

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARCUS GRACHINSKI BUIAR

COLETORES SOLAR

CURITIBA

2015

MARCUS GRACHINSKI BUIAR

COLETORES SOLAR

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Mecânica, no Curso de Graduação de Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof Dr. Luciano Kiyoshi Araki

CURITIBA

2015

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, amigos e familiares, que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado, me ajudando e ensinando a superar cada um dos desafios encontrados.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luciano Kiyoshi Araki, pelo acompanhamento, apoio e grandes ensinamentos.

RESUMO

Os coletores solares são sem dúvida os componentes mais importantes de um sistema de aquecimento solar, para o funcionamento ideal de um sistema de aquecimento solar é necessário um posicionamento correto do coletor solar, tanto em relação ao reservatório térmico, quanto em relação ao Sol. Outro fator a ser considerado no projeto de um sistema de aquecimento solar é o tipo de coletor solar a ser instalado. Para aplicações em que a temperatura da água não necessita ser superior a 40° C o uso de um coletor solar de placa plana aberta é suficiente, entre 40° C e 90°C é recomendado o uso de um coletor solar de placa plana fechada. Acima desses valores até aproximadamente 200° C é recomendado o uso de um coletor solar de tubo evacuado. Os coletores solares podem ser classificados de acordo com diversos critérios, como por exemplo: Porte, circulação (natural ou forçada), tipo de sistema (convencional, integrado ou compacto) e o tipo de fluido de trabalho.

Palavras-chave: Energia renovável. Coletor solar. Sistema de aquecimento solar. Tipos de coletor solar. Temperatura atingida.

ABSTRACT

The solar thermal collectors are by far the most important components of a solar heating system, for optimal operation of a solar heating system correct positioning of the solar collector is required, both in relation to the thermal storage tank, and in relation to the sun. Other factor to be considered in the design of a solar heating system is the type of solar thermal collector to be installed. For applications where the water temperature does not need to exceed 40 ° C using an open flat plate solar collector is sufficient. Between 40 ° C and 90 ° C is recommended to use a closed solar flat plate collector. Beyond that up to about 200 ° C is recommended to use an evacuated tube solar collector. The solar collectors can be classified according to several criteria, such as: size, circulation (natural or forced), system type (conventional, integrated or compact) and the type of working fluid.

Key-words: Renewable Energy. Solar thermal collector. Solar water heating.
Types of Solar thermal collectors. Temperature reached.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – HORACE-BÉNÉDICT DE SAUSSURE.....	14
FIGURA 2 – CLIMAX SYSTEM.....	15
FIGURA 3 – COMPONENTES DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR.....	17
FIGURA 4 – VISTA EM DETALHE DO RESERVATÓRIO TÉRMICO.....	18
FIGURA 5 – COLETOR DE PLACA PLANA ABERTA.....	19
FIGURA 6 – COLETOR SOLAR DE BAIXO CUSTO.....	20
FIGURA 7 – VISTA EM CORTE DE UM COLETOR SOLAR DE PLACA PLANA FECHADA.....	21
FIGURA 8 – VISTA EM CORTE DE UM COLETOR SOLAR DE TUBO EVACUADO.....	22
FIGURA 9 - SISTEMA DE COORDENADAS LOCAL.....	26
FIGURA 10 – SISTEMA DE COORDENADAS COM ORIGEM NO CENTRO DA TERRA.....	27
FIGURA 11 – SISTEMA DE COORDENADAS LOCAL TRANSLADADO PARA O CENTRO DA TERRA.....	28
FIGURA 12 – SISTEMA DE COORDENADAS A PARTIR DO COLETOR SOLAR.....	30
FIGURA 13 – ÂNGULO DE PERFIL SOLAR.....	31
FIGURA 14 – MÉDIA DE RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL DIÁRIA.....	33
FIGURA 15 – RELAÇÃO ENTRE OS RAIOS SOLARES DIRETOS INCIDENTES SOBRE UMA SUPERFÍCIE HORIZONTAL E INCLINADA.....	34
FIGURA 16 – VISTA DO CÉU E DO CHÃO A PARTIR DE UM COLETOR SOLAR INCLINADO.....	35
FIGURA 17 – CENTRAL CONTROLADORA QUE FOI UTILIZADA NO EXPERIMENTO PARA OBTENÇÃO DA TEMPERATURA DO RESERVATÓRIO.....	37
FIGURA 18 – CÂMERA UTILIZADA NO EXPERIMENTO.....	38

FIGURA 19 – ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA (EMA).....	39
FIGURA 20 – MAPA DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS.....	39
FIGURA 21 – INSTANTÂNEO TIRADO DE UM DOS VÍDEOS DO EXPERIMENTO.....	40
FIGURA 22 – DADOS REFERENTES À ESTAÇÃO AUTOMÁTICA DE CURITIBA PARA O DIA 28/10/2015.....	41
FIGURA 23 – COTAÇÃO REALIZADA PARA COLETORES SOLARES	49
FIGURA 24 – PROPRIEDADES DO CHUVEIRO UTILIZADO NA ANÁLISE.....	50
FIGURA 25 – DADOS SOBRE A TARIFA ENERGÉTICA DA COPEL.....	51
FIGURA 26 – QUANTIDADE DE HORAS DE SOL POR MÊS NO ANO DE 2014 PARA CURITIBA.....	52

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CÁLCULO DA ECONOMIA GERADA EM UM ANO POR UM COLETOR SOLAR INSTALADO NA CIDADE DE CURITIBA.....	53
TABELA 2 - CÁLCULO DA ECONOMIA GERADA EM UM ANO POR UM COLETOR SOLAR INSTALADO NA CIDADE DE SÃO PAULO.....	54
TABELA 3 - CÁLCULO DA ECONOMIA GERADA EM UM ANO POR UM COLETOR SOLAR INSTALADO NA CIDADE DE FORTALEZA.....	55
TABELA 4 – RESULTADO DA ESTIMATIVA DE TEMPO PARA O RETORNO FINANCEIRO DO INVESTIMENTO INICIAL DE UM COLETOR SOLAR.....	56

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - RADIAÇÃO E TEMPERATURA DIA 19/10/2015.....	42
GRÁFICO 2 - RADIAÇÃO E TEMPERATURA DIA 20/10/2015.....	43
GRÁFICO 3 - RADIAÇÃO E TEMPERATURA DIA 21/10/2015.....	44
GRÁFICO 4 - RADIAÇÃO E TEMPERATURA DIA 22/10/2015.....	45
GRÁFICO 5 - RADIAÇÃO E TEMPERATURA DIA 23/10/2015.....	45
GRÁFICO 6 - RADIAÇÃO E TEMPERATURA DIA 24/10/2015.....	46
GRÁFICO 7 - RADIAÇÃO E TEMPERATURA DIA 28/10/2015.....	47
GRÁFICO 8 - RADIAÇÃO E TEMPERATURA DIA 29/10/2015.....	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 HISTÓRIA DO AQUECEDOR SOLAR.....	14
3.2 DEFINIÇÃO E TIPOS DE COLETORES SOLAR	16
3.3 RADIAÇÃO	22
3.4 GEOMETRIA SOLAR	23
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
5.1 EXPERIMENTO	40
5.2 ANÁLISE DO RETORNO FINANCEIRO DO INVESTIMENTO.....	48
6. CONCLUSÃO.....	57
7. REFERÊNCIAS.....	58

1. INTRODUÇÃO

O Brasil passa por um período de transição, um período de mudança na mentalidade e uso funcional de recursos. A razão por trás dessa evolução de pensamento é composta de diversos fatores, como o esgotamento dos recursos naturais de energia, aumento no preço da tarifa de energia elétrica e a crescente preocupação com os efeitos ao meio ambiente que o uso dessas fontes não limpas possa causar.

“Desde 02 de março de 2015 está em vigor o novo valor da tarifa de energia elétrica, determinado pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), para todas as distribuidoras. Esse aumento se deve ao aumento do custo de geração de energia hidrelétrica e acionamento de usinas termoelétricas, por conta do baixo nível de água dos reservatórios das usinas. O aumento médio de uma conta para clientes residenciais foi de 33%.” (AES ELETROPAULO, 2015).

A energia hidrelétrica, por exemplo, exige o alagamento de uma área consideravelmente grande para ser produzida, o que impacta no ecossistema local, desabrigando várias espécies e inutiliza a área para demais propósitos; A energia Nuclear que gera lixo tóxico e traz consigo o risco de acidentes ou desastres atrelados à radiação; A queima de combustíveis fósseis em termoelétricas e em veículos já é conhecida por poluir de maneira incomparável gerando gases responsáveis pelo efeito estufa, chuva ácida, problemas de saúde, contaminação da água e prejudicar animais e plantas.

