, 2008; CRESESB, 2015).

FIGURA 02 - TIPOS DE COLETORES SOLARES

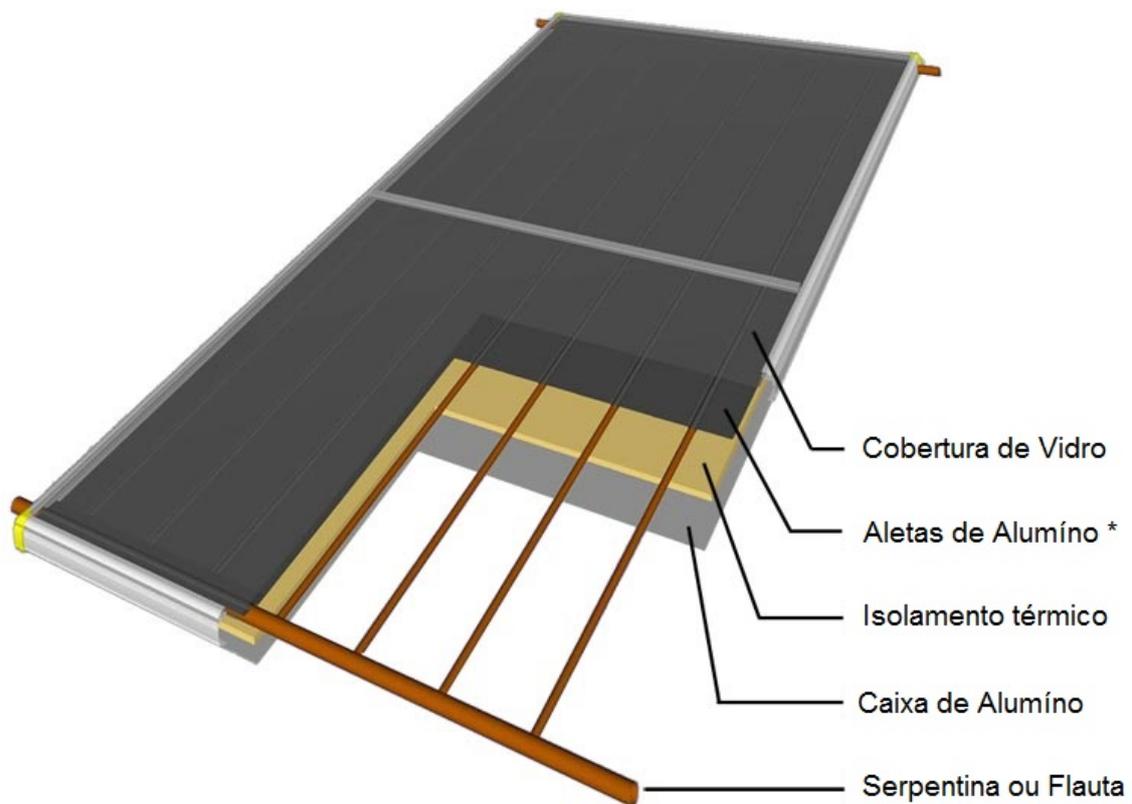


FONTE: CENTRO BRASILEIRO PARA DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA, PUCRS (2009).

A seleção dos coletores solares para uma instalação está diretamente relacionada à temperatura e aplicação da água a ser aquecida. Os coletores abertos são mais utilizados para o aquecimento de piscinas, por serem mais simples e de um custo inferior, os fechados planos para fins sanitários, isto é, para aquecimento de água para o banho em residências. Já os tubos de vácuo, ainda pouco utilizados no Brasil, trabalham com maior eficiência quando as temperaturas são mais elevadas, como no aquecimento de água para processos industriais (ABRAVA, 2008; CRESESB, 2012).

Os coletores mais comercializados na maioria dos países são os coletores fechados planos, sendo capazes de atingir temperaturas superiores a 60° C. O coletor solar plano fechado é de simples fabricação, como mostra a FIGURA 03, sendo constituído por caixa externa, isolamento térmico, flauta ou serpentina (tubos de cobre ou alumínio), placa absorvedora (aletas pintadas de negro), cobertura transparente e vedação. A cobertura transparente mais utilizada é o vidro. (ABRAVA, 2008; CRESESB, 2012).

FIGURA 03 - COLETOR SOLAR PLANO FECHADO



FONTE: ADAPTADO DE ABRAVA (2008)  
\* ALETAS SÃO DE ALUMINIO OU COBRE

Os coletores solares planos abertos operam a baixa temperatura, entre 28 e 30° C. Esse sistema não conta com cobertura transparente e tampouco com isolamento térmico, como mostra a FIGURA 4. O corpo externo desse coletor é feito de materiais termoplásticos, polipropileno, EPDM ou borrachas especiais (PEREIRA *et al.*, 2003; ABRAVA, 2008).

FIGURA 04 - COLETOR SOLAR PLANO



FONTE: CENTRO BRASILEIRO PARA DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA, PUCRS (2009).

Já os coletores de tubos à vácuo tem grande utilização na China, utilizam vácuo em seu interior para reduzir as perdas térmicas e aumentar a temperatura final da água. Sua composição é de tubos com pequenas aletas absorvedoras (

FIGURA 04), permitindo que os raios solares incidam perpendicularmente em suas superfícies durante o dia todo (BAPTISTA, 2006).

FIGURA 04 - COLETOR SOLAR DE TUBOS À VÁCUO



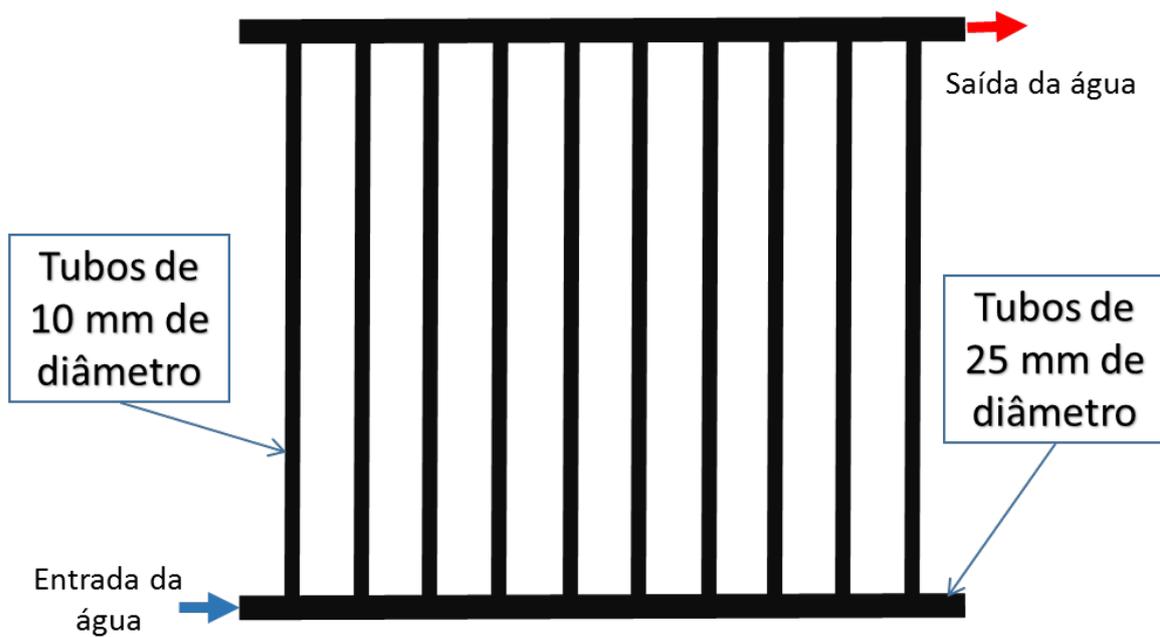
FONTE: NÚCLEO EM TECNOLOGIA EM ENERGIA SOLAR – PUC-RS

### 3.3.2 Flautas ou Serpentina

As tubulações como apresentadas na FIGURA 5 por onde a água circula no coletor (flauta ou serpentina) são feitas de cobre ou alumínio, devido às características destes materiais de suportarem altas temperaturas sem perder suas propriedades físicas e mecânicas. Outro motivo para a utilização destes materiais é a sua condutividade térmica que é de  $398 \text{ Wm}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}$  e  $265 \text{ Wm}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente. Já os materiais adequados para o isolamento do coletor solar devem ter uma baixa condutividade térmica, por exemplo, a espuma de poliuretano expandido, que apresenta uma condutividade térmica de  $0,030 \text{ Wm}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}$  (BENTIVENHA, 2005).

As vantagens térmicas pressupõem que placas mais finas destes materiais podem recolher o mesmo calor que placas mais grossas de outros metais, fazendo com que os tubos do coletor possam ser mais espaçados, o que diminui o peso do coletor instalado sobre o telhado, bem como o uso de matérias primas para a fabricação do coletor (ABRAVA, 2008; CRESESB, 2012).

FIGURA 5 - MODELO DE FLAUTA OU SERPENTINA DE COLETOR SOLAR PLANO



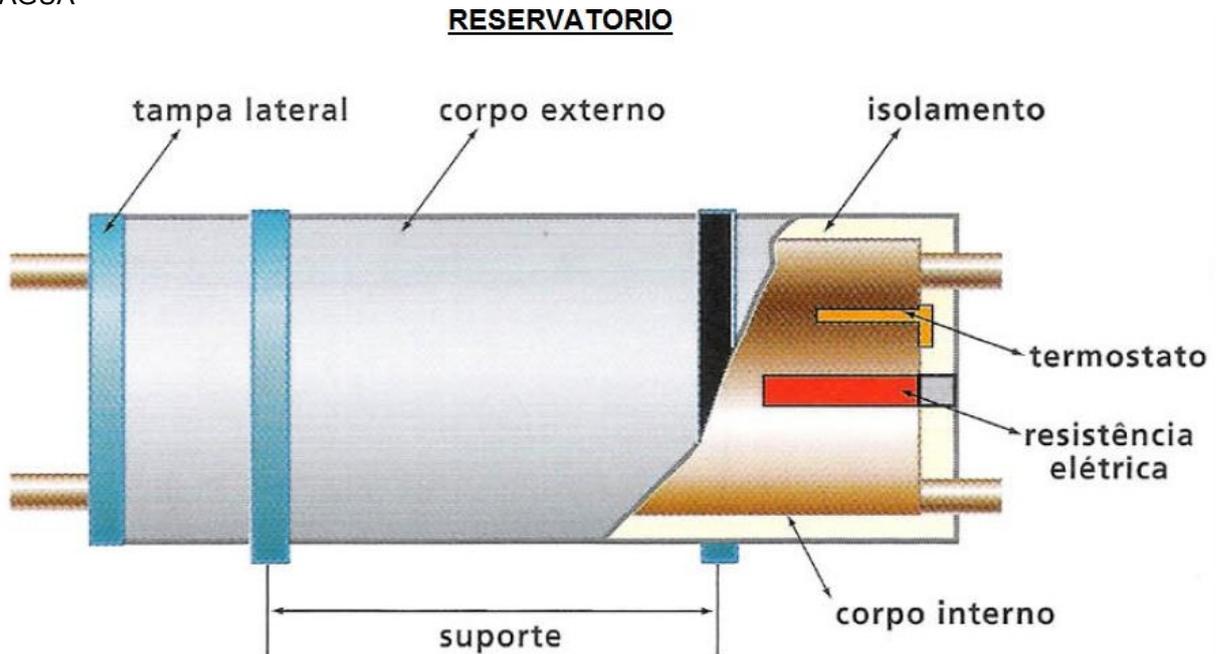
FONTE: O AUTOR (2016)

### 3.3.3 Reservatório térmico

O reservatório térmico, também chamado de “Boiler”, tem a função de armazenar e manter a água aquecida. Seu volume deve atender a demanda diária de água quente da edificação. O armazenamento é necessário pois o horário de uso da água quente, principalmente em residências, acontece no início da manhã ou no final do dia, assim sendo, o sistema aquece a água durante o dia e acumula volume suficiente para suprir os consumos da noite e do início da manhã, quando ainda não há sol disponível. O reservatório térmico pode ser classificado também quanto ao seu modo construtivo, horizontal ou vertical, e quanto à pressão de operação, baixa ou alta pressão (ABRAVA, 2008; MENDES, 2010; CRESESB, 2012).

O reservatório térmico tem seu diagrama de construção apresentado na Figura 06, sendo constituído por corpo externo, isolamento térmico, corpo interno e tubulações, podendo apresentar em seu interior, quando necessário, um sistema de aquecimento auxiliar (resistência elétrica e termostato) e de proteção contra corrosão (ânodos de sacrifício) (ABRAVA, 2008; CRESESB, 2012).

FIGURA 06 - DIAGRAMA DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA – DIAGRAMA DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA



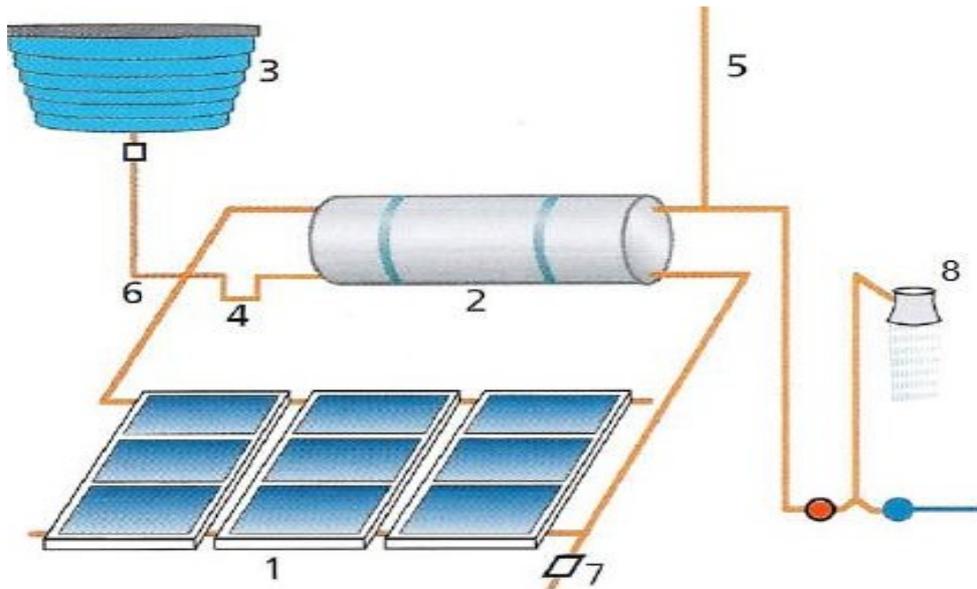
FONTE: ABRAVA (2008).

### 3.3.4 Sistemas de circulação para água quente

Segundo Roaf (2009) e Creder (1994), quanto à circulação da água, um sistema de aquecimento solar pode ser classificado de duas formas: termossifão ou circulação natural, e bombeado ou circulação forçada.

Termossifão ou circulação natural é um sistema em que a água circula entre os coletores e o reservatório térmico somente pela força criada pelas diferenças de temperatura da água no circuito. A água quando aquecida fica menos densa e é empurrada pela água mais fria, com maior densidade. Este tipo de sistema é auto-regulado e quanto maiores os níveis de radiação solar, mais rápido a água circula através dos coletores solares. Esse tipo de sistema é recomendado para instalações de pequeno porte, com volume de armazenamento de até 1000 litros de água, sendo apresentado na Figura 07 (ABRAVA, 2008; MENDES, 2010).

FIGURA 07 - SISTEMA TERMOSSIFÃO.



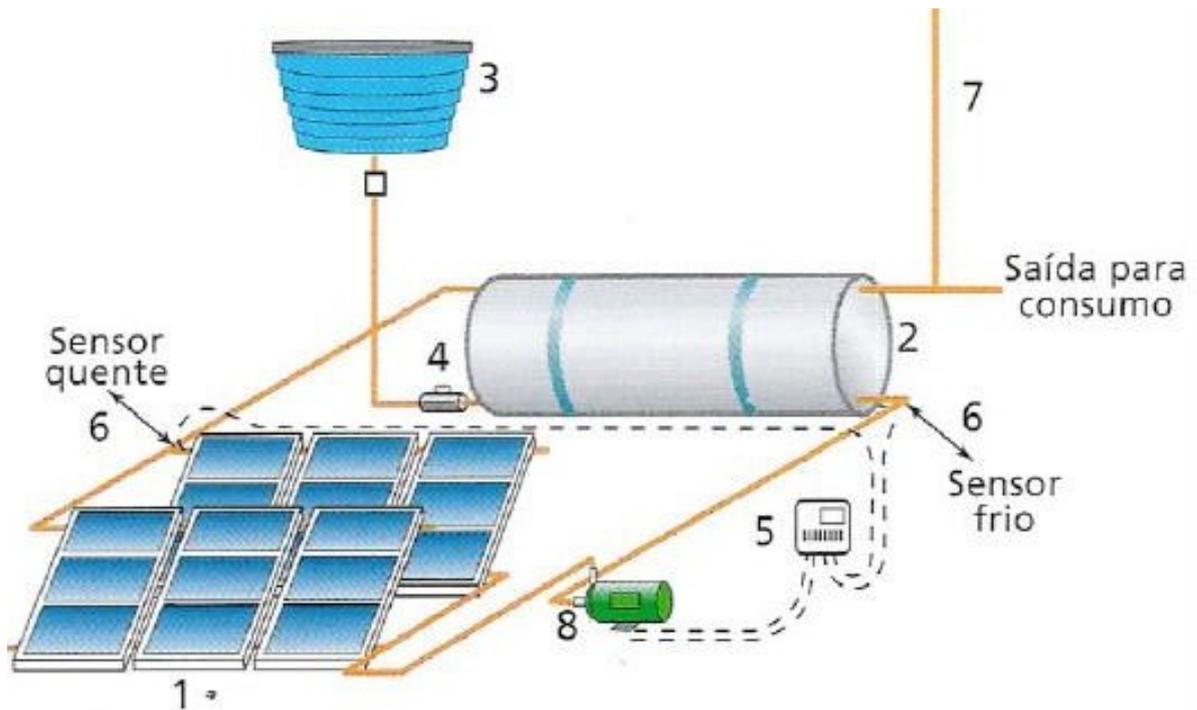
**Termossifão ou circulação natural:**

- 1- Coletores solares;
- 2- Reservatório térmico;
- 3- Caixa de água fria;
- 4- Sifão;
- 5- Respiro;
- 6- Alimentação de água fria com trecho de tubulação resistente a água quente;
- 7- Dreno;
- 8- Chuveiro, torneiras, etc.

FONTE: ABRAVA 2008.

Já o sistema chamado de bombeado ou circulação forçada é um sistema no qual a água circula entre os coletores solares e o reservatório térmico pela força gerada por uma bomba hidráulica, acionada sempre que o controlador diferencial de temperatura detectar energia suficiente a ser captada do Sol nos coletores. Esse tipo de sistema é recomendado para instalações de grande porte com volumes de armazenamento acima de 1000 litros de água, sendo apresentado na Figura 08 (ABRAVA, 2008; MENDES, 2010; CRESESB, 2012).

FIGURA 08 - SISTEMA BOMBEADO.



### Bombeado ou circulação forçada:

- 1- Coletores solares;
- 2- Reservatório térmico;
- 3- Caixa de água fria;
- 4- Válvula de retenção;
- 5- Controlador diferencial de temperatura;
- 6- Sensores de temperatura;
- 7- Respiro (ou válvulas de alívio de pressão);
- 8- Bomba hidráulica.