Apesar dos fatores citados acima e outros, a matriz energética global ainda está desatualizada para essa nova linha de pensamento, pois países como os Estados Unidos da América e a China, grandes potências mundiais consomem quantidades absurdas de petróleo, carvão e gás.

A China responde por aproximadamente metade da poluição mundial com gases do efeito estufa produzidos na queima de carvão. (LEITE, 2015)

Os coletores de energia solar para aquecimento de água utilizam uma fonte de energia inesgotável em primeira instância, o Sol. Uma energia que até o momento da nossa sociedade não foi devidamente aproveitada, e está sempre presente. O nosso planeta recebe em um dia de céu claro, no zênite

aproximadamente 1400 Watts/m². Essa energia pode ser coletada se utilizando de vários processos, seja pra gerar energia elétrica ou uso puro de sua capacidade térmica. Nesse trabalho será contemplado em sua maioria o uso da energia solar como fonte de calor e serão explicados os diversos tipos de coletor solar para aquecimento de água.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar o princípio de funcionamento e analisar as implicações envolvendo diferentes tipos de coletores solar para aquecimento de água.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o efeito das propriedades do coletor solar de tubos evacuados em relação à sua eficiência.
- Estudar temperaturas atingidas em diferentes situações.
- Analisar as perdas de eficiência e motivos para tais.
- Comparar a eficiência de um coletor solar de placa plana com um coletor de tubos evacuados.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 HISTÓRIA DO AQUECEDOR SOLAR

Com o aperfeiçoamento de técnicas para produção de vidro e o crescente uso dele como matéria-prima de diversos produtos o mundo percebeu sua capacidade de trabalhar juntamente ao sol, mais precisamente Horace-Bénédict de Saussure (figura 1) observou que um ambiente fechado com vidro se tornava mais quente à medida que o sol passava pelo vidro. Então em 1767 o naturalista criou uma estufa composta por cinco caixas de vidro de diferentes tamanhos, para que fosse possível sobrepor uma dentro da outra, chamada por ele de “caixa quente”. Esta estufa foi posicionada sobre uma mesa preta e direcionada perpendicularmente ao sol para obter o maior aproveitamento possível de luz solar. Horace percebeu que as caixas tinham maior temperatura à medida que fosse de uma camada mais interna e nessa estufa foi possível atingir uma temperatura máxima de 87° C. (PERLIN & BUTTI, 1980)

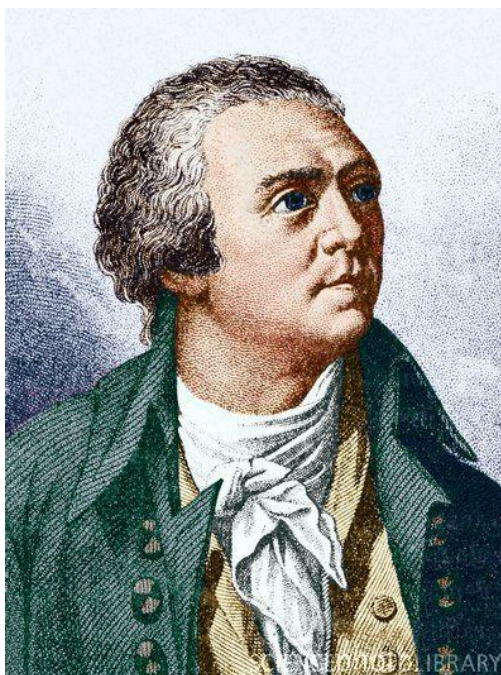


FIGURA 1 – HORACE-BÉNÉDICT DE SAUSSURE
FONTE: PERLIN & BUTTI (1980)

Não demorou muito para que de Saussure atingisse maiores temperaturas. Em seu segundo experimento ele já utilizou uma caixa de madeira revestida de cortiça pintada de preto.

O próximo grande passo na história dos coletores solares planos foi dado pelo astrofísico americano Samuel Pierpont Langley em 1881 ao viajar para o monte Whitney, ele levou consigo uma “caixa quente” para realizar experimentos. Em 1882 ele publicou seus experimentos e resultados. Um desses relatos dizia que ao subir a montanha, ao atingir uma temperatura ambiente baixa o suficiente para o congelamento da água, um reservatório de cobre após duas camadas de vidro da caixa quente tinha temperatura acima do ponto de ebulição da água, permitindo assim ferver água em um equipamento deste tipo em um campo de neve. (PERLIN & BUTTI, 1980)

A primeira patente para um aquecedor solar de água foi feita em 1896 por Clarence Kemp. O equipamento se chamava Climax system (figura 2). A curiosidade fica por conta da motivação de Clarence: Na época a água para banho era esquentada através de uma serpentina que passava por fogões a lenha, e Clarence achava desagradável toda vez que fosse tomar banho ter que acender o fogão.

Climax Solar-Water Heater
UTILIZING ONE OF NATURE'S GENEROUS FORCES
THE SUN'S HEAT { Stored up in Hot Water for Baths,
Domestic and other Purposes.

Price Of No. 1 Heater for
1892 Reduced to \$15 Net

GIVES HOT WATER at all HOURS
OF THE DAY AND NIGHT.
NO DELAY.
FLOWS INSTANTLY.
NO CARE. NO WORRY.
ALWAYS CHARGED. ALWAYS READY.
THE WATER AT TIMES
ALMOST BOILS.

Price, No. 1, \$25.00
This Size will Supply sufficient
for 3 to 6 Baths.

CLARENCE M. KEMP, BALTIMORE, MD.

Outlet Inlet

FIGURA 2 – CLIMAX SYSTEM

FONTE: PERLIN & BUTTI (1980)

O Climax System consistia em três tanques montados em uma caixa coberta com vidro, que por sua vez era colocada sobre o telhado de maneira perpendicular à luz solar. Os tanques recebiam água da rede hidráulica da casa e eram utilizados não somente para o banho. (PERLIN & BUTTI, 1980)

3.2 DEFINIÇÃO E TIPOS DE COLETORES SOLAR

3.2.1 Definição

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) em sua NBR 15569 “Sistemas de Aquecimento Solar de água em circuito direto – Projeto e instalação” define o sistema de aquecimento solar (SAS) por sistema composto por coletor(es) solar(es), reservatório(s) térmico(s), aquecimento auxiliar, acessórios e suas interligações hidráulicas que funciona por circulação natural ou forçada.

Um sistema de aquecimento solar pode ser classificado de acordo com quatro critérios:

- Porte. Está relacionado com o volume de água diária a ser aquecido e as implicações espaciais impostas pelo local da instalação.
- Circulação. Pode ser natural, de acordo com o fenômeno de termossifão, que garante que a água ao aquecer tem sua densidade reduzida, fazendo assim com que a água quente suba e a água fria desça. Ou forçada, geralmente associada a sistemas de grande porte. Esse tipo de circulação conta com a ajuda de uma bomba hidráulica. Pode ser a única solução caso a arquitetura do ambiente a ser instalado o sistema de aquecimento solar não permita o efeito termossifão.
- Tipo de sistema. Pode ser convencional, sistema no qual é possível diferenciar os componentes. Acoplado/ compacto,

sistema que possui em o coletor solar anexado ao reservatório térmico. Integrado, sistema que possui coletor solar e reservatório térmico em uma única peça, sendo impossível a diferenciação desses dois componentes.

- Troca de calor. O sistema de aquecimento solar pode utilizar diferentes fluídos de trabalho. Quando o fluído aquecido em primeira instância é a água que será utilizada nos pontos de consumo, o sistema é dito de troca direta. É possível utilizar um fluído intermediário para a troca de calor, caso raramente visto, e aplicado geralmente em locais com risco de congelamento da água.

Para um melhor entendimento do funcionamento dos coletores solares se faz necessário uma introdução breve aos outros componentes de um sistema de aquecimento solar (figura 3).