FONTE: ABRAVA 2008.

### 3.3.5 Sistema de distribuição de calor

O sistema de distribuição de calor é um sistema de tubulações no qual a água quente circula do coletor para o reservatório ou para o ponto de uso. A água pode ser movida pelo sistema de duas maneiras: por gravidade (termossifonamento)

ou por circulação forçada (bombeamento). O sistema de distribuição de calor pode ser direto ou indireto.

Segundo Roaf (2009), sistema direto é aquele em que a água circula diretamente pelas tubulações através do coletor solar. Vale ressaltar também que em lugares quentes e ensolarados esse tipo de sistema permite um método barato e simples, simplesmente pintando o tanque metálico com uma cor escura para que ele absorva radiação solar durante o dia para posterior uso noturno.

Ainda de acordo com Roaf (2009), sistema indireto é aquele que utiliza um circuito de fluido separado para a realização da transferência do calor dos coletores ao reservatório térmico. Esse tipo de sistema geralmente tem um custo inicial de aquisição mais alto, porém possui menor risco de corrosão e ruptura.

### 3.3.6 Mecanismos de transferência de calor entre a aletas até a água

Segundo Welty *et. al* (2008), o calor pode se transferir de um lugar para outro de três formas: condução, convecção e radiação.

A condução é a transferência de energia térmica em forma de calor entre as substâncias ou materiais que estão em contato direto umas com as outras. Quanto melhor for o condutor, mais rapidamente o calor será transferido. A condução ocorre quando um material ou substância é aquecido, e por meio da agitação molecular, o calor é transferido de uma extremidade (quente) para a outra extremidade (fria) do material ou substância. (HALLIDAY, D.; WALKER, J.; RESNICK, R., 2012).

A convecção ocorre quando zonas mais quentes de uma substância se transferem para áreas mais frias da mesma. Por exemplo o ar atmosférico onde o ar quente tem naturalmente a tendência de subir, resultando em um padrão de circulação contínuo, isto é, o ar quente sobe e se move para camadas mais altas, empurrando o ar mais frio para baixo (HALLIDAY, D.; WALKER, J.; RESNICK, R., 2012).

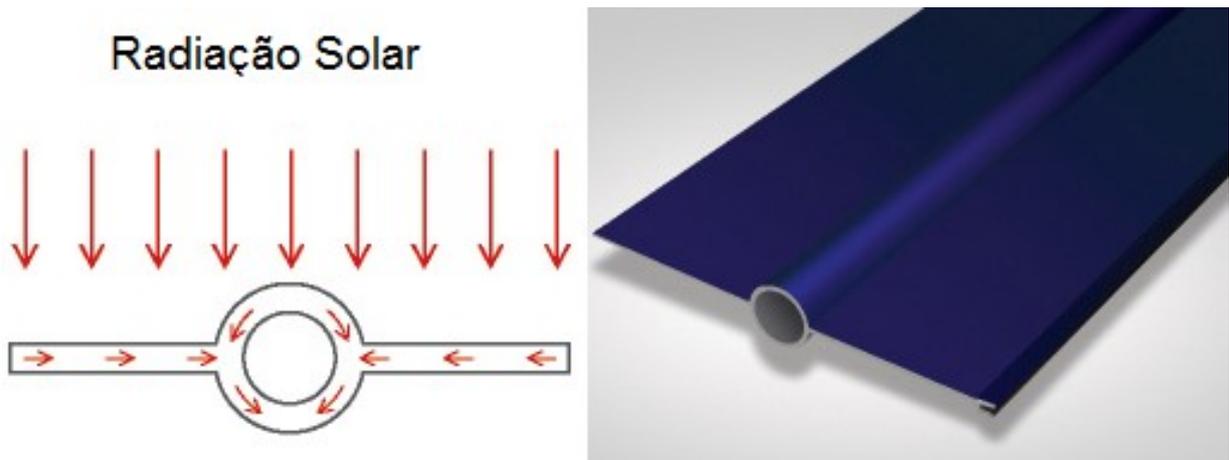
A radiação é um método de transferência de calor que não necessita de contato entre a fonte de calor e do objeto a ser aquecido,. O calor pode ser transmitido no espaço vazio por radiação térmica, muitas vezes chamado de radiação infravermelha. Este é um tipo de radiação eletromagnética. Nenhuma

massa é trocada e não é necessário nenhum meio físico no processo de radiação. Um exemplo de radiação é o calor do sol, ou calor liberado a partir do filamento de uma lâmpada (HALLIDAY, WALKER, RESNICK, 2012).

A

ilustra o efeito da radiação solar e a transferência de calor em uma aleta de um coletor solar comercial pintada na cor preta.

FIGURA 9 – DETALHE DA ALETA COMERCIAL



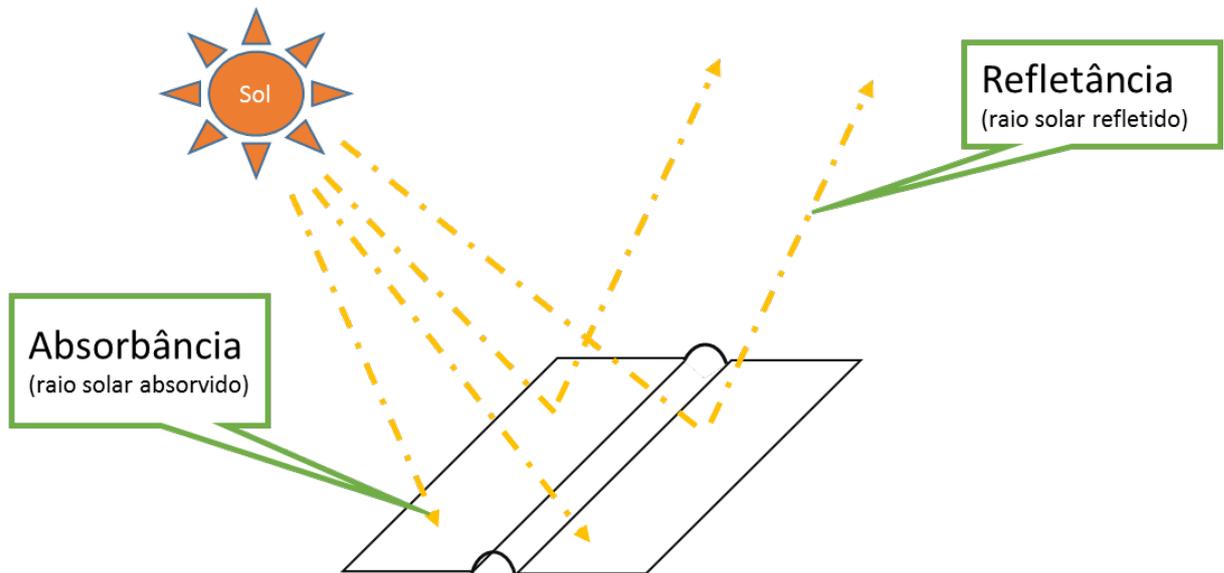
FONTE: ADAPTADO DE TEKHOUSE, 2016

Segundo Gallo (1985) a absorvância é a fração da energia luminosa que é absorvida pela área de um material, sendo medida em porcentagem em relação a energia solar total recebida, o restante da energia é emitida.

Já a refletância é a relação da fração da energia luminosa que ao atingir um material, não é absorvida pelo mesmo sendo emitida novamente para atmosfera. As duas são correlatas e somadas resultam no total de energia solar recebida.

Os metais tem diversas relações de absorvância e refletância, porem nenhum consegue absorver toda a energia luminosa. A FIGURA 10 exemplifica a relação de absorvância e refletância onde uma grande parte dos raios solares são refletidos por uma aleta de coletor solar.

FIGURA 10 – ABSORBANCIA E REFLETANCIA EM ALETA DE COLETOR SOLAR COMERCIAL



FONTE: O AUTOR, 2016

Estes conceitos são amplamente avaliados nos projetos e determinam a escolha dos materiais para confecção dos coletores solares planos, usualmente empregados nos sistemas de aquecimento solar de água, principalmente no que se refere a maximização da eficiência da absorção de energia térmica, na transferência de calor para água, assim como o isolamento de cada componente do sistema de aquecimento solar para o meio exterior, a fim de minimizar as perdas de calor do mesmo.

### 3.4 ESTUDOS REALIZADOS PARA APERFEIÇOAMENTO DE PLACAS ABSORVEDORAS E ALETAS DE COLETORES SOLARES

Um estudo realizado por BEVILL E BRANDT (1968) descreve um coletor de energia solar para aquecimento de ar onde a energia solar é recolhida em uma placa absorvedora composta por 96 aletas paralelas de alumínio que são espaçadas a 0,63 cm de distância, com 61 cm de comprimento e 35 cm de altura. A placa absorvedora foi instalada em uma caixa coberta de vidro onde o ar foi bombeado passando pelas as aletas de alumínio para o seu aquecimento. O objetivo do estudo foi determinar a eficiência deste coletor. A partir dos dados de uma medição da energia solar recebida pelo coletor, a eficiência foi calculada. Segundo o mesmo

autor os resultados indicaram uma eficiência de mais de 80 % podiam ser obtidas com um absorvedor com as aletas quando não houvesse interferências externas

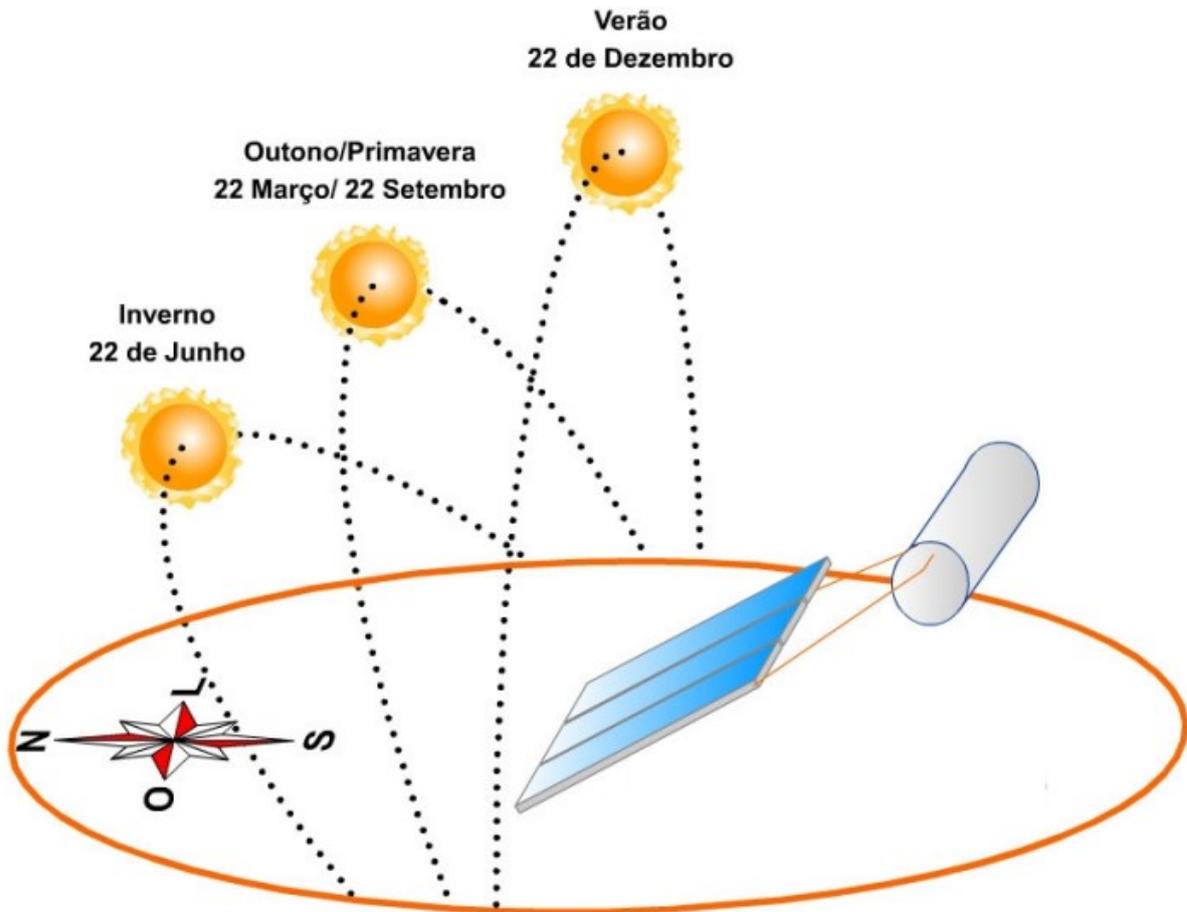
Um projeto similar ao proposto neste trabalho foi realizado por BENTIVENHA (2005), que consistiu em modificar um equipamento convencional utilizando aletas de vidro, com o objetivo da ampliação do efeito estufa por meio dessas aletas e consequente ampliação da eficiência térmica da placa modificada. Para a determinação da eficiência, foram instalados termopares e avaliados os resultados, comparando com as referências da literatura. O autor relata em seu trabalho que o equipamento apresentou valores superiores aos de equipamento similares. Porém o mesmo não ocorreu com seu rendimento, inviabilizando a produção em escala industrial. A eficiência do equipamento não dependeu apenas dos parâmetros do projeto, mas também de outros fatores que levam a perda de energia.

Foi realizada uma pesquisa na literatura que visasse efetivamente a melhoria da geometria das aletas de coletores solares planos, porém sem resultados relevantes.

### 3.5 REQUISITOS PARA CORRETA INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE COLETOR SOLAR

Para que se obtenha o melhor rendimento dos coletores, principalmente nas regiões com clima predominantemente frio, como o Sul e Sudeste, onde consequentemente necessita-se de água mais quente, porém, a radiação solar é menor, torna-se imprescindível que se posicione o coletor solar de acordo com as informações contidas nos manuais de instalação. Deve-se sempre voltar o coletor para o norte, com o intuito de aproveitar melhor a radiação solar durante o dia e o ano conforme ilustra a Figura 11. Quanto maior o desvio com relação ao norte, menor será o aproveitamento da radiação solar por meio do coletor durante o dia em todas as estações do ano (CRESESB, 2012).

FIGURA 11 - TRAJETÓRIA ANUAL DO SOL



FONTE: ADAPTADO DE ABRAVA, 2008.

Em localidades situadas ao norte do país, próximo à Linha do Equador, recomenda-se posicionar o coletor com inclinação mínima de  $17^\circ$  e orientar metade dos coletores a oeste e outra metade a leste. A inclinação deve variar entre  $17^\circ$  e  $40^\circ$ , sendo que existe um valor otimizado de inclinação que depende da localidade onde o sistema será instalado. Pode-se encontrar este valor somando  $10^\circ$  à latitude local. Sendo assim, quanto mais ao sul, maior deverá ser a inclinação. Por exemplo:

a) Para Macapá:

Latitude\*\*  $0^\circ$  (linha do Equador)

Inclinação calculada:  $0 + 10 = 10^\circ$ .

Como  $10^\circ$  está abaixo do limite de  $17^\circ$ , utiliza-se  $17^\circ$ .

b) Para Porto Alegre:

Latitude\*\*  $30^\circ$

Inclinação calculada:  $30 + 10 = 40^\circ$

Como  $40^\circ$  está no limite, pode ser utilizado.

### 3.6 INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE PROJETO NA EFICIÊNCIA DAS ALETAS E COLETORES

Notadamente os coletores solares planos comerciais tem formato e acabamento padrões, como já citado no item 3.3.1. Como pode-se perceber na Figura 12, estas particularidades requeridas para a sua correta instalação em residências ou edifícios mudam as características estéticas dos mesmos, sendo este um dos fatores que fazem com que a energia solar não seja a primeira opção para a geração de energia, seja em forma de calor ou elétrica, além do mais, se comparada com as fontes de geração de calor convencionais, o coletor solar tem baixo desempenho (MENDONÇA, 2009; GEORGI, 2015).

FIGURA 12 - COLETOR SOLAR PLANO FECHADO COM RESERVATÓRIO DE ÁGUA.



FONTE: (FOTO: THINKSTOCK/ GETTY IMAGES) 2014

Segundo MENDONÇA (2009), mesmo os sistemas de aquecimento solar sendo uma solução técnica ecologicamente correta para aquecimento de água, o ambiente construído deve satisfazer simultaneamente a harmonia arquitetônica da edificação, isto é, o local de instalação dos coletores solares deve garantir, além da

eficiência térmica, a harmonia arquitetônica da edificação. A Figura 13 mostra o contraste das edificações como o sistema de aquecimento de água solar.

FIGURA 13 - INSTALAÇÃO SOLAR TÉRMICA EM TELHADO NA CIDADE DE FRANKFURT (ALEMANHA)



FONTE: WAGNER SOLAR/LE JOURNAL DES ÉNERGIES RENOUVELABLES N° 221, 2014

Apesar do apelo ambiental e econômico, os coletores solares muitas vezes são inviabilizados devido a questão de inclinação do telhado, ângulo da residência em relação ao norte geográfico, ou simplesmente por questões arquitetônicas levadas em consideração no projeto da edificação. A FIGURA 14 ilustra a instalação de um sistema de aquecimento solar em uma residência onde notadamente o sistema teve que ser adaptado, pois o telhado não oferece o melhor ângulo para os coletores solares (MENDONÇA, 2009; GEORGI, 2015).

FIGURA 14 - COLETOR SOLAR PLANO INSTALADO EM RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR



FONTE: ANABEL ALVARES, 2012

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para a aquisição dos dados teve como base o desenvolvimento de aletas de geometria variável e sua respectiva instalação em um coletor solar plano confeccionado especialmente para este trabalho.

O projeto trata de uma análise qualitativa por meio da comparação, nas mesmas condições, de um coletor solar plano comercial com o coletor construído, obtendo uma proposta de modelo de aletas com geometria variável. As aletas desenvolvidas neste trabalho podem ter seu ângulo de inclinação ajustado conforme a necessidade. O experimento foi realizado entre junho de 2015 e maio de 2016, na cidade de Curitiba.

Para obtenção dos resultados e posterior análise comparativa, foram elaborados gráficos e planilhas com dados dos experimentos.

### 4.1 PROJETO E CONSTRUÇÃO DO COLETOR SOLAR DE ALETAS DE GEOMETRIA VARIÁVEL PARA O EXPERIMENTO

Para efetividade do experimento em termos de relevância dos resultados, foram levadas em consideração as principais variáveis do processo de aquecimento solar da água como: localização, potencial solar energético da região, quantidade da água a ser aquecida, a arquitetura dos coletores solares, os sistemas de armazenamento de água quente e a comparação das características informadas pelos fabricantes dos coletores solares planos comerciais.

#### 4.1.1 Localização do experimento

O local onde foi realizado os testes do projeto proposto situa-se na cidade de Curitiba, sendo suas coordenadas geográficas: Latitude  $-25.566594$  ( $25^{\circ} 25' 40''$  S), Longitude  $-49.277041$  ( $49^{\circ} 16' 23''$  W). O local onde foi implantado o projeto, destacado na Figura 15, não há interferência de edificações ou de vegetação e está devidamente protegido, conforme ilustra a Figura 15.

FIGURA 15 - IMAGEM DE SATÉLITE DA ÁREA DE ESTUDO



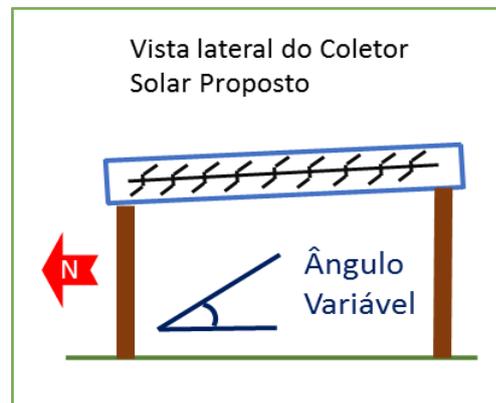
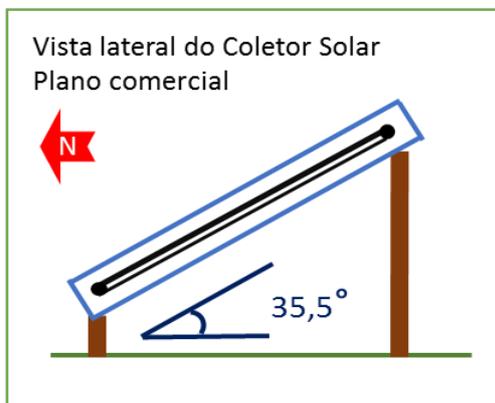
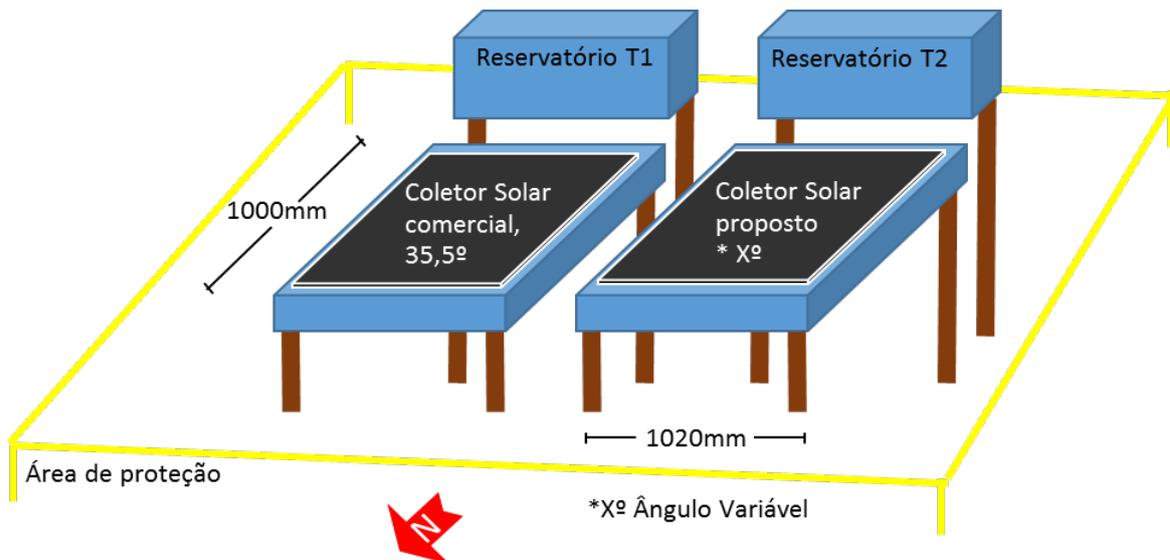
FONTE: ADAPTADO DE GOOGLE EARTH, 2015.

Os coletores solares comerciais possuem inclinação de  $35,5^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$  a mais que a latitude do local onde foi implantado o experimento. Essa inclinação é devido ao movimento natural do Sol ao longo do ano e à posição do coletor solar, captando a radiação de maneira mais eficaz. Por este motivo o coletor solar plano comercial não pode variar o seu ângulo em relação ao solo.

Para este trabalho o coletor solar comercial foi representado por T1 e o coletor solar proposto por T2. Os dois coletores solares T1 e T2 foram alocados um ao lado do outro, conforme ilustra a FIGURA 16. Podendo perceber o coletor Solar

comercial estava a  $35.5^\circ$  de inclinação em relação ao solo simulando um telhado com a mesma inclinação já o coletor solar proposto pode ser instalado em um telhado com inclinação entre  $5^\circ$  e  $40^\circ$ .

FIGURA 16 - LOCALIZAÇÃO DE CADA COLETOR SOLAR DO EXPERIMENTO



FONTE: O AUTOR (2016)

#### 4.1.2 Características técnicas dos coletores solares comerciais.

O coletor solar plano comercial adquirido para o experimento foi selecionado a partir da comparação das principais características entre os coletores solares planos oferecidos no mercado, apresentado no QUADRO 1. Além do custo benéfico, foi levado em consideração o fato de que os coletores comercializados, de um modo

geral, são praticamente idênticos, tanto no formato quanto nos materiais utilizados, portanto o critério mais relevante foi o tamanho da área de absorção, no caso o tamanho escolhido foi o de 1 m<sup>2</sup> de área de absorção, para fins de cálculos experimentais e eficiência de produção média por m<sup>2</sup>. Este fato facilita na comparação e dimensionamento de novos projetos.

QUADRO 1 - COMPARAÇÃO DOS COLETORES SOLARES COMERCIAIS

Fabricante	01	02	03
Modelo	K	T	H
Largura	1,07 m	1,02 m	1,02 m
Comprimento	1,07 m	1,00 m	1,02 m
Profundidade	5,08 cm	7 cm	6,8 cm
Caixa externa	Chapa de alumínio	Chapa de alumínio	Chapa de alumínio
Isolamento térmico	Poliuretano	Poliuretano	Poliuretano
Flauta ou serpentina	10 Tubos de cobre	10 Tubos de alumínio	10 Tubos de alumínio
Placa absorvedora	Aletas planas de alumínio	Aletas planas de alumínio	Aletas planas de alumínio
Cobertura	Vidro 4 mm	Vidro 4 mm	Vidro 4 mm
Produção Média de Energia	87,8 KWh/mês	85,4 KWh/mês	84,2 KWh/mês
Peso do Produto	16 Kg	16 Kg	14 Kg
Valor médio*	R\$ 579,00	R\$ 549,00	R\$ 599,00

FONTE: O AUTOR (2016)

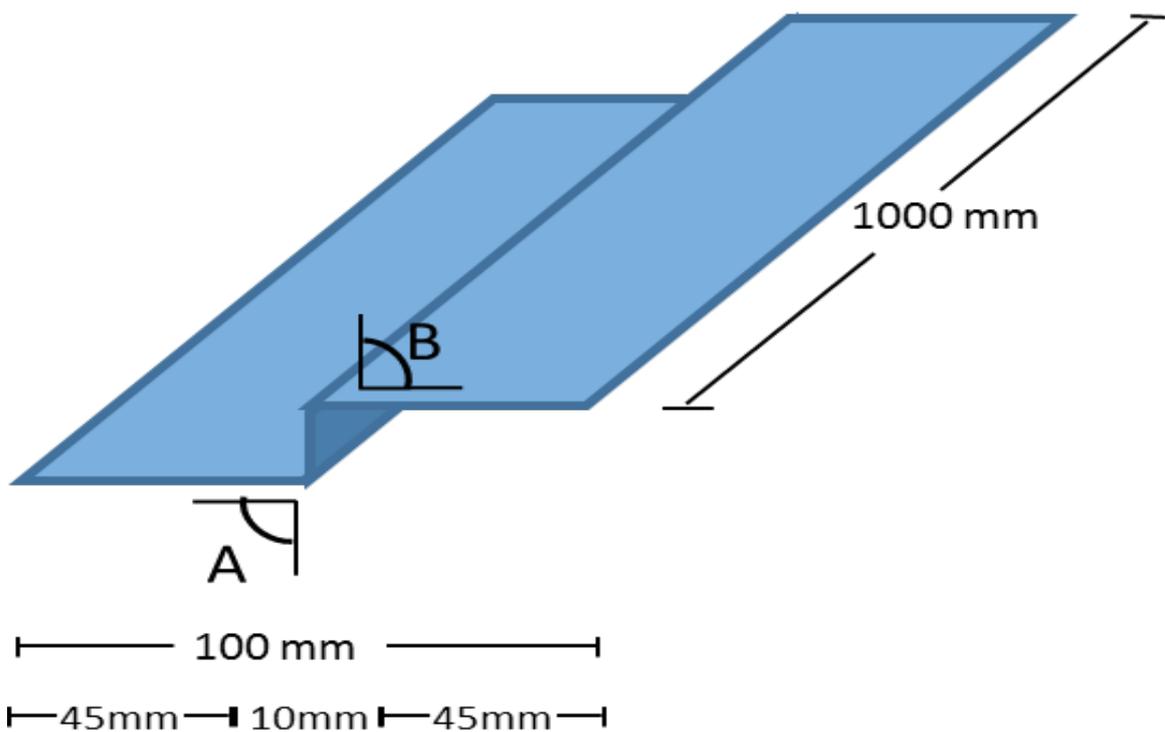
NOTA: \* O VALOR MÉDIO FOI REALIZADO NO MÊS DE JUNHO DE 2016, ATRAVÉS DA COTAÇÃO PARA VENDA DIRETA AO CONSUMIDOR NAS PRINCIPAIS LOJAS DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO DE CURITIBA.

O coletor solar proposto neste trabalho foi projetado com referência no coletor solar plano comercial adquirido, modelo *T* do fabricante *02* (QUADRO 1). Com a exceção da posição e geometria das aletas, todas as dimensões e materiais são exatamente os mesmos. A sua construção foi em chapas de alumínio com espessura de 3 mm com as dimensões de 1,00 m de comprimento por 1,02 m de largura. A tubulação interna do coletor proposto ficou exatamente igual ao coletor comercial, com 10 tubos de 10 mm de espessura interligados em dois tubos de 25 mm de espessura, e o vidro externo para proteção com 4 mm de espessura, resultando na mesma área de captação de energia solar de 1 m<sup>2</sup>.

#### 4.1.3 Detalhamento do projeto das aletas propostas

As aletas do coletor solar proposto têm o tamanho de 1000 mm de comprimento por 100 mm de largura, correspondendo a 1 m<sup>2</sup> de área de captação e foram previamente posicionadas de forma a permitir que os raios solares atinjam sua superfície, mesmo que o ângulo do coletor esteja entre 5° e 45° em relação ao solo, para obter o máximo de eficiência de retenção energética para a região, no caso 35,5°, como explicado no item 3.5. A Figura 17 apresenta o formato proposto das aletas onde os ângulos A e B podem variar em até 45°.

FIGURA 17 - ALETA DE GEOMETRIA VARIÁVEL

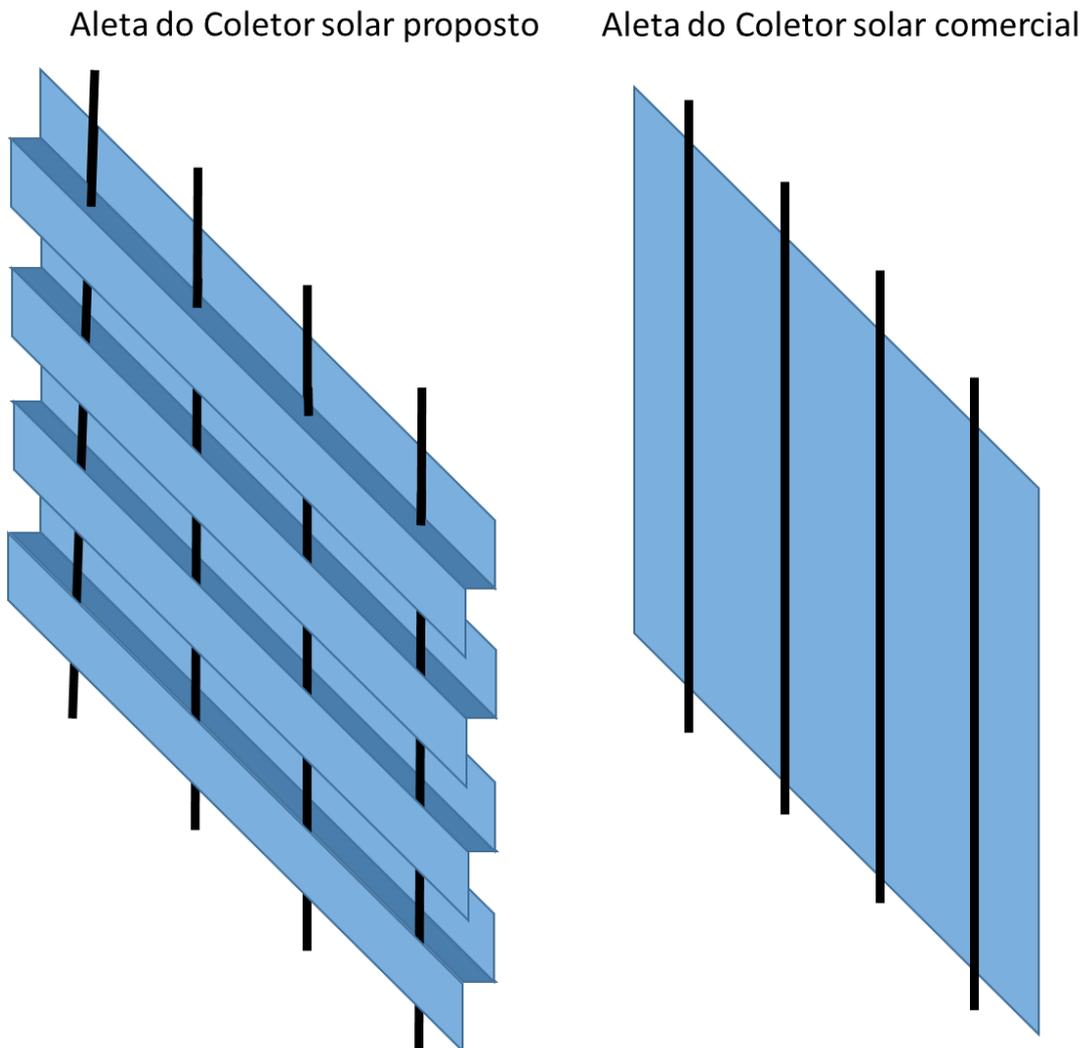


FONTE: O AUTOR (2016)

Para possibilitar a variação do ângulo das aletas, o posicionamento das mesmas em relação ao coletor teve de ser alterado. Nos coletores solares planos comerciais as aletas são posicionadas na vertical, conforme já abordado no item 3.5. As aletas de geometria variável propostas necessitam de um espaço para

deslocamento, devendo ser posicionadas na horizontal, conforme ilustra a Figura 18, onde também pode-se perceber a diferença entre a instalação das aletas dos dois coletores solares.

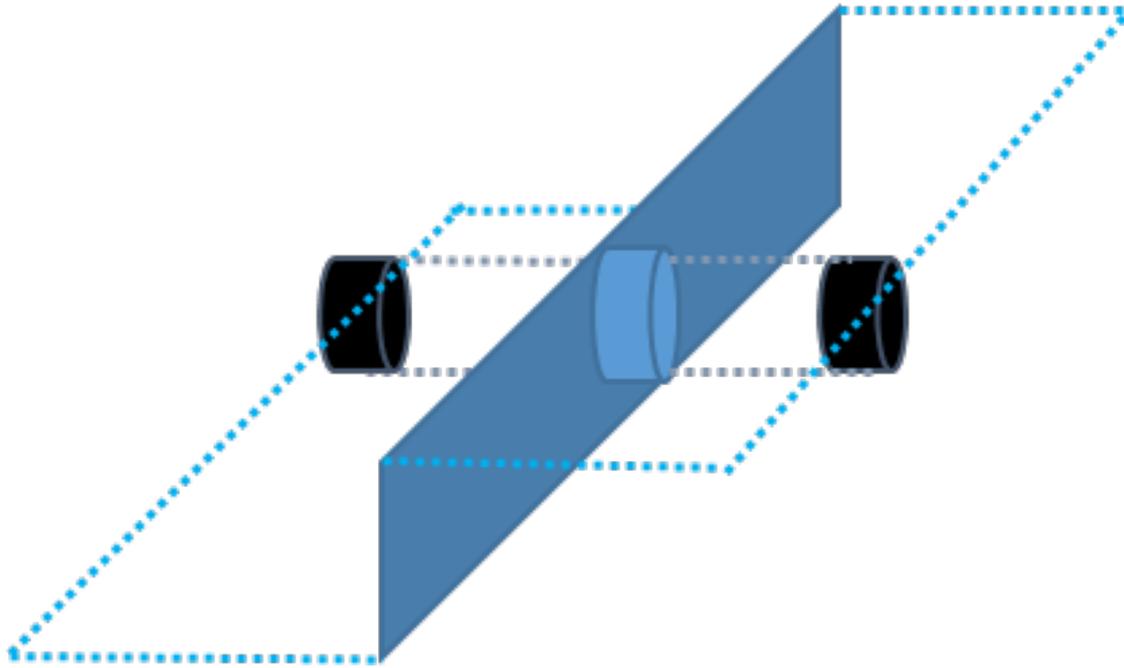
FIGURA 18 - TUBULAÇÃO DA SERPENTINA INSTALADA NA ALETA DE GEOMETRIA VARIÁVEL COM O ÂNGULO PLANO E NA ALETA DO COLETOR COMERCIAL PLANO



FONTE: O AUTOR (2016)

Depois de instalada na posição desejada os raios solares incidem diretamente nas aletas, que transferem o calor para a tubulação por meio de condução. Para que isto ocorra nas aletas propostas, os tubos foram conectados através de orifícios prolongados, realizados por meio de estamparia, para aumentar a área de contato entre a aleta e os tubos, como exemplifica a Figura 19.