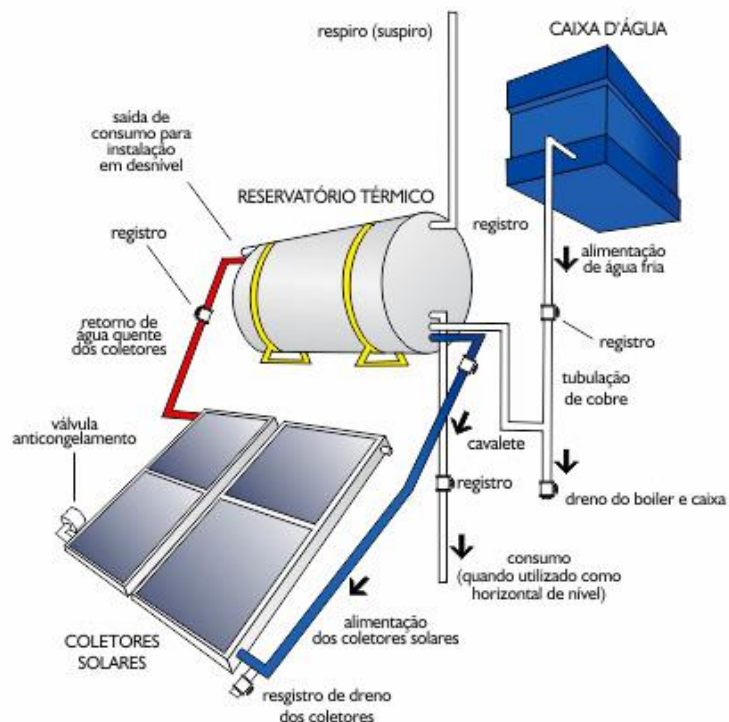


FIGURA 3 – COMPONENTES DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

FONTE: COMO funciona o aquecedor solar de água soletrol (s/ data)

Por aquecimento auxiliar pode-se entender resistências elétricas ou outro tipo de aquecedor a gás. Esse tipo de equipamento deve ser ligado apenas em dias que a radiação solar seja insuficiente para atingir a temperatura desejada. Tal fato ocorre geralmente em épocas com dias nublados consecutivos e/ou quando a demanda de água quente é atípica.

O reservatório (figura 4) consiste em um tanque termicamente isolado, com um sistema complexo de realimentação de água. Este sistema de realimentação define o sistema como de circulação natural ou forçada.

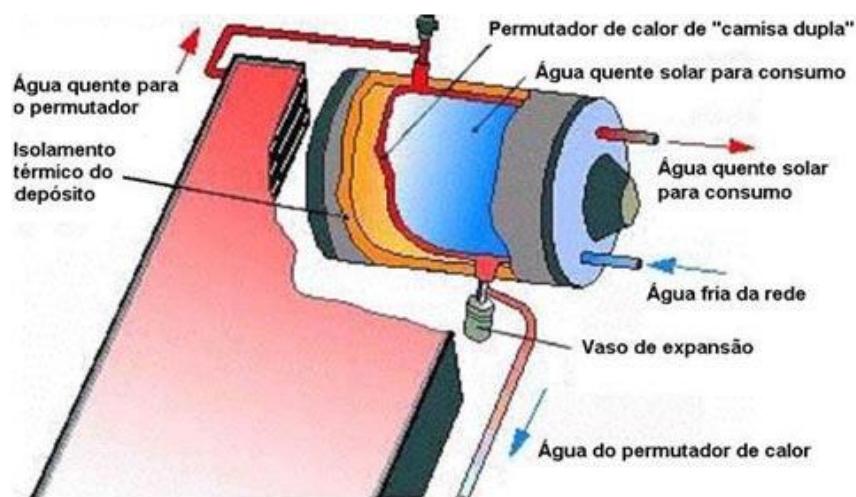


FIGURA 4 – VISTA EM DETALHE DO RESERVATÓRIO TÉRMICO
FONTE: AQUECEDOR solar: utilização e vantagens (s/ data)

O sistema de circulação forçada é aquele que utiliza uma bomba compressora, para induzir a circulação da água dentro dos coletores, geralmente se utiliza esse tipo de sistema em casos industriais ou que a arquitetura da construção não permita o posicionamento do reservatório acima do coletor. O outro tipo de sistema, de circulação natural utiliza o princípio da Termodinâmica que garante que um fluido ao aumentar de temperatura sofre uma redução em sua densidade, isso em conjunto com um posicionamento adequado do sistema de tubos de transporte, coletores solares e reservatório térmico, garante que a água fria advinda da rede de alimentação urbana, permaneça na parte inferior da caixa d'água, e saia para os coletores solar. Terminando o trajeto dos coletores solar a água teve um acréscimo em Sua

temperatura e decréscimo em sua densidade, fazendo com que fique mais leve, sendo assim despejada na parte superior da caixa d'água. Todo esse movimento hidráulico desde o reservatório, passando pelo coletor solar e voltando ao reservatório é conhecido como Termosifão. A retirada da água quente para o consumo deve ser feita então da parte de cima do reservatório. Para garantir o bom funcionamento de um sistema de aquecimento solar de circulação natural é importante o posicionamento do reservatório térmico ligeiramente acima dos coletores solares.

3.2.2 Tipos de coletores solar

O coletor solar mais usado em aplicações de baixo custo e que não necessitam atingir temperaturas muito elevadas são os coletores do tipo placa plana aberta e fechada. Os coletores solares de placa plana aberta (figura 5) são os mais baratos dentre todos os tipos de coletores solares, pois podem ser feitos com materiais facilmente encontrados e de baixo custo, abaixo é possível analisar uma imagem em corte de um coletor de placa plana aberta:



FIGURA 5 – COLETOR DE PLACA PLANA ABERTA
FONTE: COMO funciona o aquecedor solar (s/ data)

O material mais utilizado na composição dos coletores solares de placa plana é o cobre e o alumínio, que compõem o trocador de calor que realiza a transformação da energia solar em forma de radiação solar em energia térmica. Essa placa possui uma coloração escura derivada de um esmalte preto ou pintura metálica a fim de melhorar a absorção de calor pela placa. No coletor solar de placa plana aberta o trocador recebe calor na forma de radiação e perde calor para o fluxo de água constante que atravessa o mesmo, além de perder calor para o ambiente através do processo de convecção.

Existem variações deste tipo de coletor, feitos com materiais ainda mais baratos, como o Policloreto de Polivinila (PVC). Como pode ser visto na figura 6, tirada de uma residência da região rural da Colônia Witmarsum, onde o sistema de aquecimento solar é composto das placas planas abertas, sendo que foi adicionada uma galeria de tubos de PVC pretos em conjunto com as placas. Para esse sistema o reservatório térmico é a própria caixa d'água, sendo a circulação de água forçada, utilizando uma bomba hidráulica, devido à complexidade da galeria de tubos.



FIGURA 6 – COLETOR SOLAR DE BAIXO CUSTO

Fonte: O AUTOR (2015)

Já o coletor solar de placa plana fechada (figura 7) é composto de uma caixa metálica isolada, o trocador de calor na forma de serpentina de tubos de cobre, e a camada superior da caixa é composta de vidro ou plástico, como é possível ver no esquema abaixo.

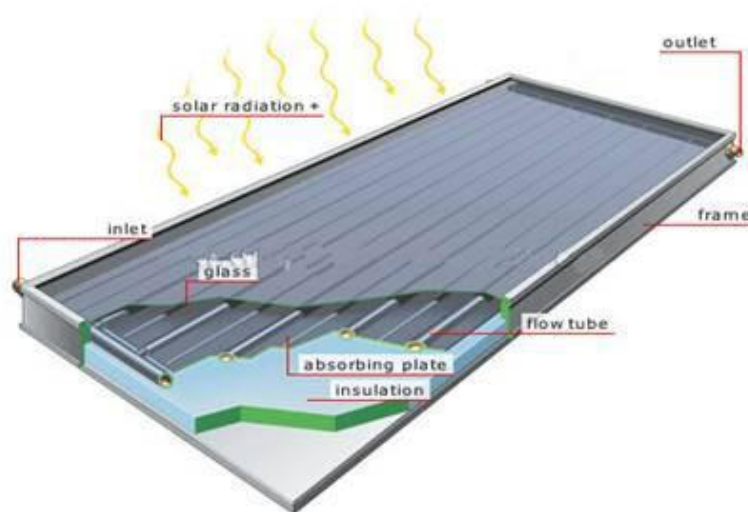


FIGURA 7 – VISTA EM CORTE DE UM COLETOR SOLAR DE PLACA PLANA FECHADA

FONTE: SOLAR flat plate collectors for water heating (2015)

A cor escura da placa absorvente vem dos revestimentos especiais que absorvem e retêm calor melhor do que o metal isoladamente ou uma pintura preta comum.

Os coletores solares de tubos evacuados (figura 8) são recomendados para residências e indústrias que não necessitam de água a temperaturas acima de 200° C. Esse tipo de coletor solar também é dividido em coletores de alta pressão e baixa pressão. Os coletores de baixa pressão funcionam seguindo o mesmo princípio de circulação natural, sem a utilização de bombas. Esse sistema consegue fornecer água a temperaturas de 90° C em dias ensolarados.



FIGURA 8 – VISTA EM CORTE DE UM COLETOR SOLAR DE TUBO EVACUADO
 FONTE: COLETOR solar a vácuo. (2015)

Existem outros tipos de coletores solares que não serão abordados nesse trabalho, pois possuem alta complexidade e outras funcionalidades, como por exemplo, gerar energia. São eles: Concentrador fixo; Parabólico; Refrator Fresnel; Prato refletor esférico; Prato refletor parabólico e Receptor central ou torre de aquecimento.

3.3 RADIAÇÃO

Segundo INCROPERA (2005) a radiação seria a propagação de um conjunto de partículas conhecidas como Fótons. Alternativamente a radiação pode ser vista como a propagação de ondas eletromagnéticas.

A radiação é o fenômeno mais importante em se tratando de coletores solares. Dela provém toda a energia necessária para aquecer o sistema,

diferentemente da crença popular que acredita que o ambiente precisa estar quente. Através da compreensão desse fenômeno é possível desvendar o funcionamento do aquecedor solar. De acordo com BEZERRA (1986), Em um dia com abundância solar aproximadamente 75% de toda energia solar em forma de radiação que chega à ionosfera (camada da atmosfera ionizada pela radiação solar. Engloba tanto a termosfera quanto a exosfera) atinge a superfície terrestre, enquanto que em um dia com muitas nuvens esse valor pode cair até 15%. Para compreender o fenômeno da radiação é preciso uma breve introdução a alguns conceitos.

3.4 GEOMETRIA SOLAR

Os movimentos de Rotação e translação terrestres influenciam diretamente na eficiência dos coletores solar, pois afetam a inclinação e a distância que os raios solares atingem a Terra. Futuramente será visto os motivos dos ângulos influenciarem na eficiência dos coletores.

Imaginando uma linha que conecte o centro do Sol com o centro da Terra. O ângulo formado entre essa linha e o centro geométrico da Terra no plano limitado pela linha do Equador, é chamado de ângulo de declinação solar (δ). Foi convencionado que valores negativos representariam o hemisfério Sul e valores positivos o hemisfério Norte. (ANDERSON, 1983)

O valor desse ângulo varia de acordo com a época do ano, sendo que a equação que melhor representa esse valor é:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left[\frac{360}{365} \cdot (284 + n) \right] \quad (1)$$

Onde n é igual ao dia do ano, valendo um para o dia um de janeiro e 365 para o dia trinta e um de dezembro. Por se tratar de uma função senoidal temos obrigatoriamente zeros, máximos e mínimos. Derivando essa função temos:

$$\delta' = 23,12876712 \cdot \cos \left[\frac{360}{365} \cdot (284 + n) \right] \quad (2)$$

Partindo de propriedades do cosseno e igualando a derivada a zero para termos os máximos:

$$\frac{360}{365} \cdot (284 + n) = 90 \quad (3)$$

$$\frac{360}{365} \cdot (284 + n) = 270 \quad (4)$$

Temos que:

$$n1 = -192,75 \quad (5)$$

$$n2 = -10,25 \quad (6)$$

Os valores negativos encontrados, se reduzidos de 365 mostram que $n2$ é equivalente ao 356º dia do ano, ou seja, 22 de dezembro, o solstício de verão. E $n1$ é o 173º dia no ano, ou seja, 22 de junho, o solstício de inverno.

Interpretando esses resultados, é possível chegar facilmente ao entendimento do que é o solstício. Acontecendo nesses dias os maiores ângulos de declinação solar, temos, portanto no ponto do hemisfério sul no dia 22 de dezembro aonde o sol incide perpendicularmente o trópico de capricórnio e no hemisfério norte no dia 22 de junho temos o trópico de câncer. Os solstícios também marcam a data exata da mudança das estações.

Ainda analisando a fórmula da declinação solar é possível determinar os dias em que esse ângulo é nulo se utilizando de propriedades do seno:

$$\frac{360}{365} \cdot (284 + n) = 0 \quad (7)$$

$$\frac{360}{365} \cdot (284 + n) = 180 \quad (8)$$

$$n1 = -284 \quad (9)$$

$$n2 = -101,5 \quad (10)$$

Pensando da mesma maneira, o 81º dia do ano correspondente a 365 – 284 seria o dia 22 de março. E o dia 21 de setembro seria o 264º dia do ano, correspondente ao n2. Esses dias representam o Equinócio, nome que vem do latim: *aequus* (igual) e *nox* (noite), pois nessa data o dia e a noite possui a mesma duração de 12 horas (NEMIROFF 2010).

Outro ângulo importante para a modelagem matemática é o Ângulo Horário (ω), que é definido através do movimento de rotação da Terra e a relação entre o meridiano local e o movimento angular do Sol. O ângulo nulo se dá ao meio dia. Através da razão entre uma rotação total da Terra, 360º, e a duração de um dia, 24 horas, chega-se que cada hora corresponde a 15º.

Foi convencionalizado que durante o período da manhã iria se adotar o sinal negativo, e durante o período da tarde o sinal positivo.

A fórmula correspondente ao ângulo horário é:

$$\omega = \cos^{-1}(-\tan \phi \cdot \tan \delta) \quad (11)$$

Sendo ϕ a latitude.

A fim de relacionar os ângulos Zenital (θ_z) e Azimutal (γ_s) à Latitude, data e hora do dia é preciso levar em consideração dois sistemas de coordenadas.

O primeiro é o sistema de coordenadas local que usa o plano horizontal e o eixo vertical perpendicular à Superfície terrestre.

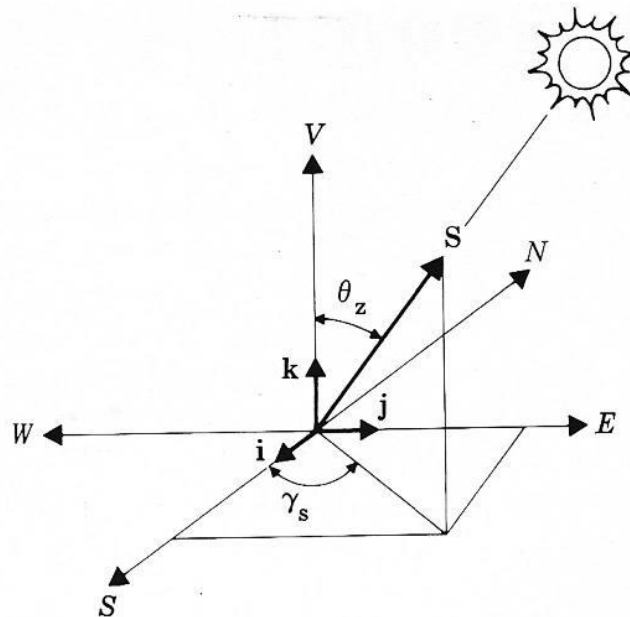


FIGURA 9 - SISTEMA DE COORDENADAS LOCAL
 FONTE: ANDERSON. (1983)

Se usados os vetores i , j e k como vetores unitários de Sul, Leste e o eixo vertical positivo respectivamente, as coordenadas unitárias solares podem ser escritas como:

$$S = i \cdot \sin \theta_z \cdot \cos \gamma_s + j \cdot \sin \theta_z \cdot \sin \gamma_s + k \cdot \cos \theta_z \quad (12)$$

O ângulo Azimutal (γ_s) corresponde ao ângulo formado entre a direção norte-sul e a projeção no plano horizontal da reta normal à superfície do coletor. É medido a partir do sul ($\gamma_s = 0^\circ$) e varia de $(-180^\circ \leq \gamma_s \leq 180^\circ)$

O segundo sistema de coordenadas tem sua origem no centro da Terra. Um dos eixos coincide com o eixo polar e tem sua direção apontando no sentido do polo Norte, os outros dois eixos estão situados no plano formado pela linha do equador. Um deles (m) se estende da origem até o ponto em que o meridiano do observador encontra a linha do equador. E o outro eixo (e) é rotacionado em 90° a Leste do eixo meridional (m).

Nesse sistema de coordenadas é possível observar o ângulo de declinação solar (δ), formado entre o vetor S e o plano equatorial. E também o

ângulo horário (ω), formado entre a projeção do vetor S no plano equatorial e o eixo meridional.

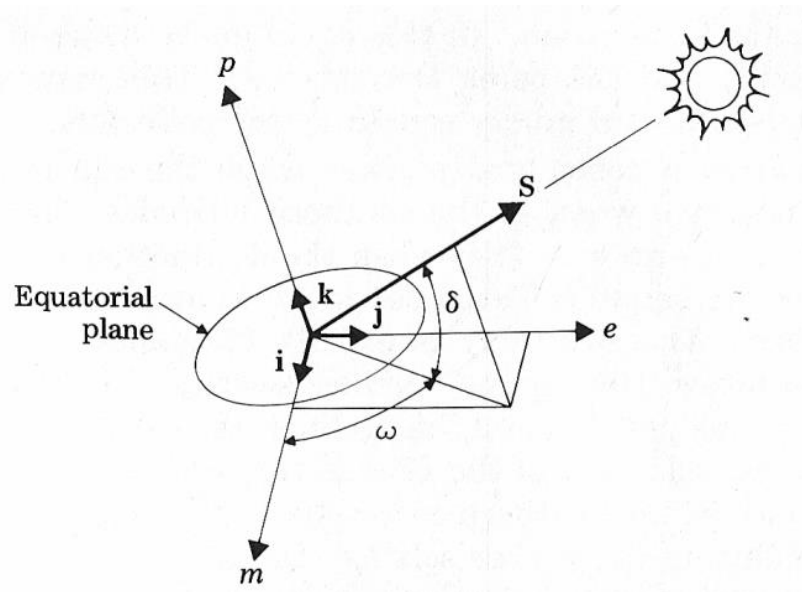


FIGURA 10 – SISTEMA DE COORDENADAS COM ORIGEM NO CENTRO DA TERRA
 FONTE: ANDERSON (1983)

O ângulo Zenital pode ser definido como o ângulo entre o vetor formado do observador até o sol e o eixo vertical, ou seja, quando o Sol está “a pino”, o ângulo Zenital $\theta_z = 0^\circ$, posição também chamada de Zênite. Variando de 0° a 90° (RBCAS, 2007).