FIGURA 19 - DETALHE DA CONEXÃO DO TUBO DA SERPENTINA NA ALETA DE GEOMETRIA VARIÁVEL



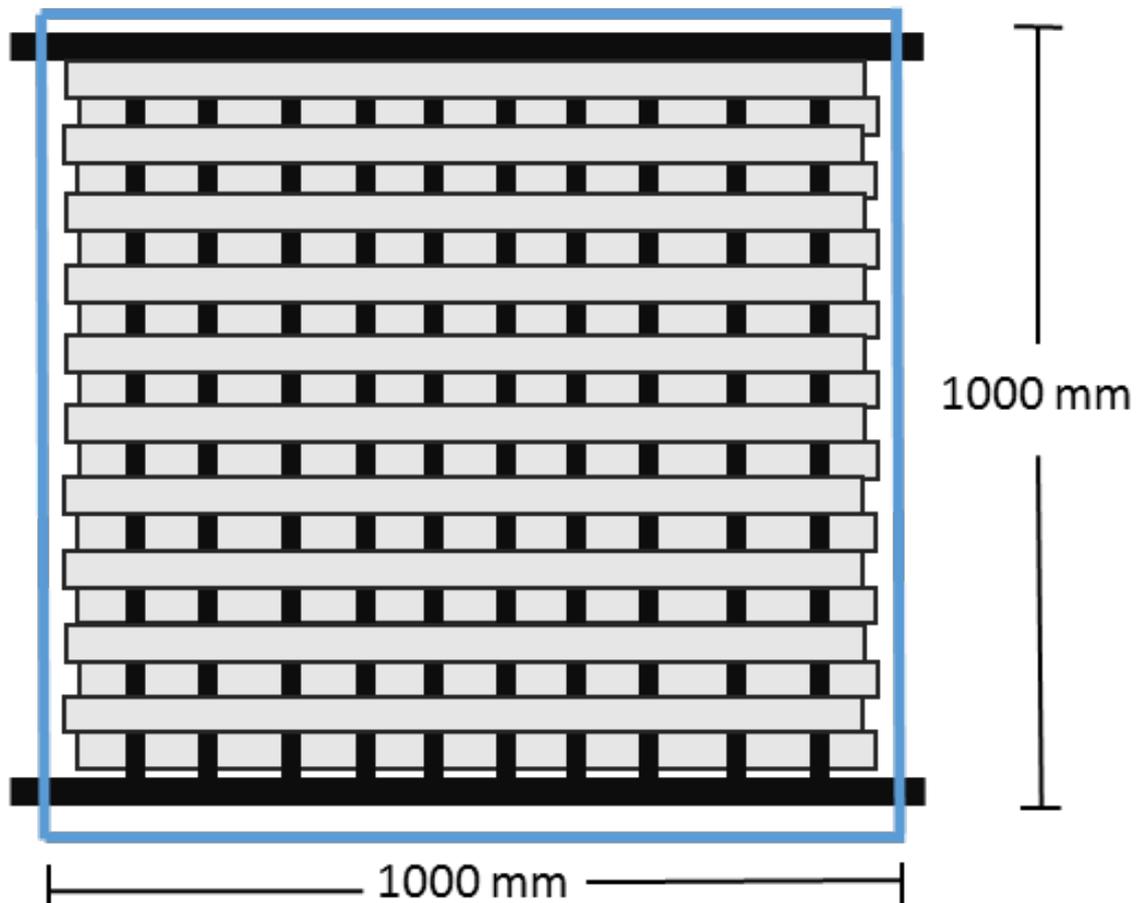
FONTE: O AUTOR (2016)

Após a confecção, as aletas foram montadas na serpentina, uma a uma, deixando um espaçamento de 45 mm entre as mesmas para possibilitar tanto a variação de ângulo quanto a passagem dos raios solares. Por fim foram montados os tubos de circulação principal de água, também de alumínio, com 25 mm de diâmetro. Para finalizar o sistema de circulação de água quente, todas as emendas das tubulações foram preenchidas com cola epóxi, garantido a perfeita vedação e evitando vazamentos que poderiam interferir nos resultados.

Na sequência, foi aplicada uma camada de tinta preta em toda a placa absorvedora, da mesma forma que o coletor solar plano comercial. A Figura 20 apresenta a vista superior das aletas com ângulo variável inseridas na serpentina já instaladas na carcaça de alumínio, previamente isolada termicamente com a manta de poliuretano idêntica à do coletor solar comercial.

Outro ponto a ser ressaltando é que o número de aletas, tanto do coletor solar comercial quanto do coletor solar proposto, é o mesmo, em um total de 10 aletas, totalizado 1m<sup>2</sup> de área de placa absorvedora de calor.

FIGURA 20 - VISTA SUPERIOR DO COLETOR SOLAR COM ALETA DE GEOMETRIA VARIÁVEL



FONTE: O AUTOR (2016)

A finalização do coletor solar proposto para o experimento ocorreu com a instalação do vidro comum transparente de 4 mm de espessura, sendo a fixação do mesmo realizada com 4 cantoneiras de alumínio tipo "L" instaladas nas bordas do coletor solar. Tanto as cantoneiras quanto o vidro podem ser removidos a qualquer momento, seja para os ajustes do ângulo das aletas do coletor ou quaisquer outras manutenções.

Para fabricação do coletor solar proposto, foram necessários os materiais nas respectivas quantidades descritas no QUADRO 2, sendo que estes materiais são facilmente adquiridos nas principais lojas de materiais de construção varejistas de Curitiba.

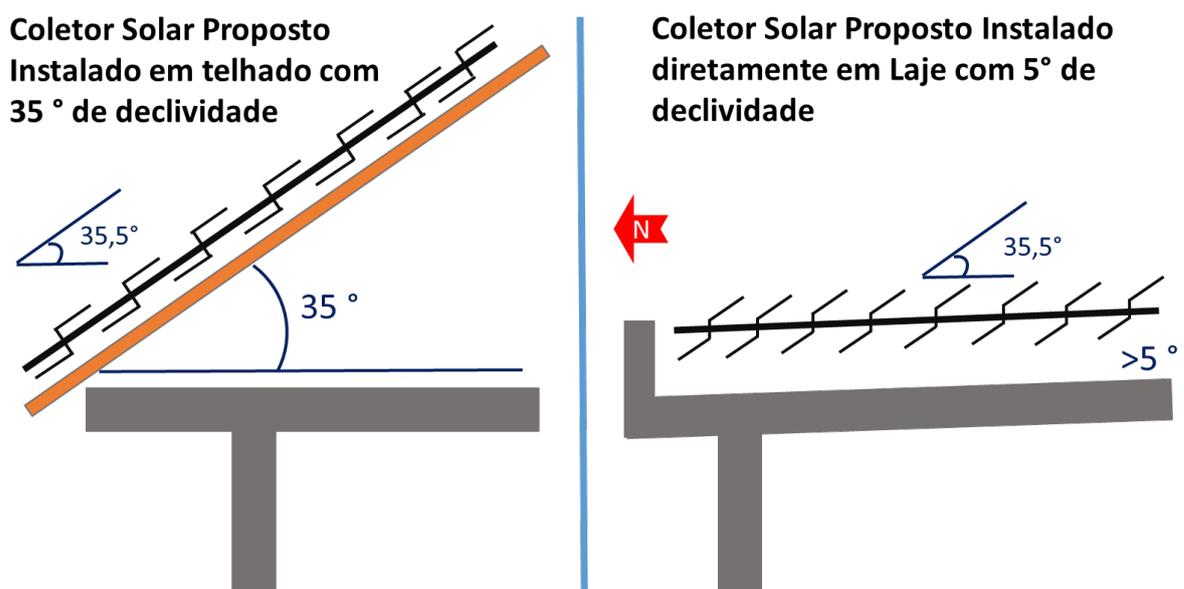
QUADRO 2 - LISTA DE MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO DO COLETOR SOLAR PROPOSTO

Material	Quantidade
Tubo redondo Alumínio 3/8 x 1,0mm x 6000mm Liga 6063 T5 => 0,660 kg /barra (ICMS 18%)	2
Tubo Alumínio 1" x 1,0mm x 6000mm Liga 6063 T5 => 1,392 Kg / barra (ICMS 18%)	1
Chapa Lisa de Alumínio 3000mm x 1250mm x 3mm	0,5
Chapa Lisa de Alumínio 3000mm x 1000mm x 1mm	0,5
Folha de vidro comum 1000x1000 x 4mm	1
Cola Epóxi Araldite 50g	1
Isolante térmico de polietileno 1000x1500 x 15mm	1
Perfil de Alumínio em "L" 6000mm x 10mm x 10mm x 3mm	0,66
Mão de obra 4 horas de um metalúrgico**	4
Tinta preta automotiva comum	500 ml

FONTE: O AUTOR (2016)

Como apresentado no item 3.5, o ângulo ideal para Curitiba é de  $35,5^\circ$ . Com as aletas de geometria variável, pode-se atingir o ângulo ideal das aletas com relação ao solo tanto com o ajuste do coletor como um todo, ou apenas com o ajuste das aletas, conforme exemplifica a Figura 21, que mostra o exemplo de possibilidades de instalação do coletor solar proposto.

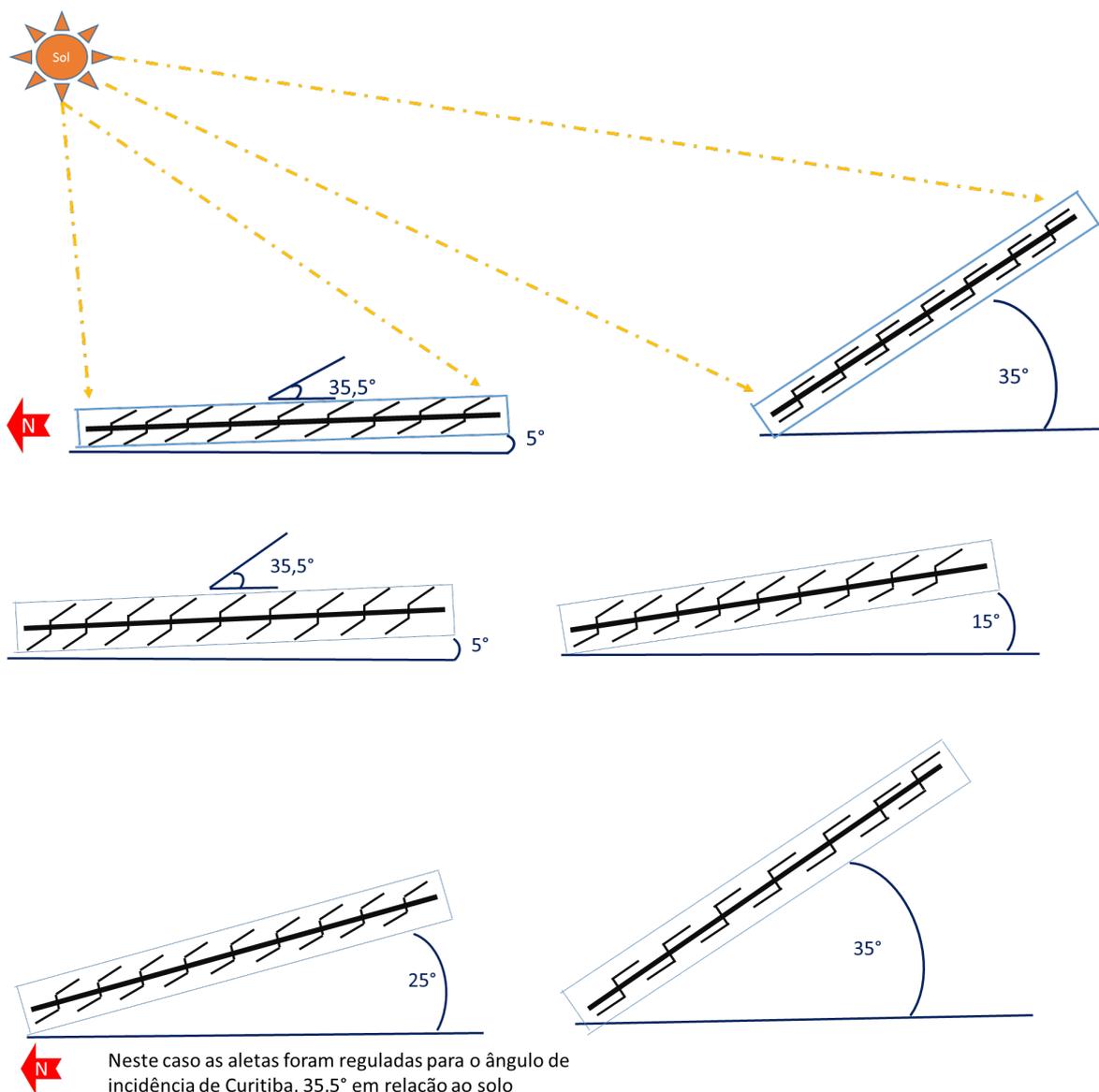
FIGURA 21 - EXEMPLO DE POSSIBILIDADES DE INSTALAÇÃO DO COLETOR SOLAR PROPOSTO.



FONTE: O AUTOR (2016)

Para o atendimento do principal objetivo deste experimento, que é avaliar a eficiência do modelo da aleta proposto, o ângulo do coletor solar proposto e das aletas foram mudados periodicamente para a avaliação dos resultados. As aletas propostas sempre estiveram a  $35,5^\circ$  em relação ao solo, já o coletor solar proposto em si esteve em posições diferentes, nos ângulos de  $5^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $25^\circ$  e  $35^\circ$ , simulando diferentes angulações de telhados, conforme mostra a FIGURA 22. Estas quatro mudanças de ângulo ocorreram no decorrer do experimento (período de 1 ano), pelo menos uma vez em cada estação climática do ano.

FIGURA 22 - EXEMPLO GRÁFICO DOS ÂNGULOS  $5^\circ$  E  $35^\circ$  DE INSTALAÇÃO DO COLETOR SOLAR PROPOSTO PARA O EXPERIMENTO



FONTE: O AUTOR (2016)

Deve-se atentar para o fato da invariabilidade do coletor solar plano comercial e suas respectivas aletas, sendo estas mantidos a  $35,5^\circ$  em relação ao solo, em todo o período do experimento, conforme indica o fabricante, para a garantia de sua eficiência, simulando a sua instalação em uma residência de um consumidor final, conforme ilustra a FIGURA 23.

FIGURA 23 - COLETOR SOLAR PLANO COMERCIAL (T1) INSTALADO NO LOCAL DO EXPERIMENTO



FONTE: O AUTOR (2016)

A variação do ângulo do coletor solar proposto foi realizada através da regulagem da altura dos suportes que simulavam a altura e angulação dos diferentes tipos de telhados existentes em conjunto com a regulagem das aletas fazendo que com a combinação destes dois ângulos obter-se o ângulo de  $35,5^\circ$ .

#### 4.1.4 Dimensionamento e construção dos reservatórios térmicos

O sistema de aquecimento solar de água é principalmente implantado para aquecer a água que será utilizada nos chuveiros das residências e, segundo Bazzarella e Gonçalves (2005) o consumo de água nos chuveiros das residências das famílias brasileiras é de 12 L/min, resultando em uma média de 60 litros por pessoa. Para o experimento, os reservatórios térmicos foram construídos de plástico poliestireno expandido (isopor) com 40 mm de espessura revestidos de uma camada de impermeabilizante (borracha líquida) para garantir a vedação. Os dois reservatórios têm a capacidade útil de 60 litros cada. O projeto deste reservatório experimental é de apenas acumular água para recirculação natural. Os mesmos sofreram variação de temperatura por não serem projetados para armazenamento de água quente durante um tempo maior de 1 hora.

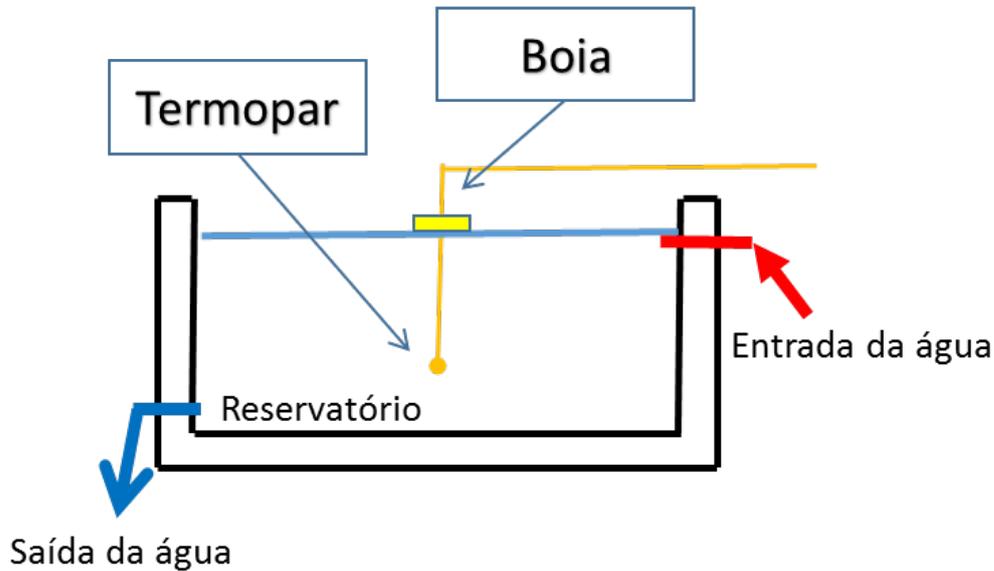
As tubulações e conexões utilizadas eram termoplásticas, com as mesmas características e dimensões para os dois sistemas de aquecimento solar do experimento: T1 coletor solar plano comercial e T2 coletor solar com aletas de geometria variável.

## 4.2 COLETA DE DADOS DO EXPERIMENTO

Para a coleta de dados foi utilizado um termômetro digital *data logger* modelo TD-880, com display de 4 dígitos e com interface RS-232C, que apresenta como características: dois canais de entrada, resolução de décimo de grau, seleção de leitura em °C, °F ou K, relógio, calendário, *data logger*, valor máximo, mínimo e médio, diferença entre as entradas T1 e T2 e dois termopares tipo K -100 °C ~ 1.300 °C ± Exatidão (0,1%+0,5 °C).

Os termopares foram posicionados no centro dos reservatórios, a 150 mm de profundidade em relação ao nível d'água, conforme mostra a Figura 24.

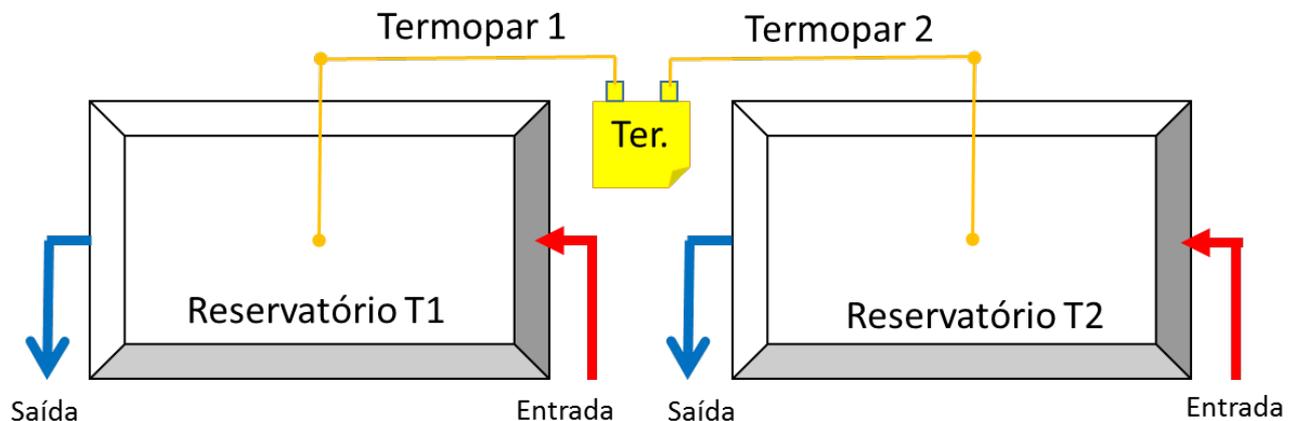
FIGURA 24 - DETALHE DA LOCALIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO DO TERMOPAR NOS RESERVATÓRIOS



FONTE: O AUTOR (2016)

Para a comparação dos modelos de aletas dos dois coletores foi convencionado que todas as variáveis fossem as mesmas, inclusive a temperatura inicial da água e o início da coleta de dados. Para isso foi instalado o termopar T1 no coletor solar plano comercial e o termopar T2 no coletor solar proposto confeccionado. O termômetro *data logger* foi alocado entre os dois coletores, em local protegido de intempéries, conforme apresenta a Figura 25.