O vetor unitário S pode ser escrito também para este sistema de coordenadas como:

$$S = i \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + j \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega + k \cdot \sin \delta \quad (13)$$

Os dois sistemas podem ser sobrepostos e estudados de maneira conjunta, pois não há qualquer alteração de ângulos devido ao pequeno raio da Terra (6.371 km) comparado à sua distância ao Sol (149.600.000 km). Ou seja, 0,00425868%.

Se transladada a origem do Sistema de coordenadas local para o centro da Terra, para que dessa maneira os dois sistemas de coordenadas apresentados tenham a mesma origem, o Eixo E (Leste) e o eixo e irão

coincidir e o ângulo entre o eixo vertical positivo (V) e o eixo meridional (m) coincidirá com a latitude do observador.

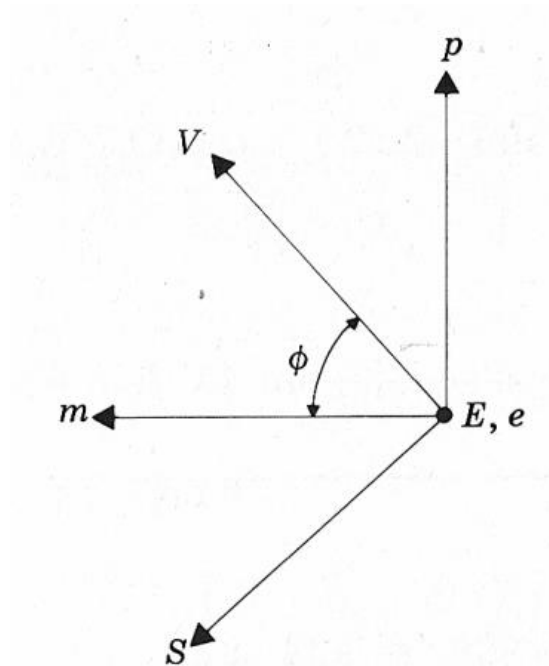


FIGURA 11 – SISTEMA DE COORDENADAS LOCAL TRANSLADADO PARA O CENTRO DA TERRA

FONTE: ANDERSON (1983)

Os componentes do vetor S podem ser relacionados então da seguinte maneira:

$$\begin{aligned}
 S_V &= S_m \cdot \cos \phi + S_p \cdot \sin \phi \\
 S_S &= S_m \cdot \sin \phi - S_p \cdot \cos \phi \\
 S_E &= S_e
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

Substituindo os componentes de S das equações (12) e (13) no sistema (14) e rearranjando de maneira a isolar os termos de interesse:

$$\cos \theta_Z = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega
 \tag{15}$$

$$\cos \gamma_S = \frac{\sin \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega - \cos \phi \cdot \sin \delta}{\sin \theta_Z}
 \tag{16}$$

$$\sin \gamma_s = \frac{\cos \delta \cdot \sin \omega}{\sin \theta_z} \quad (17)$$

Com essas fórmulas é possível calcular os ângulos zenitais e azimutais para uma dada latitude, data e hora do dia.

O ângulo de incidência solar (θ) pode ser definido como o ângulo formado entre o vetor normal à superfície do coletor (N) e os raios solares. Tal ângulo é de vital importância para determinações acerca dos coletores solares, pois ele determina a área que um coletor recebe radiação solar direta. Através da inclinação do coletor solar S e do ângulo azimutal (γ) pode ser declarada a orientação do coletor solar, por meio do vetor normal à sua superfície:

$$N = i \cdot \sin s \cdot \cos \gamma + j \cdot \sin s \cdot \sin \gamma + k \cdot \cos s \quad (18)$$

A partir deste vetor é possível escrever uma fórmula para o ângulo de incidência (θ) entre N e S:

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = N \cdot S = & \sin(\delta) \cdot (\sin(\phi) \cdot \cos(s) - \cos(\phi) \cdot \sin(s) \cdot \cos(\gamma)) \quad (19) \\ & + \cos(\delta) \cdot (\cos(\phi) \cdot \cos(s) \cdot \cos(\omega) \\ & + \sin(\phi) \cdot \sin(s) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\omega) \\ & + \sin(s) \cdot \sin(\gamma) \cdot \sin(\omega)) \end{aligned}$$

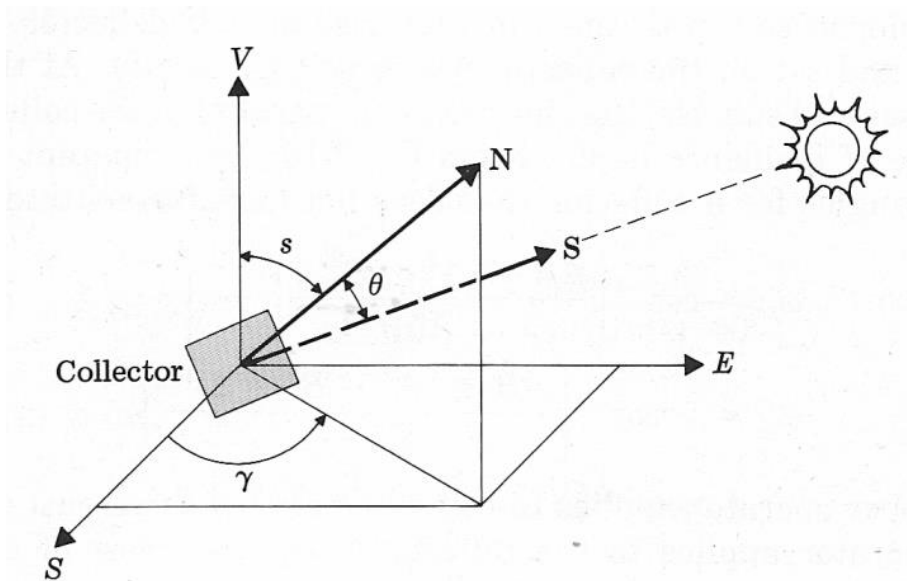


FIGURA 12 – SISTEMA DE COORDENADAS A PARTIR DO COLETOR SOLAR
 FONTE: ANDERSON (1983)

Tomando como base o hemisfério Sul, os coletores devem estar voltados para o Norte ($\gamma = 180^\circ$) para maximizar sua eficiência, porém coletores com ângulos azimutais com alterações pequenas: $\pm 20^\circ$ para leste ou Oeste do eixo Sul não possuem sua eficiência muito comprometida. Pode-se simplificar a fórmula do cálculo do ângulo de incidência, para um coletor solar voltado para o norte:

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot (\sin(\phi + s)) + \cos \delta \cdot \cos \omega \cdot (\cos(\phi + s)) \quad (20)$$

Coletores solares com taxa de concentração baixa funcionam de maneira mais eficiente em uma faixa de ângulos de incidência, enquanto que coletores de alta concentração precisam estar diretamente direcionados para o Sol. Ao mesmo tempo em que não é necessário um direcionamento exato para coletores de baixa concentração, é importante um ajuste ocasional à medida que o ângulo de incidência solar não corresponde mais ao ângulo aceitável.

Quando a componente horizontal de S é projetada no plano azimutal do coletor, sua amplitude se torna: $\sin \theta \cdot \cos(\gamma_s - \gamma)$. Enquanto a componente vertical continua sendo: $\cos \theta_z$. O ângulo entre a vertical e essa projeção de S é o ângulo de perfil solar:

$$\theta_p = \tan^{-1}[\tan \theta_z \cdot \cos(\gamma_s - \gamma)] \quad (21)$$

Durante o dia o ângulo de perfil solar atinge seu mínimo quando $\gamma_s = \gamma$ E seu máximo é durante o nascer do Sol e pôr-do-Sol, quando γ_s atinge seu máximo.