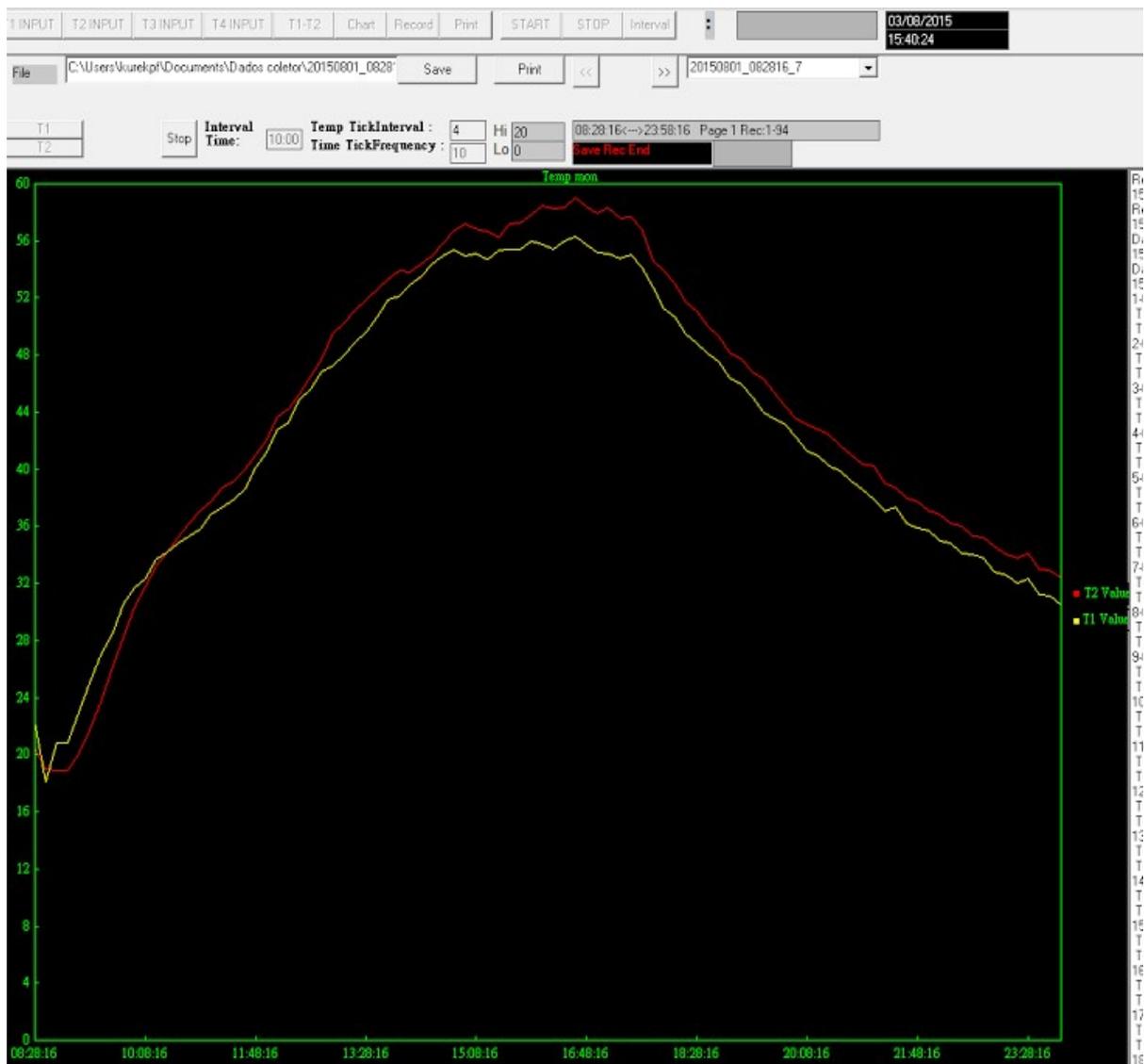
FIGURA 25 - DETALHE DA LOCALIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO DO TERMOPAR NOS RESERVATÓRIOS



FONTE: O AUTOR (2016)

O termômetro foi programado para registrar simultaneamente a temperatura T1 (Amarelo) e T2 (vermelho) e calcular a diferença entre as duas a cada 10 minutos, inicializado alguns minutos antes do nascer do sol e encerrando sua contagem alguns minutos depois do pôr do sol. Estes dados foram armazenados na memória do termômetro digital e coletados mensalmente, através do software *Temp monitor*, fornecido pelo fabricante, ilustrado na FIGURA 26. O programa também exporta os dados para planilhas em Excel.

FIGURA 26 - TELA DO PROGRAMA *TEMP MONITOR*



FONTE: O AUTOR (2016)

Devido às manutenções necessárias e às mudanças de ângulo propostas neste trabalho, não foi possível obter as medições de todos os dias do período do

experimento, porém esse fato torna-se irrelevante devido ao tamanho da amostra de 190 dias de coleta distribuída ao longo das estações do ano, sendo desnecessária a ponderação dos dados para os dias sem coleta, pois se tratou de uma comparação das eficiências dos coletores T1 e T2, ambos nas mesmas condições.

#### 4.2.1 Apresentação dos dados do experimento

Devido a quantidade de dados coletados durante o experimento e cada dia ter uma variação da temperatura diferente, foi necessária a compilação em uma tabela (Apêndice) com os dados relevantes para este trabalho, os quais são:

- a) Temperatura máxima e mínima atmosférica durante o respectivo dia. Dado coletado diretamente do site do SIMEPAR
- b) Média Histórica da Temperatura máxima e mínima durante o respectivo dia. Dado coletado diretamente do site do SIMEPAR
- c) Hora do nascer o pôr do sol para cada dia. Dado coletado diretamente do site do SIMEPAR
- d) Temperatura máxima e mínima da água do respectivo dia, para ambos os coletores solares T1 e T2;
- e) A Média diária da diferença das temperaturas  $T2 - T1$ . Este dado foi elaborado através da média da diferença da temperatura de T2 e T1 de cada fração de 10 minutos de cada dia do experimento.
- f) O ângulo do coletor em relação ao solo, sendo que as aletas sempre estiveram a  $35,5^\circ$  em relação ao solo.

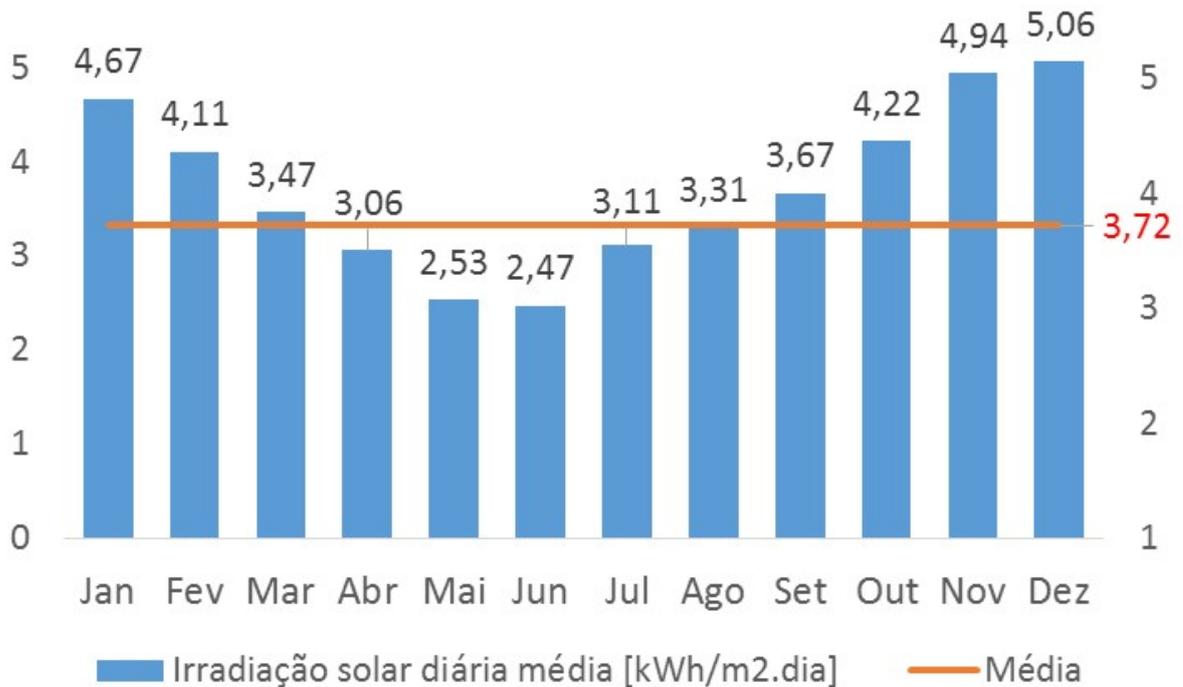
Para uma representação dos resultados diários do experimento foram escolhidos 4 dias de cada estação do ano, os quais, tanto as temperaturas atmosféricas quanto os respectivos resultados foram aproximados, sendo realizada uma média destes dias que por sua vez resultou um gráfico representativo para cada estação do ano. Os gráficos também apresentam a temperatura de T1 e T2, a diferença entre T2 e T1 e a eficiência média em porcentagem.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 POTENCIAL SOLAR ENERGÉTICO

Um dos objetivos desse trabalho foi avaliar o potencial solar energético da região do experimento, sendo essa avaliação realizada a partir dos dados do SUNDATA (2013), resultando no gráfico da FIGURA 27, que representa o potencial solar energético para a cidade de Curitiba.

FIGURA 27 - GRÁFICO DA RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA MÉDIA DE CURITIBA – PR



FONTE: ADAPTADO DE SUNDATA (2013)

Nota-se uma média de 3,72 kWh/m<sup>2</sup>.dia para a região de Curitiba - PR, assim através desta média o presente projeto pode ser estimado em relação a outras regiões do país, como por exemplo Belo Horizonte - MG, que possui uma média de 5,5 kWh/m<sup>2</sup>.dia (SUNDATA, 2013).

## 5.2 LEVANTAMENTO DE CONSUMO ENERGÉTICO PARA DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA

Para a comprovação da significância ambiental da instalação de sistema de aquecimento solar de água, foi realizado um levantamento do consumo de energia elétrica dos eletrodomésticos. E um dimensionamento de um sistema de aquecimento solar de águas unifamiliar de quatro pessoas. O QUADRO 3 mostra o consumo médio de energia por unidade habitacional comum. Com estas informações o chuveiro, por ter a maior potência, é o aparelho que mais consome energia elétrica.

QUADRO 3 - CONSUMO DE ENERGIA POR UNIDADE

Aparelho	Quantidade	Potência Média (W)	Dias de uso/mês	Tempo médio de uso diário (h)	Consumo mensal (kWh)	Ah/mês	Ah/dia
Televisão	1	90	30	5	13,5	106,3	3,5
Geladeira*	1	200	30	8	48,0	377,9	12,6
Microondas	1	1300	30	0,16	6,2	49,1	1,6
Computador	1	250	30	2,5	18,8	147,6	4,9
Ferro de Passar	1	1000	12	1	12,0	94,5	3,1
Aparelho de som	1	20	15	1	0,3	2,4	0,1
Chuveiro**	1	3500	30	0,5	52,5	413,4	13,8
Secador de Cabelo	1	700	10	0,33	2,3	18,2	0,6
Liquidificador	1	150	15	0,16	0,4	2,8	0,1
Lâmpada fluorescente	8	15	30	6	21,6	170,1	5,7
Total					175,6	1382,3	46,0
Total sem chuveiro					123,1	968,9	27,5

FONTE: ADAPTADO DE EMPRESA BRASILEIRA DE ENERGIA (2016)\*\*\*

NOTAS: \* CONSIDERA-SE 8 HORAS PARA A GELADEIRA COMO O TEMPO EM QUE O COMPRESSOR FICA LIGADO PARA MANTER A TEMPERATURA INTERNA, SEGUINDO A MÉDIA INFORMADA PELOS FABRICANTES.

\*\* CONSIDEROU-SE QUE TODAS AS PESSOAS DA CASA JUNTAS LEVAM 30 MINUTOS PARA TOMAR BANHO

\*\*\* A POTÊNCIA MÉDIA DOS APARELHOS FOI ADOTADA AS REFERÊNCIAS DA ELETROBRÁS.

O sistema de aquecimento solar fechado plano adotado é principalmente instalado para aquecer a água que será utilizada nos chuveiros da residência.

Considerando dados de consumo percapita já citados anteriormente e os dados do QUADRO 3, que indica que o chuveiro foi usado na média 30 minutos por dia, temos:

$$12 \text{ litros/minuto} \times 30 \text{ minutos/dia} = 360 \text{ litros/dia}$$

Em 30 dias obtivemos:

$$0,36 \text{ m}^3 \times 30 \text{ dias} = 10,8 \text{ m}^3/\text{mês}$$

O cálculo indica que serão gastos 360 litros de água por dia em média para uma família brasileira de 4 pessoas.

Os coletores atualmente mais utilizados no mercado para fins sanitários são os coletores solares fechados planos, portanto, serão os mesmos utilizados no projeto. Um coletor de 1 m<sup>2</sup> tem capacidade de aquecer água para uma pessoa, custando aproximadamente R\$ 500,00 o que daria um custo de R\$ 2000,00 para a quantidade de água calculada, mais um reservatório térmico (boiler) para esta capacidade, o qual custa em torno de R\$ 2.500,00. Estes valores são referentes a venda direta ao consumidor na data de maio de 2016.

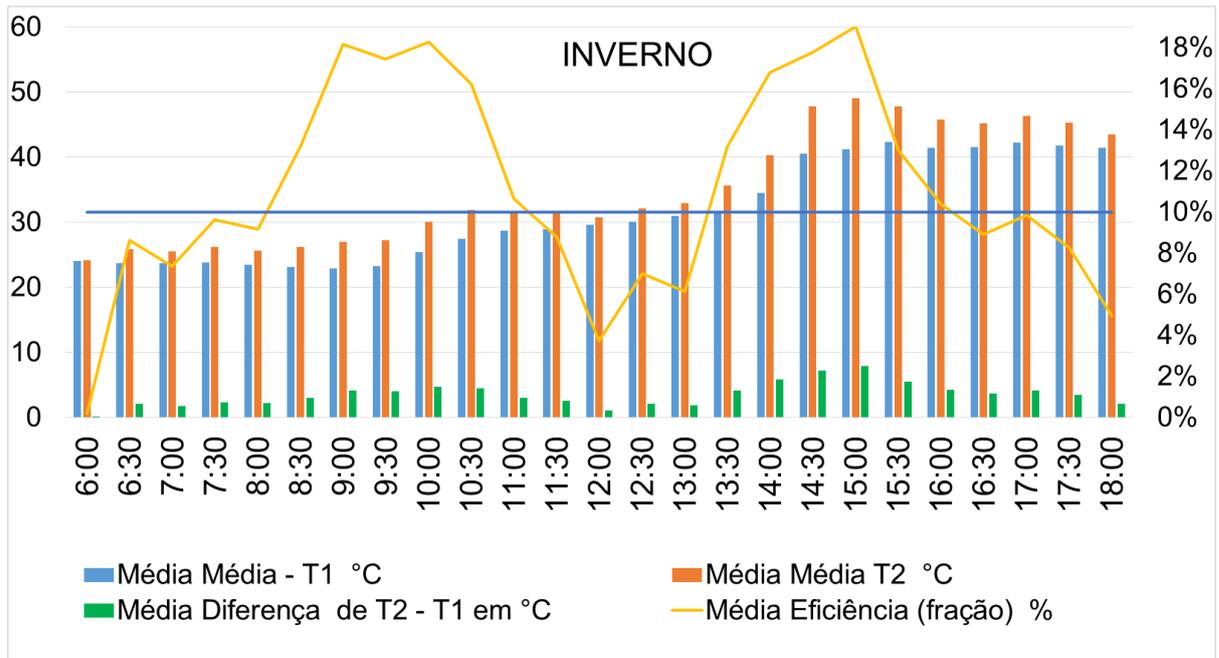
### 5.3 RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS

A partir da compilação dos dados obtidos no período do experimento, foi elaborada uma planilha com as datas dos dias da coleta de dados, hora do nascer e pôr do sol, temperatura atmosférica real em C°, média histórica da temperatura atmosférica em C°, temperatura do coletor T1 e T2 em C°, diferença média da temperatura entre T1 e T2 e o ângulo do coletor em relação ao solo. A planilha com estas informações está descrita no Apêndice. A partir dos dados das planilhas, como já apresentado no item 4.2, foram elaborados gráficos que representam o período como um todo, divididos em estações do ano.

Os gráficos das Figura 28 a FIGURA 31, representam um comparativo entre a média das temperaturas obtidas do coletor solar proposto de aletas de geometria variável confeccionado, em relação ao coletor solar comercial, e respectiva porcentagem da eficiência de aquecimento.

A Figura 28 ilustra o gráfico representativo do inverno, onde notadamente nos horários das 8h30min às 10h00min e das 13h30min às 15h00min houve um aumento de eficiência de cerca de 15% e 18% respectivamente, resultando em uma eficiência média de 10% durante o dia de T2 em relação a T1.

FIGURA 28 - GRÁFICO DO RESULTADO DO EXPERIMENTO ENTRE T2 E T1 NO PERÍODO DE INVERNO

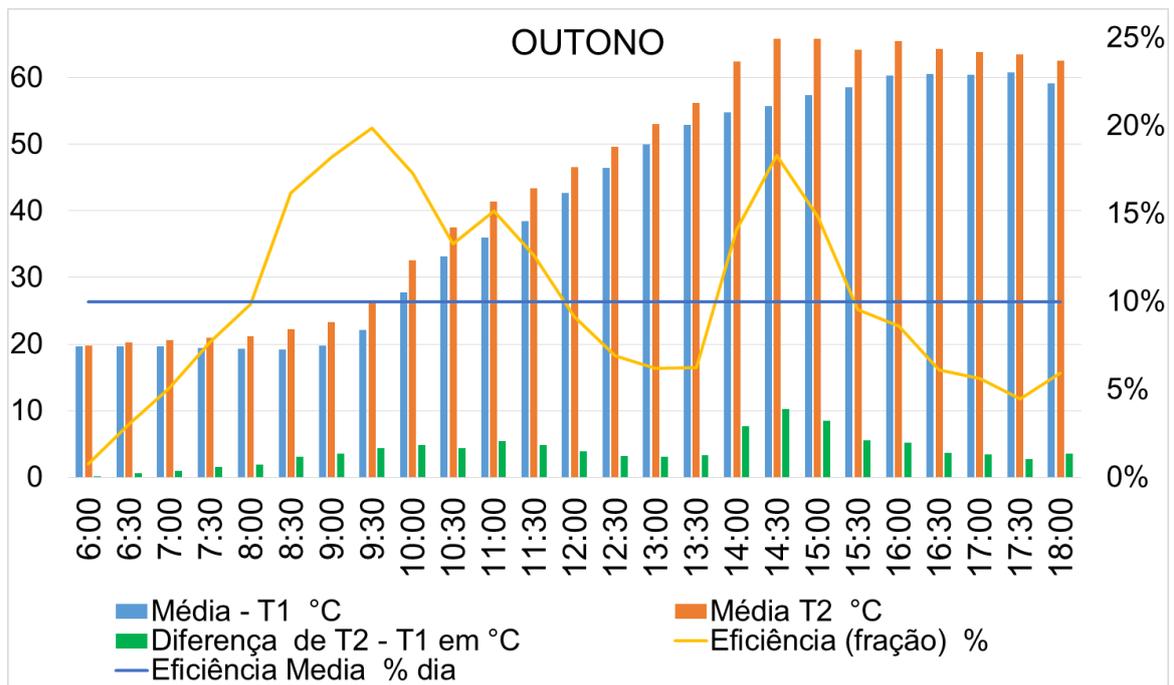


FONTE: O AUTOR (2016)

A

FIGURA 29 ilustra o gráfico representativo do outono, onde notadamente nos horários das 8h00min às 9h30min e das 13h30min às 15h30min houve um aumento de eficiência de cerca de 20% e 14% respectivamente, resultando em uma eficiência média de 10% durante o dia de T2 em relação a T1.