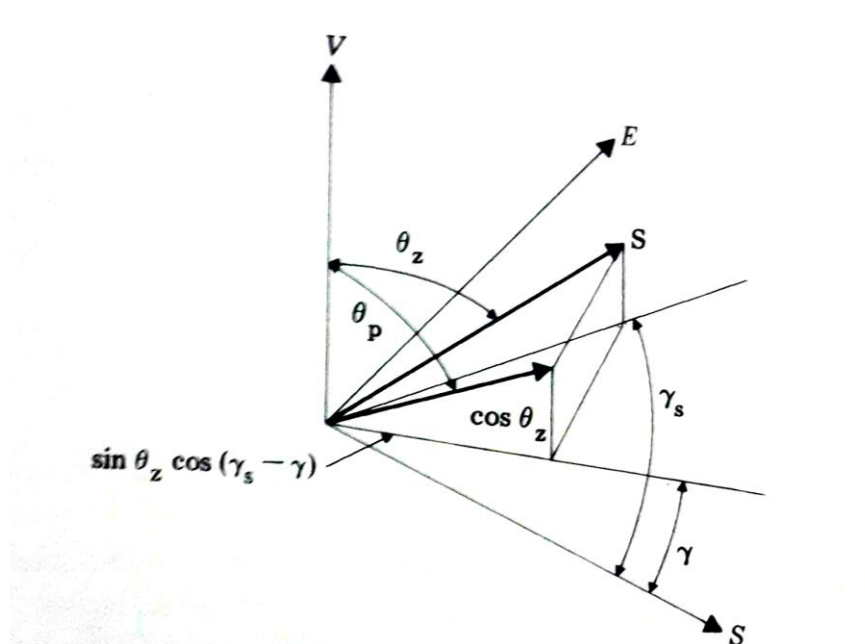


FIGURA 13 – ÂNGULO DE PERFIL SOLAR
FONTE: ANDERSON (1983)

3.5 INCIDÊNCIA SOLAR E DISPONIBILIDADE

Pode parecer trivial, mas para se projetar um coletor solar é importante termos uma informação um tanto quanto difícil de ser encontrada: A quantidade de radiação solar que atinge o coletor. Esse dado é influenciado pela época do ano, lugar do planeta a ser instalado, ângulos já vistos anteriormente, entre outros fatores. É impossível chegar a um valor absoluto, nem mesmo sabendo todas as informações citadas acima, pois existem muitos fatores externos e extremamente voláteis que influenciam tal valor, como a quantidade de nuvens presentes em determinado horário. Para tentar corrigir tais fatores são

utilizadas correlações, que estimam quantidades médias diárias e com um pouco menos de precisão valores para um momento específico do dia.

Sabe-se que a atmosfera bloqueia boa parte da radiação proveniente do Sol, portanto algumas análises são feitas na camada ligeiramente após a atmosfera, por esse motivo será usado frequentemente o termo extraterrestrial.

Sabe-se que o fluxo de energia Solar varia de acordo com a distância entre o objeto de estudo e o Sol, neste caso a Terra e o Sol. O Gráfico dessa variação se assemelha à uma senóide, e a média deste valor denominado Constante solar é $G_{cs} = 4871 \text{ kJ/h.m}^2$. Vale ressaltar que no resto do ano, o valor do fluxo de energia solar $G_{o,T}$ não varia em mais de 3,5% do valor médio anteriormente citado.

Em seu livro "*Fundamentals of Solar Energy Conversion*", Anderson demonstra que existe uma fórmula para calcular o fluxo de energia solar média diária que atinge uma superfície horizontal ligeiramente fora da atmosfera terrestre:

$$H_o = \frac{24}{\pi} \cdot G_{SC} \cdot \left[1 + 0,033 \cdot \cos \frac{360 \cdot n}{365} \right] \cdot \left[\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta \right] \quad (22)$$

De acordo com a figura 14, é possível perceber que para a região de Curitiba, a média de Radiação solar global diária é de aproximadamente 14 MJ/m² / dia.

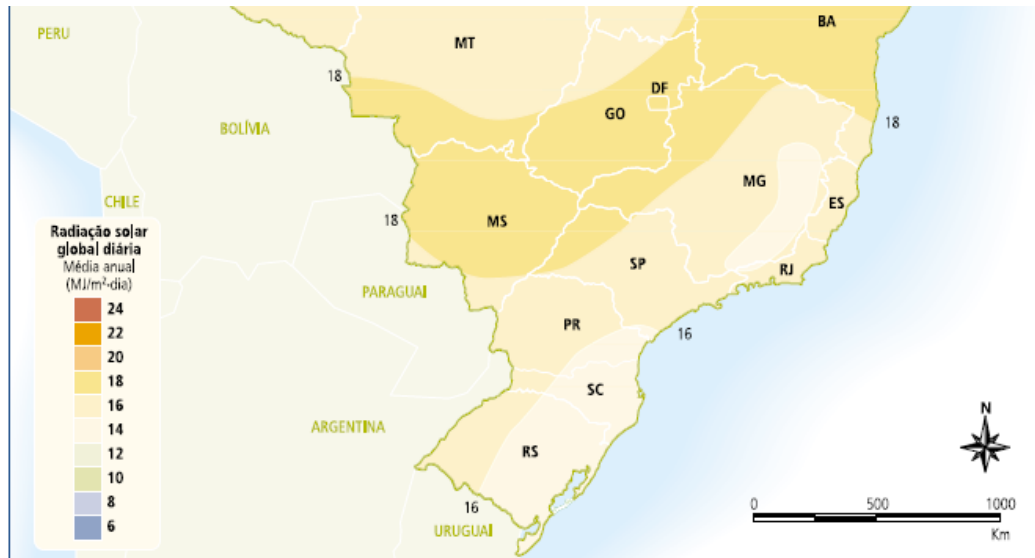


FIGURA 14 – MÉDIA DE RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL DIÁRIA
 FONTE: CHIGUERU (2000)

A correlação de Angstrom permite através de dados conhecidos como a média diária de insolação em superfície horizontal extraterrestrial e a média diária de insolação em uma superfície horizontal na Terra obter o índice de claridade média \overline{K}_t por:

$$\overline{K}_t = \frac{\overline{H}}{H_0} \quad (23)$$

Não é um tema recente de estudo a correlação entre a média diária de insolação difusa, a média diária global de insolação e o índice de claridade. Porém a relação mais recente e mais recomendada é a de Collares-Pereira e Rabl:

$$\frac{\overline{H}_d}{\overline{H}} = 0,775 + 0,00653 \cdot (\omega_s - 90) - [0,505 + 0,00455 \cdot (\omega_s - 90)] \cdot \cos(115 \cdot \overline{K}_t - 103) \quad (24)$$

Existem modelos para calcular a insolação instantânea que incluem apenas dias claros, porém Liu e Jordan após investigarem a relação entre a média horária e a média diária de insolação diária chegaram à uma relação mais precisa, que inclui dias nublados também. De acordo com o modelo do

dia claro, o valor médio da insolação difusa para qualquer hora do dia (ω) é dada por:

$$\frac{\bar{I}_d}{\bar{H}_d} = r_d = \frac{\pi}{24} \cdot \left[\frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \cdot \cos \omega_s} \right] \quad (25)$$

E o valor médio da insolação global para qualquer hora do dia (ω), de acordo com os estudos do Liu e Jordan é dada por:

$$\frac{\bar{I}}{\bar{H}} = r = (a + b \cdot \cos \omega) \cdot r_d \quad (26)$$

Onde: $a = 0,4090 + 0,5016 \cdot \sin(\omega_s - 60)$ e,

$$b = 0,6609 - 0,4767 \cdot \sin(\omega_s - 60)$$

Diferente do pensamento comum, o fluxo solar provém de três fontes distintas, radiação direta dos raios solares, radiação difusa do espaço e radiação difusa originada pelo reflexo no solo.

A parcela mais representativa talvez seja oriunda da radiação solar direta, a qual depende da hora do dia, da época do ano e da diferença entre o ângulo zenital e de incidência.