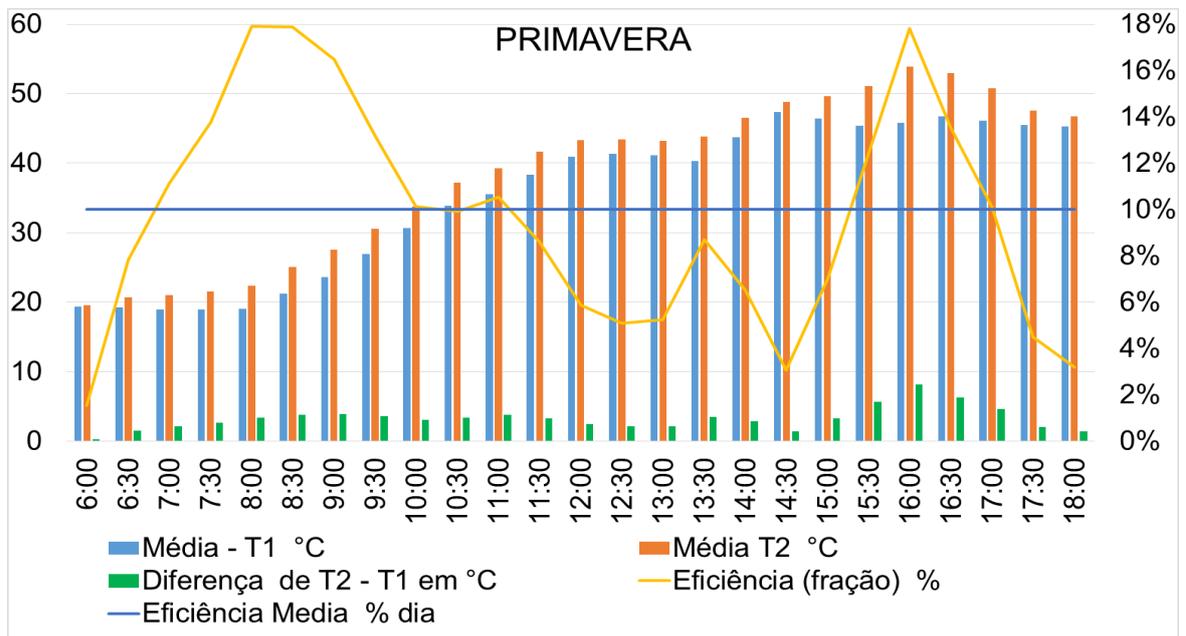
FIGURA 29 - GRÁFICO DO RESULTADO DO EXPERIMENTO ENTRE T2 E T1 NO PERÍODO DE OUTONO



FONTE: O AUTOR (2016)

A FIGURA 30 ilustra o gráfico representativo da Primavera, onde notadamente nos horários das 7h00min às 9h30min e das 14h00min às 16h00min, houve um aumento de eficiência de cerca de 19% e 16% respectivamente, resultando em uma eficiência média de 10% durante o dia de T2 em relação a T1.

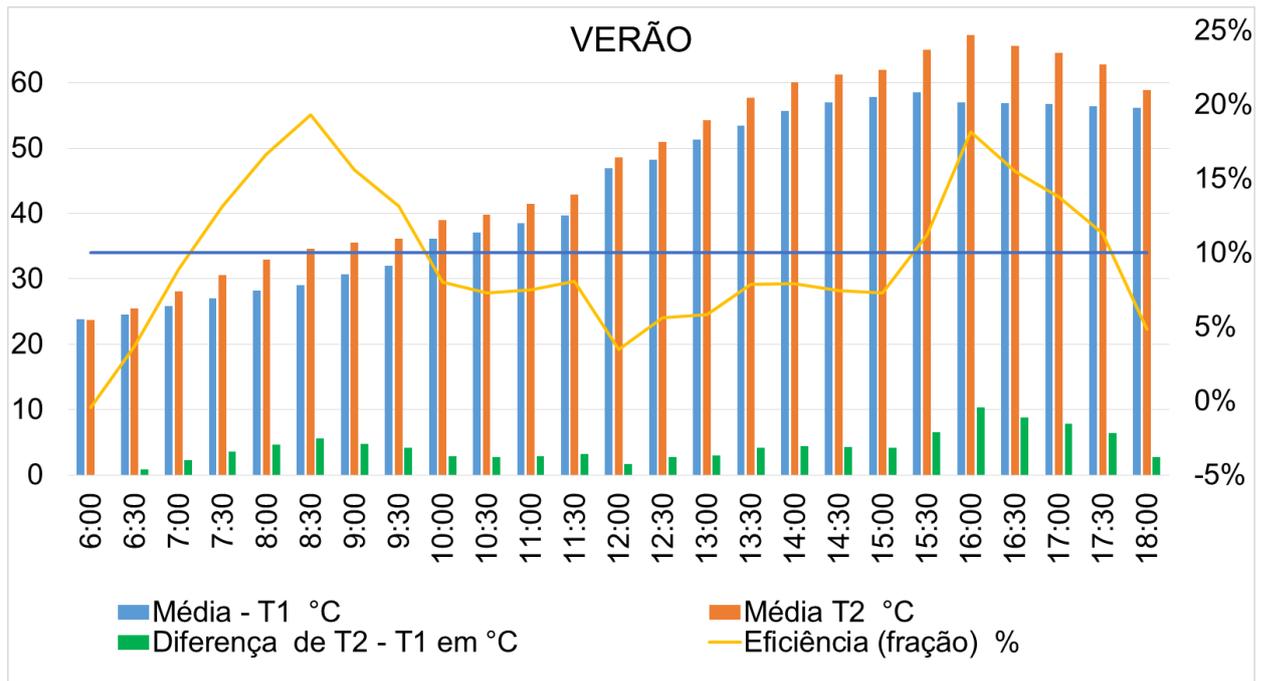
FIGURA 30 - GRÁFICO DO RESULTADO DO EXPERIMENTO ENTRE T2 E T1 NO PERÍODO DE PRIMAVERA



FONTE: O AUTOR (2016)

A FIGURA 31 ilustra o gráfico representativo do Verão, onde notadamente nos horários das 6h30min às 9h:30min e das 15h00min às 17h30min, houve um aumento de eficiência de cerca de 19% e 16% respectivamente, resultando em uma eficiência média de 10% durante o dia de T2 em relação a T1.

FIGURA 31 - GRÁFICO DO RESULTADO DO EXPERIMENTO ENTRE T2 E T1 NO PERÍODO DE VERÃO

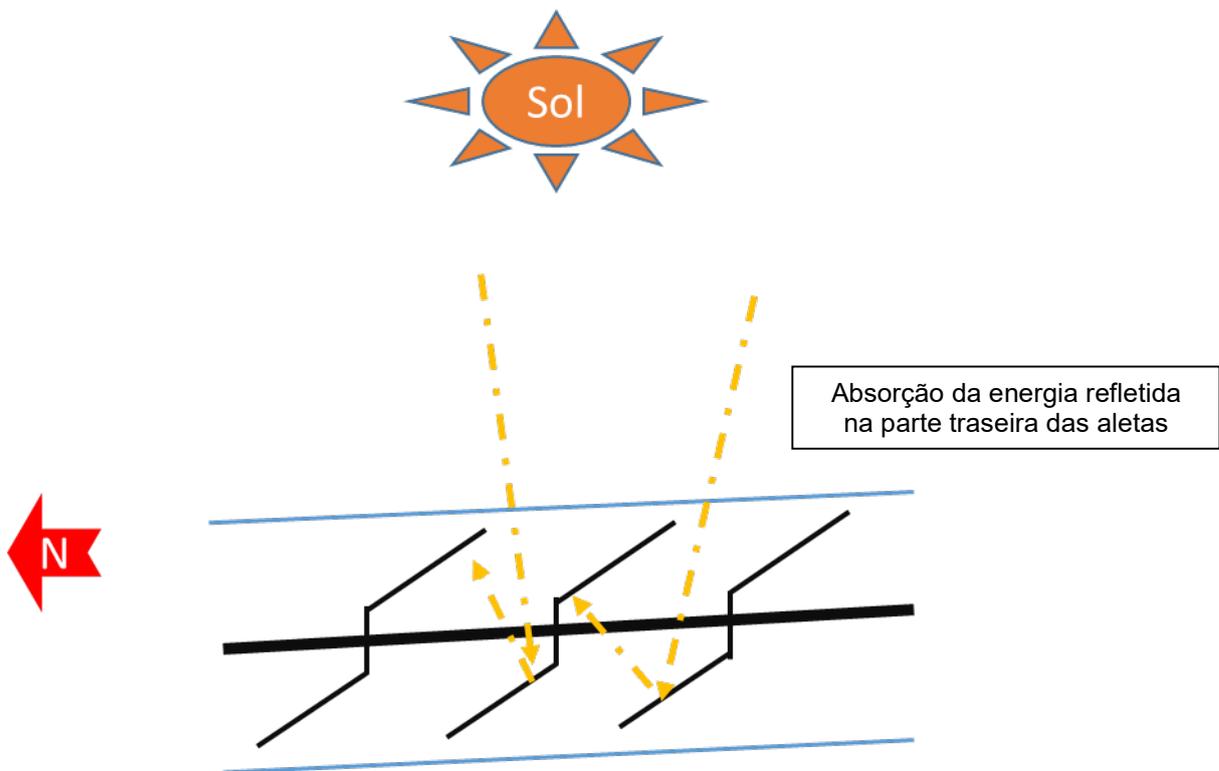


FONTE: O AUTOR (2016)

Pode-se perceber que o coletor solar proposto apresentou média de 10% na eficiência de aquecimento durante o dia, comparado com o coletor solar plano comercial, sendo que essa constatação foi feita tanto para as diferentes estações quanto para os diferentes ângulos, sendo a máxima temperatura registrada no coletor de aletas de geometria variável de 69,8 °C.

Os picos de eficiência do coletor solar proposto, conforme o gráfico exemplificado, se deram pelo fato de as aletas absorverem calor dos dois lados. Isto é, nestes períodos o ângulo do coletor possibilitou a captação de grande parte da energia que seria perdida por refletida pelas aletas. Uma esquematização do aproveitamento desta energia de refletância está posta na Figura 32.

FIGURA 32 – CAPTAÇÃO DE RAIOS SOLARES NAS ALETAS PROPOSTAS NOS PERIODOS DE MAIOR EFICIÊNCIA

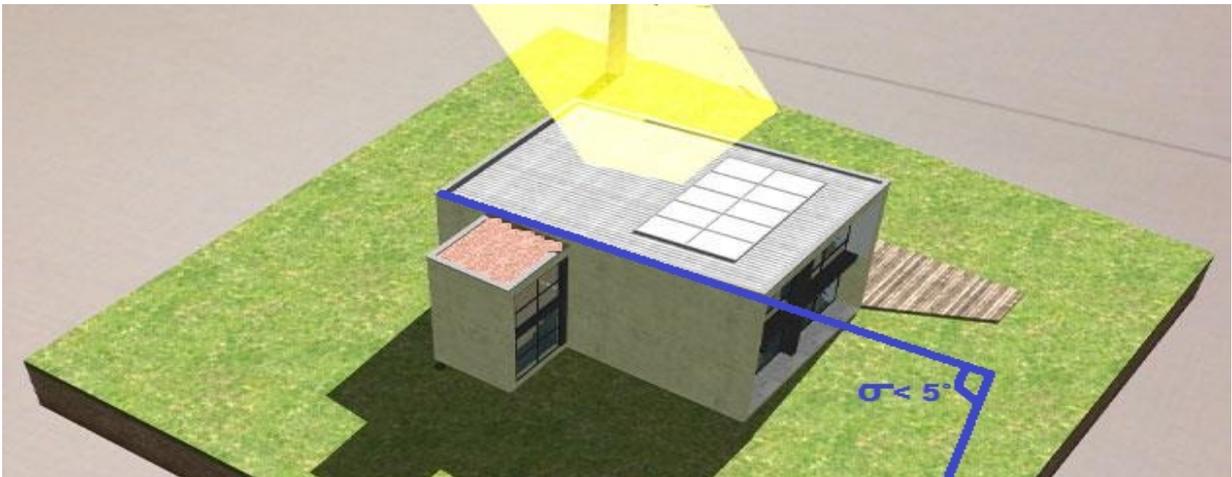


FONTE: O AUTOR (2016)

Devido ao reservatório de água quente ser experimental o mesmo não teve suas perdas de calor calculadas. Sendo que da mesma forma que a temperatura da água era elevada, pela maior eficiência do coletor solar proposto, era equalizada pela perda de calor do sistema. Principalmente no final da tarde o qual não a irradiação solar é menor e os coletores tendem a perder eficiência assim como o reservatório perder calor com maior intensidade.

Além de almejar o aumento da eficiência, é proposto neste trabalho um modelo de coletor com o ângulo da aleta regulável, podendo este ser inserido em novos projetos ou em edifícios existentes, sem interferir na arquitetura do edifício, pois o mesmo se adapta ao ângulo da cobertura (telhado) do edifício, como apresentado na Figura 33, a qual simula um coletor solar proposto instalado em um telhado com uma inclinação máxima de  $5^\circ$  e as aletas posicionadas a  $35,5^\circ$ .

FIGURA 33 - VISTA SUPERIOR DE COLETOR SOLAR PROPOSTO INSTALADO EM TELHADO COM ÂNGULO DE DECLIVIDADE MENOR QUE 5



FONTE: O AUTOR, ADAPTADO DE ANABEL ALVARES, 2012

Outro ponto a ser destacado é o fato do coletor proposto, quando submetido à variação angular, apresentar uma variação de temperatura, interferindo na sua eficiência, como mostra o QUADRO 4.

QUADRO 4 - MÉDIA DA DIFERENÇA ABSOLUTA DA TEMPERATURA ENTRE T1 E T2 EM °C

Ângulo de inclinação do coletor solar proposto em relação ao solo	Ângulo de inclinação da aleta em relação do coletor solar proposto	Ângulo de inclinação da aleta de geometria variável em relação ao solo	Media absoluta da temperatura
5°	30°	35,5°	3,0 °C a 3,2 °C
15°	20°	35,5°	3,2 °C a 3,4 °C
25°	10°	35,5°	3,4 °C a 3,6 °C
35°	0°	35,5°	3,6 °C a 4,0 °C

FONTE: O AUTOR (2016)

Analisando o QUADRO 4, pode-se perceber que há maior eficiência quando o coletor está a 35° com relação ao solo. Entretanto pode-se observar que a variação máxima na média absoluta de temperatura, independentemente do ângulo do coletor, foi de menos de 1 °C. Vale também ressaltar que, mesmo ocorrendo essa variação, a eficiência do coletor proposto ainda é superior ao comercial, como já apresentado nos gráficos. Esta variação é devida ao bloqueio dos raios solares gerados pela própria parede lateral da carcaça do coletor solar.

## 5.4 ANÁLISE DE CUSTO

Para a confecção do coletor solar proposto com aleta de geometria variável foram adquiridos diversos materiais, discriminados no QUADRO 5.

QUADRO 5 - DISCRIMINAÇÃO DOS MATERIAIS E SEUS RESPECTIVOS CUSTOS NO VAREJO

<b>Material</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor Unitário</b>	<b>Valor Total</b>
Tubo redondo Alumínio 3/8 x 1,0mm x 6000mm Liga 6063 T5 => 0,660 kg /barra (ICMS 18%)	2	R\$ 9,40	R\$ 18,80
Tubo Alumínio 1" x 1,0mm x 6000mm Liga 6063 T5 => 1,392 Kg / barra (ICMS 18%)	1	R\$ 22,50	R\$ 22,50
Chapa Lisa de Alumínio 3000mm x 1250mm x 3mm	0,5	R\$ 230,00	R\$ 115,00
Chapa Lisa de Alumínio 3000mm x 1000mm x 1mm	0,5	R\$ 170,00	R\$ 85,00
Folha de vidro comum 1000x1000 x 4mm	1	R\$ 30,00	R\$ 30,00
Cola Epóxi Araldite 50g	1	R\$ 29,90	R\$ 29,90
Isolante térmico de polietileno 1000x1500 x 15mm	1	R\$ 30,00	R\$ 30,00
Perfil de Alumínio em "L" 6000mm x 10mm x 10mm x 3mm	0,66	R\$ 30,00	R\$ 19,80
Mão de obra 4 horas de um metalúrgico**	4	R\$ 11,90	R\$ 47,50
Tinta preta automotiva comum	500 ml	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Total sem impostos			R\$ 408,00
Total com impostos 25%			R\$ 510,00

FONTE: O AUTOR (2016)

NOTAS: \* O VALOR MÉDIO FOI OBTIDO NO MÊS DE MARÇO DE 2015, ATRAVÉS DA COTAÇÃO PARA VENDA DIRETA AO CONSUMIDOR NAS PRINCIPAIS LOJAS DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO DE CURITIBA. \*\* PARA O CÁLCULO DA MÃO DE OBRA FOI LEVADO EM CONSIDERAÇÃO O PISO DA CATEGORIA DO SALÁRIO DE UM METALÚRGICO E TODA A CARGA TRIBUTÁRIA.

Obteve-se um custo total de R\$ 510,00 sendo que o coletor solar proposto obteve a redução de aproximadamente R\$ 30,00 (3 %) em relação ao coletor solar adquirido e R\$ 150,00 (25%) em relação ao coletor solar de maior valor apresentado no item 4.1.2. Porém é sabido que o custo de produção do coletor solar plano comercial, é aproximadamente de 30% menor, devido os descontos gerados pela maior quantidade de materiais que a indústria adquire e a isenção de alguns impostos de pessoa jurídica. Todavia, se o coletor solar com aleta de geometria variável for produzido em escala, por uma indústria metalúrgica, também terá esta redução.

## 5.5 VANTAGENS DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR COM ALETAS DE GEOMETRIA VARIÁVEL

O coletor solar de aleta de geometria variável apresentou uma série de vantagens diretas e indiretas, sendo estas:

- Maior captação de energia solar por  $m^2$  total de coletor solar;
- Redução no consumo de matéria prima na fabricação de coletores solares e conseqüentemente a redução do impacto ambiental;
- Menor custo de produção;
- O retorno financeiro da energia (tempo que se leva para produzir quantidade de energia que justifique sua fabricação) é de 2 a 5 anos, enquanto que o tempo de vida útil de um painel pode ser superior a 20 anos; sendo que com o aumento da eficiência o retorno será em menor tempo.
- A maior vantagem é a efetiva possibilidade de instalação do coletor solar de aleta de geometria variável nos mais diversos tipos de telhados com os ângulos entre  $5^\circ$  e  $45^\circ$ .