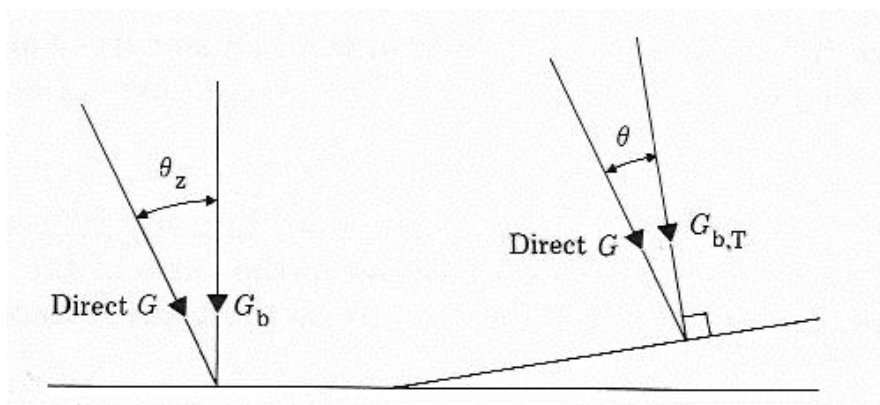


FIGURA 15 – RELAÇÃO ENTRE OS RAIOS SOLARES DIRETOS INCIDENTES SOBRE UMA SUPERFÍCIE HORIZONTAL E INCLINADA

FONTE: ANDERSON (1983)

Anderson descreve em seu livro a taxa de orientação para superfícies inclinadas:

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \varnothing \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \varnothing \cdot \sin \delta} \quad (27)$$

Para a parcela de radiação solar difusa, não há distinção entre placas horizontais e placas inclinadas, pois o hemisfério acima do coletor inclinado possui a mesma vista que um plano. E Sua taxa de orientação foi descrita também por Anderson da seguinte forma:

$$R_s = \frac{(1 + \cos s)}{2} \quad (28)$$

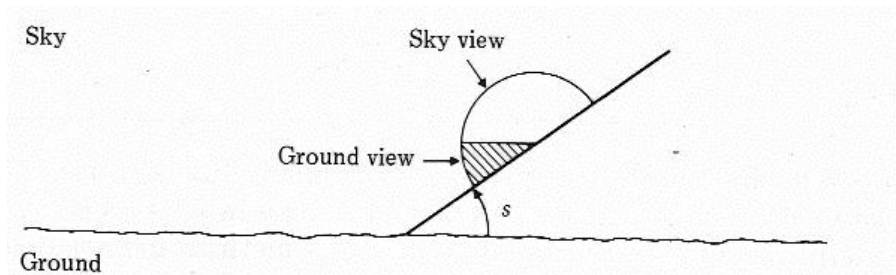


FIGURA 16 – VISTA DO CÉU E DO CHÃO A PARTIR DE UM COLETOR SOLAR INCLINADO

FONTE: ANDERSON (1983)

A última parcela que compõem a radiação total que chega a um coletor solar é a Radiação oriunda do solo:

$$R_g = \frac{(1 - \cos s)}{2} = 1 - R_s \quad (29)$$

Somando-se as contribuições de todas essas parcelas, é possível chegar a um valor total do fator de orientação para um coletor solar inclinado:

$$R = R_b \cdot \frac{\bar{I}_b}{\bar{I}} + R_s \cdot \frac{\bar{I}_d}{\bar{I}} + R_g \cdot 0,7 \quad (30)$$

Onde:

$$\bar{I}_b = \bar{I} - \bar{I}_d \quad (31)$$

Resultando no valor global de irradiação solar instantânea:

$$\bar{I}_T = R \cdot \bar{I} \quad (32)$$

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O coletor solar com tubos evacuados estudando no experimento possui uma central controladora da marca TKDZ, modelo TK-8A, instalada como mostrada na imagem abaixo.



FIGURA 17 – CENTRAL CONTROLADORA QUE FOI UTILIZADA NO EXPERIMENTO PARA OBTENÇÃO DA TEMPERATURA DO RESERVATÓRIO.

FONTE: O AUTOR (2015)

O sensor utilizado é do tipo NTC, com a ajuda de um arduíno é possível a análise da saída deste sensor para a obtenção do nível de tensão e com uma simples parametrização destes valores é fácil obter a temperatura do reservatório do coletor solar. Porém por se tratar de um equipamento de terceiros e o procedimento escrito acima necessitar do descascamento dos fios ficou decidido adotar outro método. Partindo da informação já fornecida pelo mostrador sobre a temperatura do reservatório.

Com a ajuda de uma câmera IP semelhante à da imagem abaixo, foi possível a gravação de vídeos curtos da interface do mostrador com a

finalidade de obter os valores referentes às temperaturas do reservatório do coletor em determinados horários.



FIGURA 18 – CÂMERA UTILIZADA NO EXPERIMENTO
FONTE: POWERTECELETRÔNICOS (2015)

Juntamente com o aplicativo “Eview 7” foi possível o monitoramento em tempo real e a programação da câmera para gravar vídeos curtos (5 minutos) em um intervalo de tempo programado. No caso do trabalho foram feitos vídeos de 5 minutos de duração a cada 5 minutos, para se obter o espectro total de temperaturas. Mais tarde foi decidido usar apenas os vídeos referentes às horas fechadas, ou seja, a partir de 00h00min de uma em uma hora, nos dias referentes à pesquisa.

Esta decisão foi tomada a partir da ausência de dados referentes à radiação que incidia no local. Dados fornecidos pelo site do Instituto Nacional de Meteorologia, que possui estações automáticas de captação de dados distribuídas por grande parte do país, como pode ser visto nas imagens a seguir.

A medição da Radiação é feita através da filtragem do sinal analógico enviado por uma placa fotovoltaico, como explicado na nota técnica disponibilizada Pelo governo Federal no site do INMET. Radiação: Medida da

tensão. Amostragem a cada 5 segundos. O valor "instantâneo" usado em relatórios meteorológicos é a média de um minuto (de 12 valores de amostragem).



FIGURA 19 – ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA (EMA)
FONTE: INMET (2015)



FIGURA 20 – MAPA DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS
FONTE: INMET (2015)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 EXPERIMENTO

Foram obtidos vídeos curtos, com duração de 5 minutos, os quais foram filtrados e utilizados apenas as amostragens com minutos zerados, representando as horas cheias.

A imagem a seguir representa um instantâneo tirado de um dos vídeos. Sendo possível ver a temperatura do Reservatório de água, representada pela Letra “A”, o indicador do nível da água do reservatório, representado pela letra “B”. Entre outros dados não utilizados.



FIGURA 21 – INSTANTÂNEO TIRADO DE UM DOS VÍDEOS DO EXPERIMENTO

FONTE: O AUTOR (2015)

Foi construída uma planilha a fim de armazenar os dados da temperatura do reservatório retirados dos vídeos. Para cada dia, nos diferentes horários estudados. Ao final dos dias planejados para o estudo foi acessado o site do Instituto Nacional de Meteorologia, a seção de estações automáticas.

Após escolher a estação de Curitiba – PR é possível fazer o download dos dados de interesse. Os dados são acessíveis da seguinte maneira.

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Pto. Orvalho (°C)			Pressão (hPa)			Vento (m/s)			Radiação	Chuva
		Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Vel.	Dir.	Raj.	(kJ/m²)	(mm)
28/10/2015	00	18.5	18.7	18.5	92	94	92	17.2	17.7	17.2	912.1	912.2	911.7	1.4	118°	3.0	-1.50	0.0
28/10/2015	01	18.3	18.5	18.3	93	94	92	17.1	17.3	17.0	912.2	912.3	912.0	1.7	114°	3.8	-1.61	0.0
28/10/2015	02	18.0	18.3	17.9	95	95	93	17.1	17.2	17.0	912.0	912.3	912.0	1.3	122°	3.9	-2.05	0.0
28/10/2015	03	17.7	18.0	17.7	95	95	94	16.9	17.1	16.8	911.8	912.0	911.7	0.6	121°	3.0	-2.66	0.0
28/10/2015	04	17.3	17.8	17.3	95	95	94	16.5	16.9	16.4	911.8	911.8	911.6	1.6	123°	4.3	-2.44	0.0
28/10/2015	05	17.4	17.4	17.2	94	95	94	16.5	16.6	16.4	911.3	911.8	911.3	1.2	120°	3.7	-1.54	0.0
28/10/2015	06	17.3	17.4	17.3	95	95	94	16.4	16.5	16.4	911.5	911.5	911.3	1.0	122°	3.4	-1.72	0.0
28/10/2015	07	17.3	17.3	17.2	94	95	94	16.4	16.5	16.4	911.7	911.7	911.4	1.3	110°	2.6	-2.39	0.0
28/10/2015	08	17.3	17.4	17.2	93	95	93	16.1	16.4	16.1	912.2	912.2	911.7	1.2	103°	3.4	-1.76	0.0
28/10/2015	09	18.0	18.0	17.3	87	93	87	15.8	16.2	15.6	912.5	912.6	912.2	1.5	117°	3.4	159.9	0.0
28/10/2015	10	18.8	19.4	17.8	81	87	79	15.5	16.1	15.3	913.1	913.1	912.5	2.1	122°	4.8	703.2	0.0
28/10/2015	11	20.1	20.2	18.8	75	82	75	15.6	16.2	15.3	913.6	913.6	913.0	2.2	115°	4.7	1095.	0.0
28/10/2015	12	20.7	20.8	19.6	73	78	72	15.7	16.3	15.1	914.0	914.0	913.6	2.3	121°	6.0	1093.	0.0
28/10/2015	13	21.0	21.6	20.4	73	75	69	15.9	16.1	15.1	914.1	914.2	914.0	3.1	108°	6.2	1195.	0.0
28/10/2015	14	21.7	22.8	20.8	71	75	66	16.4	17.0	15.3	914.2	914.3	914.1	2.6	131°	6.2	2249.	0.0
28/10/2015	15	20.9	22.4	20.8	75	78	68	16.3	17.0	15.6	914.1	914.2	914.0	3.7	115°	7.8	1192.	0.0
28/10/2015	16	21.9	22.7	20.6	74	77	67	17.0	17.0	15.2	913.5	914.1	913.5	2.5	116°	7.8	2144.	0.0
28/10/2015	17	22.1	22.8	21.5	72	80	70	16.7	18.7	16.2	913.2	913.5	913.2	3.3	98°	7.3	3785.	0.0
28/10/2015	18	20.8	22.5	20.2	75	80	69	16.2	17.4	16.1	912.9	913.2	912.9	2.9	91°	7.6	1572.	0.0
28/10/2015	19	19.9	20.7	19.3	79	84	75	16.2	17.4	16.0	912.8	912.9	912.7	3.5	111°	7.3	705.9	0.0
28/10/2015	20	19.3	20.2	19.3	79	81	77	15.6	16.3	15.5	913.1	913.1	912.8	3.9	114°	7.7	467.7	0.0
28/10/2015	21	18.1	19.3	18.1	84	84	79	15.3	15.8	15.2	913.4	913.4	913.0	2.5	91°	7.9	146.6	0.0
28/10/2015	22	17.5	18.2	17.5	85	85	83	14.9	15.4	14.8	913.9	913.9	913.4	2.7	84°	6.3	-0.70	0.0
28/10/2015	23	16.9	17.5	16.9	86	86	85	14.6	14.9	14.6	914.6	914.6	913.9	2.6	95°	5.8	-2.73	0.0