## 6 CONCLUSÃO

Conclui-se com esse trabalho que existe uma alternativa para a aquecimento de água em qualquer área e em qualquer tipo de construção apresentando uma solução para locais onde antes havia uma incapacidade técnica

A implantação de aquecimento solar em empreendimentos de qualquer porte mostrou-se viável com o ângulo variável da geometria das aletas, pois pode-se instalar os coletores em telhados de 5° a 45° de inclinação. Além disso, o experimento realizado apresentou uma média de 10% de aumento na temperatura da água do coletor solar com as aletas de geometria variável em relação ao coletor solar plano comercial, durante o ano todo mesmo com área de transferência de calor sendo inferior ao coletor solar comercial.

Sobre o custo de produção, o coletor solar proposto apresentou uma redução de 3% de custo podendo chegar a 30%, podendo ser ainda melhor se houver um comprometimento da esfera pública em reduzir os impostos para a construção de coletores solares para fins específicos, o que diminuiria drasticamente os custos para aquisição dos materiais, e por sua vez tornando este tipo de projeto mais atrativo.

Verificou-se também que em comparação dos custos com energia elétrica, o maior gasto se dá no aquecimento de água e que a implantação de um sistema de aquecimento de água para os chuveiros das edificações é viável e pode diminuir os custos no final do mês, considerando que essa diminuição dos custos acarreta em mais recursos para alimentação, educação e lazer, o que pode vir a melhorar a qualidade de vida da população.

Especialmente no Brasil onde há oportunidades de reurbanização de áreas que cresceram desordenadamente e abrigam uma população de baixa renda que necessita de investimentos públicos ou privados para que tenham sua qualidade de vida melhorada, a implantação destas novas tecnologias construtivas pode gerar benefícios a curto e médio prazo.

Ressalta-se a importância de uma conscientização mais efetiva da sociedade, de modo que esta entenda a importância da utilização de sistemas termo solares, tanto para o meio ambiente, quanto para a economia familiar e empresarial.

## 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao longo do desenvolvimento deste estudo identificaram-se questões correlatas que permitiriam o desenvolvimento de outros estudos para maximizar os resultados obtidos. Eis as sugestões para trabalhos futuros:

- a) As aletas dos coletores solares são pintadas com tinta comum preta, buscar alternativas de revestimento seletivo da absorção de calor.
- b) Estudar uma nova geometria de carcaça de coletor e seus materiais.
- c) Estudo para possibilidade de fazer aletas de ângulo reguláveis em coletores com tubos de vácuo.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil) (ANEEL). **Banco de Informações de Geração**, Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/15.htm> . Acesso em: 31 maio 2015.

Anabel Alvares. **Foto** disponível em <http://anabelalvarez.com.br/invista-em-um-sistema-de-aquecimento-de-água-a-energia-solar/>, acessado 22/06/2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECEIMENTO – ABRAVA - Manual de capacitação em projetos de sistemas de aquecimento solar, 2008. disponível em [www.dasolabrava.org.br](http://www.dasolabrava.org.br). acessado 20/03/2015

**Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestre** / coordenador Chigueru Tiba. et al. – Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000.

ARRUDA, L. B. **Operação de sistemas de aquecimento solar de água com controle de vazões em coletores planos**. 97 f, Tese (Doutorado em engenharia Mecânica) – Universidade São Paulo. São Paulo, 2004.

BAZZARELLA, B. B.; GONÇALVES, R. F. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações**. 104 f, Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espirito Santo, 2006.

BAPTISTA, A. S. C., **Análise da Viabilidade Econômica da Utilização de Aquecedores Solares de Água em Resorts no Nordeste do Brasil**. 90 f. Dissertação (Mestrado em ciências em planejamento energético) - COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

BENTIVENHA, L. C. **Determinação da eficiência de um coletor solar plano com aletas de vidro**. 74 p. Dissertação. (Mestrado em ciências da terra) Universidade estadual paulista “Júlio de Mesquita Filho” Botucatu, São Paulo, 2005.

BEVILL, V.D; BRANDT, H. A solar energy collector for heating air. Fresno, **Revista Science direct**. California. USA V.12, n.1, Setembro 1968, Pages 31- 50 Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0038092X68900224> Acesso em 15/06/2016

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de eficiência energética – Premissas e Diretrizes Básicas. Versão 18 out. de 2011. Disponível em: [http://www.orcamentofederal.gov.br/projeto-esplanada-sustentavel/pasta-para-arquivar-dados-do-pes/Plano\\_Nacional\\_de\\_Eficiencia\\_Energetica.pdf](http://www.orcamentofederal.gov.br/projeto-esplanada-sustentavel/pasta-para-arquivar-dados-do-pes/Plano_Nacional_de_Eficiencia_Energetica.pdf)

**Cartilha de aplicação e utilização energia solar no dia-dia**. Edição 2012. Solar Brasil, disponível em <<http://www.solarbrasil.com.br>> acessado em 13/04/2015.

**CBDES - Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar** Disponível em < <http://www.pucrs.br/cbsolar/ntsolar/index.htm>> acessado dia 8/6/2015.

Centro de pesquisas de energia elétrica. **Centro de referência para energia solar e eólica Sergio Brito** Manual de engenharia para sistemas solares. Rio de Janeiro: CRESESB/CEPEL, 2012. Disponível em: < [http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial\\_heliotermica\\_2012.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_heliotermica_2012.pdf)>. Acesso em: 10 mar. 2015.

CREDER H. **Instalações Hidráulicas e sanitárias** - 5ª Ed. Rio de Janeiro, Livros técnicos e científica editora, 1994.

CRESESB. Energia Solar - Princípios e Aplicações, Tutorial do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. Sérgio de Salvo Brito. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br>. Acesso em 14/04/2015.

ELETROBRÁS, Ministério de Minas e Energia, Procel Apresenta Pesquisa Sobre Posse e Uso de Equipamentos Elétricos. Divisão de Imprensa da Eletrobrás, 18/04/2012. Disponível em: <<http://www.eletobras.gov.br>>. Acesso em 15/05/2015.

FREITAS, G. S., DATHEIN, R. As Energias Renováveis No Brasil: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental. **Revista Nexos econômicos**, Salvador - BA, v. 7, n. 1 ,jan 2013. Disponível em: <<http://www.portalseer.ufba.br/index.php/revnexeco>>. Acesso em 15/05/2015,

HALLIDAY, D.; WALKER, J.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física 2 - Gravitação, Ondas, Termodinâmica** - 9ª Ed. Rio de Janeiro, 2012.

IMAGEM de Aleta de coletor solta comercial TEKHOUSE Aquecedores Solares, Disponível em: <<http://tekhouse.com.br/>>. Acesso em 14/04/2016.

KRENZINGER, A. **Análise de desempenho de diferentes tecnologias de aquecedores solares de água**, Disponível em: <http://www.solar.ufrgs.br/TrabAquec.html>. Acesso em: 30 mar. 2015.

KRENZINGER, A. **Desenvolvimento de Equipamento para Determinar a Emissividade de Superfícies**. Proceedings of the 10th Brazilian Congress of Thermal Engineering and Sciences, v. CD-ROM, Rio de Janeiro RJ, 2004.

KRENZINGER, A. MANEA, T. F. ; OLIVESKI, Rejane de Cesaro. **Avaliação Numérica da Convecção Natural em Coletores de Tubo Evacuado**. Revista Brasileira de Energia Solar, v. 5, p. 11-22, 2014.

LABSOL-UFRGS, LABORATÓRIO DE ENERGIA SOLAR - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul Porto Alegre - RS – Brasil, Disponível em: < <http://www.solar.ufrgs.br/> >. Acesso em: 30 mar. 2015.

**Manual "Qualidade em Instalações de Aquecimento Solar. Boas Práticas"**. Disponível em <<http://www.ufpa.br/inct-ereea/downloads.html>> acessado dia 8/6/2015.

MANEA, T. F. ; ROSA, F. N. ; KRENZINGER, A. . **Determinação dos Parâmetros de Desempenho de um Coletor Solar de Tubos de Vidro a Vácuo**. Revista Brasileira de Energia Solar, v. III, p. 39-46, 2012.

MENDES, G. R. de. **Procedimentos técnicos de um profissional qualificado na instalação de aquecedor solar**. 2010. 58 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Formas Alternativas de Energia) Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2010.

MENDONÇA, B.V. **Estudo da problemática da aplicação de coletores solares para aquecimento de água, no seguimento residencial de alto padrão, com bases em escalas de projeto arquitetônico e dimensões de planejamento**. 92 p. Dissertação. (Mestrado em engenharia elétrica) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MOURA, M. R., DE OLIVEIRA R. A. Consumo de energia elétrica: uma análise de fonte alternativa de coletor solar de baixo custo. **Revista Científica Perspectivas on line**. Rio de Janeiro RJ v. 5, n. 13 jan 2015. Disponível em: [http://www.seer.perspectivasonline.com.br/index.php/humanas\\_sociais\\_e\\_aplicadas/about](http://www.seer.perspectivasonline.com.br/index.php/humanas_sociais_e_aplicadas/about) >. Acesso em 15/05/2015

NBR 15569: Estabelece os requisitos necessários para se implementar um sistema de aquecimento solar (SAS), considerando aspectos de concepção, dimensionamento, arranjo hidráulico, instalação e manutenção, em que o fluido de transporte é a água, 2008.

NBR 15747-1: Especifica os requisitos de durabilidade (incluindo resistência mecânica), confiabilidade, segurança e desempenho térmico dos coletores solares de aquecimento de líquidos. Também inclui disposições para a avaliação das conformidades com esses requisitos, 2011.

NBR 15747-2: Especifica os métodos de ensaio para a validação dos requisitos de durabilidade, confiabilidade, segurança e desempenho térmico dos coletores solares de aquecimento de líquidos, 2011.

NICOL, J. FERGUS; HUMPHREYS, MICHAEL A. **Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings**. Disponível em <[http://nceub.commoncense.info/uploads//Paper05\\_Nicol.pdf](http://nceub.commoncense.info/uploads//Paper05_Nicol.pdf)> acessado dia 9/6/2015.

NT - Solar, Núcleo em tecnologia em Energia Solar. Disponível em <http://www.pucrs.br/cbsolar/> acessado dia 9/6/2015.

PEREIRA, E. M. D.; DUARTE, L. O. M.; PEREIRA, L. T.; FARIA, C. F. da C. Energia Solar Térmica. In: TOLMASQUIM, M. T. (org), 2003, Fontes Renováveis de Energia no Brasil. Ed. Interciência, Rio de Janeiro, 2003.

PINHO, T., GALDINO M. Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos. Cepel – Cresesb Rio de Janeiro Março de 2014. Disponível em

<[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf). Acessado dia 30/03/2015>.

RÍSPOLI, Í. A. G., MARIOTONI, C. A. Irradiação Solar - Dimensionamento e Verificação - Recursos na Palma da Mão, Revista Científica Avances em Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN 0329-5184. Argentina 2007.

RÍSPOLI, Í. A. G. Estudo do Aproveitamento da Energia Solar para o Aquecimento de Água em Edificações Unifamiliares de Baixa Renda. Dissertação de Mestrado FEC UNICAMP. BAE UNICAMP, Campinas SP Brasil 2001.

Roaf, Susan. **Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável** / Susan Roaf, Manuel Fuentes, Stephanie Thomas; tradução Alexandre Salvaterra. – 4. Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2009.

SALAMONI, Isabel; RÜTHER, Ricardo. **Sistema fotovoltaico integrado à edificação e interligado à rede elétrica: Eficiência energética e sustentabilidade**. LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações Departamento de Engenharia Civil / Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. Disponível em <[http://www.labeee.ufsc.br/linhas\\_pesquisa/energia\\_solar/.html](http://www.labeee.ufsc.br/linhas_pesquisa/energia_solar/.html)> acessado em 13/04/2015

SALAMONI, Isabel; RÜTHER, Ricardo; KNOB, Paulo; ZOMER, Clarissa; DINIZ, Antônia. **O potencial dos sistemas fotovoltaicos integrados à Edificação e interligados à rede elétrica em centros Urbanos do Brasil, 2004**. Disponível em <[http://www.labeee.ufsc.br/linhas\\_pesquisa/energia\\_solar.html](http://www.labeee.ufsc.br/linhas_pesquisa/energia_solar.html)> acessado em 13/04/2015.

SARTORI, E. Não há Falta de Energia nem de Chuvas. Energias Renováveis. Artigos. <http://www.aondevamos.eng.br/index.html> . Acessado em 20/04/2015

SIQUEIRA, Antônio Marcos de Oliveira ; KRENZINGER, A. . **Cálculo da Eficiência Diária em Média Mensal de um Sistema de Aquecimento Solar Operando em Regime de Termossifão**. In: Hamilton Moss de Souza; Patrícia de Castro da Silva; Ricardo Marques Dutra. (Org.). ARTIGO ENERGIA SOLAR E EÓLICA. Rio de Janeiro: CRESEB- CEPEL, 2003, v. 1, p. 135-144.

SOCIEDADE DO SOL, Aquecedor Solar de Baixo Custo. Organização não governamental. <http://www.sociedadedosol.org.br>. Acessado em Dezembro de 2015.

SOLETROL. O Aquecimento Solar em Núcleos Habitacionais. <<http://www.soletrol.com.br/noticias/informativos/49/2.php>>Acessado março de 2016.

WAGNER SOLAR/Le Journal des Énergies Renouvelables FOTO: **Instalação solar térmica em telhado na cidade de Frankfurt (Alemanha)**. Nº 221, 2014

J.R. WELTY, C.E. WICKS, RORRER, R.E.WILSON, **“Fundamentals of momentum, heat and mass transfer”**, 5th ed. John Wiley & Sons, Inc; N.Y., 2008.

## APÊNDICE

QUADRO 6 - RESULTADOS DO EXPERIMENTO

Resultado do Experimento	Hora do sol			Temperatura Real em C°		Média histórica em C°		Temperatura do Coletor T1 em C°		Temperatura do Coletor T2 em C°		Diferença Média entre T1 e T2	Ângulo do coletor
	Data	Nascer	Pôr	Duração dia	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Minima	Maxima	Minima		
01/06/2015	06:56	17:33	10:37	17	10	19	8	18,5	55,6	29	58,8	3,62	35°
02/06/2015	06:56	17:33	10:36	18	9	19	8	15,4	44,8	26,3	45,7	3,81	35°
03/06/2015	06:56	17:33	10:36	19	12	19	8	17,9	60,5	18,6	66,0	3,98	35°
04/06/2015	06:57	17:33	10:35	23	10	19	8	22,1	48,9	39,6	62,9	3,71	35°
05/06/2015	06:57	17:33	10:35	22	10	19	8	25,2	44,4	36,7	59,2	3,94	35°
06/06/2015	06:58	17:33	10:34	23	11	19	8	26,2	49,4	41,1	62,2	3,68	35°
07/06/2015	06:58	17:33	10:34	24	13	19	8	24,2	49	38,2	49,8	3,62	35°
08/06/2015	06:59	17:33	10:34	24	12	19	8	23,4	49,8	37,5	55,6	3,68	35°
09/06/2015	06:59	17:33	10:33	24	12	19	8	21,4	48,4	24,3	59,4	3,73	35°
10/06/2015	06:59	17:33	10:33	24	13	18	7	23,5	50,5	23,4	61,2	3,82	35°
11/06/2015	07:00	17:33	10:33	24	13	18	7	23,2	50,7	36,7	57	3,60	35°
15/06/2015	07:01	17:33	10:31	12	5	18	7	22,5	25,3	25,8	41,2	3,98	35°
16/06/2015	07:01	17:33	10:31	16	2	18	7	25,1	30,8	22,7	63,1	3,94	35°
17/06/2015	07:01	17:33	10:31	16	2	18	7	22,6	41,9	23,6	49,5	3,69	35°
21/06/2015	07:03	17:34	10:31	21	10	18	7	18,5	55,6	29	58,8	3,62	25°
22/06/2015	07:03	17:34	10:31	23	11	18	7	22,6	42	23,9	49,2	3,46	25°
23/06/2015	07:03	17:35	10:31	24	11	18	7	15,4	44,8	26,3	45,7	3,81	25°
24/06/2015	07:03	17:35	10:31	12	9	18	7	23,2	50,7	36,7	57	3,60	25°
25/06/2015	07:03	17:35	10:31	13	10	18	7	22,1	48,9	39,6	62,9	3,71	25°
26/06/2015	07:04	17:35	10:31	15	11	18	7	25,2	44,4	36,7	59,2	3,94	25°
27/06/2015	07:04	17:36	10:31	18	9	18	7	26,2	49,4	41,1	62,2	3,68	25°
28/06/2015	07:04	17:36	10:32	19	8	18	7	24,2	49	38,2	49,8	3,62	25°
29/06/2015	07:04	17:36	10:32	20	8	19	7	23,4	49,8	37,5	55,6	3,68	25°
30/06/2015	07:04	17:37	10:32	22	11	19	7	21,4	48,4	24,3	59,4	3,73	25°
01/07/2015	07:04	17:37	10:32	21	12	19	7	23,5	50,5	23,4	61,2	3,82	25°
02/07/2015	07:04	17:37	10:33	14	12	19	7	19,3	56,2	29,8	59,4	3,73	25°
03/07/2015	07:04	17:38	10:33	18	13	19	7	15,8	45,1	26,7	46	3,69	25°
04/07/2015	07:04	17:38	10:33	16	7	19	7	25,7	45,4	37,2	60,2	3,73	25°
05/07/2015	07:04	17:38	10:34	12	5	19	7	25,1	49,5	39,1	50,3	3,40	25°

Continua.

Continuação.

Resultado Experimento	Hora do sol			Temperatura Real em C°		Média histórica em C°		Temperatura do Coletor T1 em C°		Temperatura do Coletor T2 em C°		Diferença Média entre T1 e T2	Ângulo do coletor
	Data	Nascer	Pôr	Duração dia	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Mínima	Máxima	Mínima		
07/07/2015	07:04	17:39	10:35	17	13	19	7	23,7	51	23,7	61,6	3,62	25°
08/07/2015	07:04	17:40	10:35	16	13	19	7	22	49,3	25,3	59,9	3,73	25°
09/07/2015	07:04	17:40	10:36	17	10	19	7	23,5	51,1	37,2	57,9	3,35	25°
10/07/2015	07:04	17:40	10:36	20	7	19	7	27,2	51,4	41,7	62,6	3,78	25°
11/07/2015	07:03	17:41	10:37	20	13	19	7	23,9	50,8	38,3	56	3,72	25°
17/07/2015	07:02	17:44	10:41	17	14	20	7	23	42,6	24,6	49,5	3,7	15°
18/07/2015	07:02	17:44	10:42	23	12	20	7	16	53	17,1	56,4	2,3	15°
19/07/2015	07:02	17:44	10:42	23	12	20	7	33,8	57	34	58,1	2,85	15°
20/07/2015	07:01	17:45	10:43	23	13	20	7	23,3	44,2	24,1	49,6	3,7	15°
28/07/2015	06:58	17:49	10:50	22	5	20	7	10,2	43,9	13,3	50,3	3,3	15°
29/07/2015	06:57	17:49	10:51	23	8	20	7	16,2	55,3	55	22	3	15°
30/07/2015	06:57	17:50	10:52	22	9	20	7	20,1	55,8	21,7	63,1	3,9	15°
01/08/2015	06:56	17:51	10:54	26	11	20	7	18,9	59	20,6	64,7	4,2	15°
02/08/2015	06:55	17:51	10:56	24	10	20	7	23,1	51,2	25,1	55	3,4	15°
06/08/2015	06:52	17:53	11:00	25	12	20	8	19,2	48,9	20,1	52,1	2,8	15°
07/08/2015	06:52	17:53	11:01	26	12	20	8	19,5	52,9	21,4	57,8	4,1	15°
10/08/2015	06:50	17:55	11:05	24	14	20	8	16	51,8	15,9	51,8	2,5	5°
11/08/2015	06:49	17:55	11:06	25	14	20	8	17,1	35,6	19	38,5	2,98	5°
12/08/2015	06:48	17:56	11:07	24	14	20	8	14,2	28,6	14,5	33,5	3,28	5°
13/08/2015	06:47	17:56	11:08	25	11	20	8	16,5	20,6	5,5	21	2,52	5°
14/08/2015	06:46	17:56	11:09	25	13	20	8	16,9	42,8	18,2	46,1	2,9	5°
15/08/2015	06:46	17:57	11:11	25	12	20	8	14,9	31,5	16,4	36,4	2,99	5°
16/08/2015	06:45	17:57	11:12	25	12	20	8	23,6	43,2	24,1	48,3	3,08	5°
17/08/2015	06:44	17:58	11:13	24	12	20	8	28,6	42,0	24,6	49,9	3,6	5°
18/08/2015	06:43	17:58	11:15	24	13	20	8	15,2	51,2	15,1	51,2	2,39	5°
19/08/2015	06:42	17:59	11:16	19	12	20	8	16,7	35,3	18,6	38,2	3,1	5°
20/08/2015	06:41	17:59	11:17	16	9	20	8	14,4	30,5	15,9	35,4	3,1	5°
21/08/2015	06:40	17:59	11:18	19	10	20	8	22,7	42,7	23,2	47,8	3,3	5°
24/08/2015	06:38	18:01	11:22	14	12	20	8	5,4	20,2	4,9	20,2	2,63	5°
25/08/2015	06:37	18:01	11:24	16	12	20	8	14	28,1	14,2	33,1	3,48	5°
26/08/2015	06:36	18:01	11:25	20	12	20	8	16,3	41,9	17,2	45,6	2,8	5°

Continua.

Continuação.

Resultado Experimento	Hora do sol			Temperatura Real em C°		Média histórica em C°		Temperatura do Coletor T1 em C°		Temperatura do Coletor T2 em C°		Diferença Média entre T1 e T2	Ângulo do coletor
	Data	Nascer	Pôr	Duração dia	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Mínima	Máxima	Mínima		
28/08/2015	06:34	18:02	11:28	23	9	20	9	13,2	59,2	15	63,5	2,6	5°
31/08/2015	06:31	18:03	11:32	30	11	20	9	18,8	62,7	19,3	63,5	3,33	5°
01/09/2015	06:30	18:04	11:33	26	12	26	12	45,7	64,9	47,4	66	3,02	5°
02/09/2015	06:29	18:04	11:35	14	11	14	11	18,3	24,3	19,1	29	2,92	5°
03/09/2015	06:28	18:04	11:36	15	12	15	14	18,5	23,8	20	29,4	4,01	5°
14/09/2015	06:16	18:09	11:52	18	8	21	10	15,8	58,8	15,8	60	3,28	35°
15/09/2015	06:15	18:09	11:53	25	10	21	10	22	57	23,4	61,7	4,11	35°
16/09/2015	06:14	18:09	11:55	30	15	21	10	6,8	31,7	12,3	38,1	3,92	35°
17/09/2015	06:13	18:10	11:56	29	18	21	10	22,6	54,4	22,9	61	3,6	35°
18/09/2015	06:12	18:10	11:58	32	18	21	10	24,1	61,5	25,6	68,6	3,75	35°
19/09/2015	06:11	18:10	11:59	31	17	21	10	23,7	55,2	24,1	58,3	3,59	35°
20/09/2015	06:10	18:11	12:01	27	17	21	10	23,6	42,6	24,3	48,8	3,61	35°
21/09/2015	06:09	18:11	12:02	31	15	21	10	19,2	62,5	18,7	64,3	3,45	35°
22/09/2015	06:07	18:12	12:04	31	15	21	10	19,9	65,8	21,9	71,8	4,05	35°
23/09/2015	06:06	18:12	12:05	31	16	21	10	47,3	70,7	50,1	75,4	3,46	35°
24/09/2015	06:05	18:12	12:07	33	17	21	11	25	63,4	26,4	68,4	4,25	35°
25/09/2015	06:04	18:13	12:08	25	18	21	11	23,9	46,9	24,9	55,6	4,28	35°
26/09/2015	06:03	18:13	12:10	19	16	21	11	19,8	56,8	20,9	61,9	4,25	35°
05/10/2015	05:54	18:17	12:23	18	12	22	11	18,6	47,1	19,2	54,9	3,46	35°
06/10/2015	05:53	18:17	12:24	23	11	22	11	25	49,6	39	50,4	3,73	25°
07/10/2015	05:51	18:18	12:26	29	13	22	11	26,1	45,7	37,6	60,5	3,61	25°
08/10/2015	05:50	18:18	12:27	29	16	22	11	16,3	46,1	27,2	47	3,58	25°
09/10/2015	05:49	18:19	12:29	23	16	22	11	26	50	40	50,8	3,62	25°
10/10/2015	05:48	18:19	12:30	23	16	22	11	21,8	48,8	24,9	60,2	3,62	25°
11/10/2015	05:47	18:20	12:32	19	15	22	11	23,6	50,3	37,8	56	3,48	25°
12/10/2015	05:46	18:20	12:33	19	13	22	11	24,1	51,4	24,4	61,7	3,72	25°
13/10/2015	05:45	18:21	12:35	18	12	23	12	19,6	56,6	30,3	60,3	3,58	25°
14/10/2015	05:45	18:21	12:36	26	14	23	12	19,8	56,8	20,9	61,98	4,25	25°
15/10/2015	05:44	18:22	12:38	31	16	23	12	25,5	59,4	26,7	64,1	2,8	25°
16/10/2015	05:43	18:22	12:39	31	15	23	12	26	48,9	28,4	53,1	3,16	25°

Continua.

Continuação.

Resultado Experimento	Hora do sol			Temperatura Real em C°		Média histórica em C°		Temperatura do Coletor T1 em C°		Temperatura do Coletor T2 em C°		Diferença Média entre T1 e T2	Ângulo do coletor
	Data	Nascer	Pôr	Duração dia	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Mínima	Máxima	Mínima		
19/10/2015	06:40	19:24	12:43	22	10	23	12	19	47,4	20,3	51,1	3,12	15°
20/10/2015	06:39	19:24	12:45	32	13	23	12	24,6	42,1	25,8	47,7	3,01	15°
21/10/2015	06:38	19:25	12:46	31	17	23	12	32,7	52,1	34,3	51,7	3,15	15°
22/10/2015	06:37	19:25	12:48	19	15	23	12	24	28,3	26,5	32,5	4,03	15°
23/10/2015	06:36	19:26	12:49	20	14	23	12	21,2	37,2	22,1	43,3	3,16	15°
24/10/2015	06:36	19:26	12:50	18	13	24	12	29	37,9	30,4	41	3,33	15°
25/10/2015	06:35	19:27	12:52	16	12	24	12	26,1	28,7	28	34,4	3,94	15°
26/10/2015	06:34	19:28	12:53	19	13	24	13	22,8	29,3	23,8	35,4	3,94	15°
27/10/2015	06:33	19:28	12:55	26	15	24	13	32,7	52,1	34,2	51,7	3,15	15°
28/10/2015	06:32	19:29	12:56	22	16	24	13	19,2	48,8	20,0	55,1	3,48	15°
17/11/2015	06:21	19:42	13:21	24	15	25	14	17,1	32,1	19	36,1	3,63	35°
18/11/2015	06:21	19:43	13:22	25	17	25	14	17,8	47,1	53,6	18,3	3,62	35°
19/11/2015	06:20	19:44	13:23	25	17	25	14	30,1	43,1	32,1	49,7	3,9	35°
20/11/2015	06:20	19:44	13:24	25	14	25	14	19,4	28,5	25	36	4	35°
22/11/2015	06:20	19:46	13:26	20	12	26	14	19,1	31,8	23	35,7	4,05	35°
23/11/2015	06:19	19:47	13:27	21	16	26	14	17,1	36	15,5	42,9	2,9	35°
24/11/2015	06:19	19:47	13:28	21	14	26	14	23,3	38,3	20,2	45,3	2,95	35°
03/12/2015	06:19	19:54	13:35	22	17	26	12	33,7	46,2	35,5	52,2	4,14	35°
04/12/2015	06:19	19:55	13:35	24	17	26	12	33,8	48,5	33,5	54,7	4,03	35°
07/12/2015	06:19	19:57	13:37	22	15	26	12	31,2	41,2	31,1	49,6	3,89	35°
08/12/2015	06:19	19:58	13:38	28	16	26	12	33,8	45,2	35,5	52,2	4,02	35°
09/12/2015	06:20	19:58	13:38	24	18	26	12	33,7	47,5	33,5	54,7	4,01	35°
10/12/2015	06:20	19:59	13:38	24	18	26	12	35,2	51,7	38,8	63,1	3,99	35°
13/12/2015	06:21	20:01	13:40	28	17	27	12	17,1	32,1	19	36,1	3,53	35°
14/12/2015	06:21	20:01	13:40	28	18	27	12	19,5	47,6	20	54,4	3,57	35°
16/12/2015	06:22	20:03	13:40	23	17	27	12	30,1	43,1	32,1	49,7	3,9	35°
17/12/2015	06:22	20:03	13:41	26	16	27	12	23,4	28,5	25	36	4	35°
18/12/2015	06:23	20:04	13:41	28	18	27	12	22,1	31,8	23	35,7	4,05	35°
23/12/2015	06:25	20:06	13:41	28	18	27	12	26,1	36	15,5	42,9	2,9	5°

Continua.

Continuação.

Resultado Experimento	Hora do sol			Temperatura Real em C°		Média histórica em C°		Temperatura do Coletor T1 em C°		Temperatura do Coletor T2 em C°		Diferença Média entre T1 e T2	Ângulo do coletor
	Data	Nascer	Pôr	Duração dia	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Mínima	Máxima	Mínima		
24/12/2015	06:25	20:07	13:41	28	19	27	12	27,3	38,3	20,2	45,3	2,95	5°
25/12/2015	06:26	20:07	13:41	28	20	27	12	28,2	54,4	36,7	59,2	2,98	5°
26/12/2015	06:27	20:08	13:41	26	19	27	12	29,2	59,4	41,1	62,2	3,1	5°
27/12/2015	06:27	20:08	13:40	26	19	27	12	24,2	45	38,2	49,8	3,12	5°
28/12/2015	06:28	20:08	13:40	22	19	27	12	22,7	58,2	22,6	67,6	3,80	5°
29/12/2015	06:28	20:09	13:40	23	19	27	12	23,5	36,6	24,9	39,2	2,9	5°
05/01/2016	06:33	20:11	13:37	25	16	27	15	33,7	46,2	35,5	52,2	4,14	25°
06/01/2016	06:34	20:11	13:37	26	16	27	15	33,8	48,5	33,5	54,7	4,03	25°
07/01/2016	06:34	20:11	13:36	27	18	27	15	35,9	52,7	38,8	63,1	3,99	25°
08/01/2016	06:35	20:11	13:35	27	18	27	15	37,6	59,4	38,1	61,7	2,41	25°
09/01/2016	06:36	20:11	13:35	26	18	27	15	25,1	34,3	25,6	36,6	3,16	25°
10/01/2016	06:37	20:11	13:34	22	19	27	16	21,2	30,9	21,6	35,9	3,38	25°
11/01/2016	06:37	20:11	13:33	25	19	27	16	21,7	40,2	21,9	44,8	3,3	25°
12/01/2016	06:38	20:11	13:33	23	19	27	16	24,1	41	25	45,5	3,44	25°
13/01/2016	06:39	20:11	13:32	28	18	27	16	37,9	58,9	37,6	61,5	3,37	25°
18/01/2016	06:43	20:11	13:28	25	12	27	16	21,3	62,4	22,1	68,9	3,34	15°
19/01/2016	06:43	20:11	13:27	25	13	27	16	23,2	48,4	23,2	56,5	3,36	15°
20/01/2016	06:44	20:11	13:26	24	15	27	16	35	52,7	39,7	54	3,33	15°
25/01/2016	06:48	20:09	13:21	27	16	27	17	41,2	60	45,5	62,7	3,35	15°
26/01/2016	06:49	20:09	13:20	29	18	27	17	25	55,1	25,1	58,7	3,28	15°
27/01/2016	06:50	20:09	13:19	23	18	27	17	18,7	48,1	18,1	54,9	3,34	15°
28/01/2016	06:50	20:08	13:17	25	18	27	17	23,5	58,1	23,5	63,3	3,87	15°
29/01/2016	06:51	20:08	13:16	27	19	27	17	31,5	44,4	35	56	3,44	15°
30/01/2016	06:52	20:07	13:15	27	20	27	17	24,1	49,1	24,5	56,7	3,37	15°
31/01/2016	06:53	20:07	13:14	28	18	27	17	30,9	50,8	30,8	54,3	3,45	15°
01/02/2016	06:53	20:07	13:13	27	19	27	17	32,1	40,8	32,5	47,2	3,1	15°
02/02/2016	06:54	20:06	13:11	26	18	27	17	23,7	43,9	24,9	49	3,2	15°
03/02/2016	06:55	20:06	13:10	25	19	27	16	25,3	48,2	26,2	51,8	3,09	15°
12/02/2016	07:01	20:00	12:58	26	15	27	16	26,7	38,2	35,5	40,2	3,47	35°
15/02/2016	07:03	19:58	12:54	26	18	27	16	21,5	56,6	29	58,8	3,96	35°

Continua.

Continuação.

Resultado Experimento	Hora do sol			Temperatura Real em C°		Média histórica em C°		Temperatura do Coletor T1 em C°		Temperatura do Coletor T2 em C°		Diferença Média entre T1 e T2	Ângulo do coletor
	Data	Nascer	Pôr	Duração dia	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Mínima	Máxima	Mínima		
16/02/2016	07:04	19:57	12:53	25	19	27	16	23,4	40,8	26,3	45,7	3,64	35°
17/02/2016	07:04	19:56	12:51	27	18	27	16	35,2	53,7	36,7	57	3,66	35°
18/02/2016	07:05	19:56	12:50	29	18	27	16	37,1	58,9	39,6	62,9	3,8	35°
19/02/2016	07:06	19:55	12:49	28	18	27	16	32,2	54,4	36,7	59,2	3,6	35°
20/02/2016	07:06	19:54	12:47	26	19	27	16	39,2	59,4	41,1	62,2	3,61	35°
21/02/2016	06:07	18:53	12:46	26	17	27	16	34,2	45	38,2	49,8	3,92	35°
22/02/2016	06:08	18:52	12:44	26	18	27	16	23,5	36,6	24,9	39,2	3,7	35°
23/02/2016	06:08	18:51	12:43	24	18	27	16	24,2	63,5	24,1	66,2	3,92	35°
02/03/2016	06:13	18:44	12:31	22	16	26	16	29,2	38,2	31,2	43,1	3,23	5°
03/03/2016	06:13	18:43	12:30	24	16	26	16	22,9	44	23,2	45,6	3,27	5°
04/03/2016	06:14	18:42	12:28	24	16	26	16	25,2	58,8	25,2	68,8	4,1	5°
07/03/2016	06:15	18:39	12:24	27	17	26	15	33,2	60,9	36,4	63,6	2,89	5°
08/03/2016	06:16	18:38	12:22	25	18	26	15	26,3	51,3	26,6	57,7	3,28	5°
09/03/2016	06:16	18:37	12:21	26	18	26	15	25,2	57,2	25,2	61,6	3,23	5°
11/03/2016	06:17	18:35	12:18	24	16	26	15	22	56,1	22,1	57,6	3,2	5°
13/03/2016	06:18	18:33	12:15	22	15	26	15	19	60	19,5	19,2	65,6	5°
28/03/2016	06:25	18:18	11:52	25	13	24	14	25,6	55,4	28,4	59,4	3,23	15°
29/03/2016	06:25	18:17	11:51	27	14	24	14	38,4	55,2	39,4	59,4	3,26	15°
06/04/2016	06:29	18:08	11:39	28	17	24	13	19,3	62,1	19,9	67,3	4,01	15°
07/04/2016	06:29	18:07	11:38	30	16	24	13	16,9	62,8	18,1	69	3,22	15°
08/04/2016	06:30	18:06	11:36	29	18	24	13	28,5	58,1	31,4	61,7	3,25	15°
11/04/2016	06:31	18:03	11:32	27	18	23	12	21,5	49,8	22	54,5	3,38	25°
12/04/2016	06:32	18:03	11:30	27	18	23	12	19,8	30,4	21	35,1	3,34	25°
13/04/2016	06:32	18:02	11:29	25	18	23	12	31,8	47,7	32,3	55,3	3,36	25°
14/04/2016	06:32	18:01	11:28	27	15	23	12	25,3	51,6	26	55,3	3,31	25°
16/04/2016	06:33	17:59	11:25	27	16	23	12	23,1	64,1	23,4	69,1	3,39	25°
02/05/2016	06:41	17:46	11:04	27	16	22	11	16,7	54,8	17,2	60,2	3,35	35°
03/05/2016	06:42	17:45	11:03	27	16	22	11	36,7	62,2	37,2	68,6	3,9	35°
04/05/2016	06:42	17:44	11:02	27	16	21	10	19,9	43,2	20,2	49,2	4	35°

Continua.

Continuação

Resultado Experimento	Hora do sol			Temperatura Real em C°		Média histórica em C°		Temperatura do Coletor T1 em C°		Temperatura do Coletor T2 em C°		Diferença Média entre T1 e T2	Ângulo do coletor
	Data	Nascer	Pôr	Duração dia	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Mínima	Máxima	Mínima		
05/05/2016	06:43	17:44	11:01	22	13	21	10	20	36,2	20,4	44,7	3,85	35°
06/05/2016	06:43	17:43	11:00	21	14	21	10	19,7	37,8	20,1	44,2	4	35°
07/05/2016	06:44	17:42	10:58	20	13	21	10	21,3	36,5	20,2	43,3	4,02	35°
08/05/2016	06:44	17:42	10:57	20	14	21	10	23	34,3	20	46,3	4,03	35°
09/05/2016	06:45	17:41	10:56	21	15	20	10	19,9	61,1	20,1	66,3	3,96	35°
23/05/2016	06:52	17:35	10:43	16	9	19	9	27,2	60,1	27,3	60,1	3,32	5°
24/05/2016	06:52	17:35	10:42	16	9	19	9	32,1	69,1	31,7	69,3	3,42	5°
25/05/2016	06:53	17:34	10:41	16	9	19	9	25,2	53,6	26	58,6	3,39	5°
26/05/2016	06:53	17:34	10:41	19	10	19	9	33	37,2	33,1	45,1	3,39	5°
27/05/2016	06:54	17:34	10:40	16	8	19	8	7,6	52,1	8,1	58,2	3,58	5°
28/05/2016	06:54	17:34	10:39	17	9	19	8	9,6	50,3	10	60,7	3,45	5°

Conclusão.