FIGURA 22 – DADOS REFERENTES À ESTAÇÃO AUTOMÁTICA DE CURITIBA PARA O DIA 28/10/2015

FONTE: INMET (2015)

A partir do ponto em que todos os dados estavam disponíveis, foi possível sobrepor os gráficos traçados da seguinte maneira. Sendo as linhas azuis as curvas relativas à temperatura da água nos reservatórios e as colunas vermelhas a Radiação Solar.

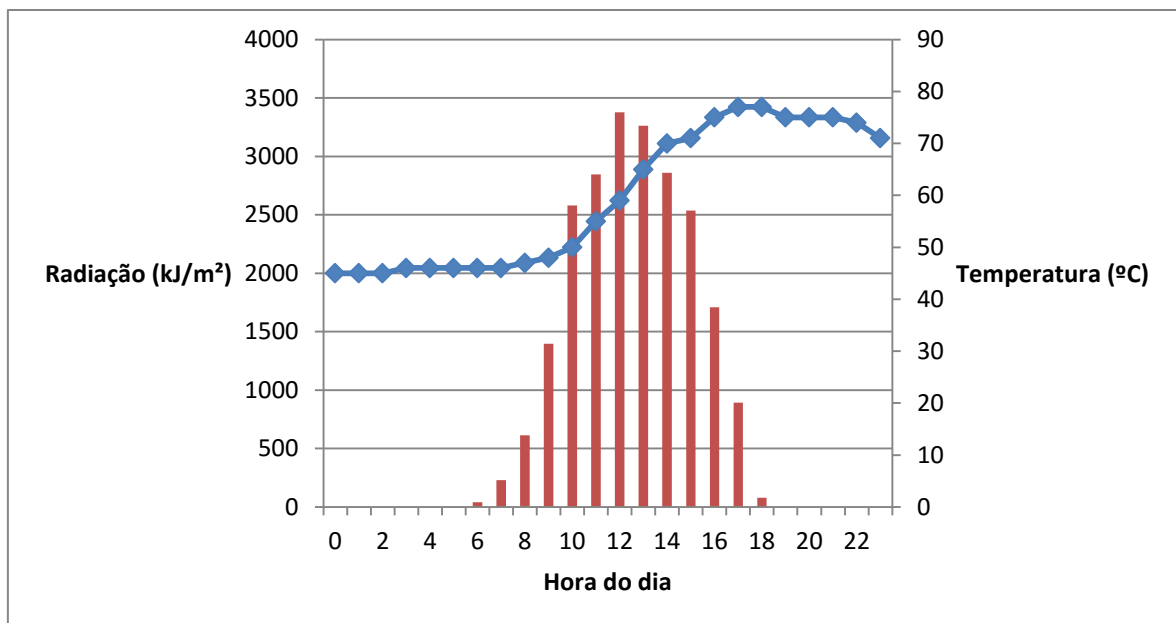


GRÁFICO 1 – RADIAÇÃO E TEMPERATURA DIA 19/10/2015
 FONTE: O AUTOR

No dia 19/10 é possível perceber uma incidência solar padrão para o mês de outubro, respeitando uma distribuição parabólica com seu máximo as 12:00hs. Observando a relação entre a curva de temperatura e a radiação é possível concluir que a partir das 10:00h a temperatura começa a aumentar significativamente, até aproximadamente as 16:00hs quando a temperatura estabiliza em aproximadamente 75°C.

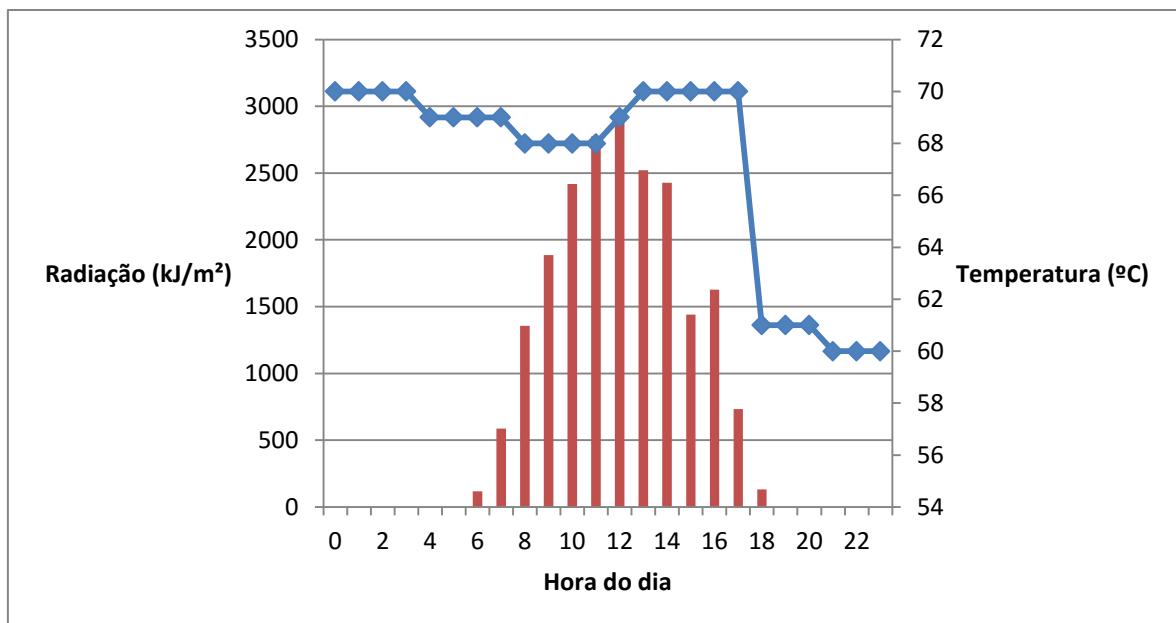


GRÁFICO 2 – RADIAÇÃO E TEMPERATURA DIA 20/10/2015

FONTE: O AUTOR

No gráfico relativo ao dia 20 temos alguns pontos a serem observados, as pequenas quedas em temperatura antes do nascer do Sol podem ser explicada devido ao isolamento térmico não perfeito no reservatório, perdendo calor através do fenômeno de convecção principalmente. Aproximadamente as 17:00hs é possível perceber uma queda brusca na temperatura. Esse fenômeno pode ser explicado pelo decréscimo no nível do reservatório causado pelos banhos tomados nesse horário, sendo que a função de renovação de água do sistema de aquecimento havia sido desligada indevidamente. Sendo corrigido assim que percebido o erro. Aproveitando o equívoco para entender melhor o funcionamento do sistema: Os banhos começaram a ser tomados aproximadamente as 16:30hs, sendo que as 17:30 o reservatório não estava mais cheio ao final dos banhos. Percebendo o erro, foi ligada novamente a função de enchimento do sistema com água fria da caixa, o que resultou em um decréscimo na temperatura da água no reservatório.

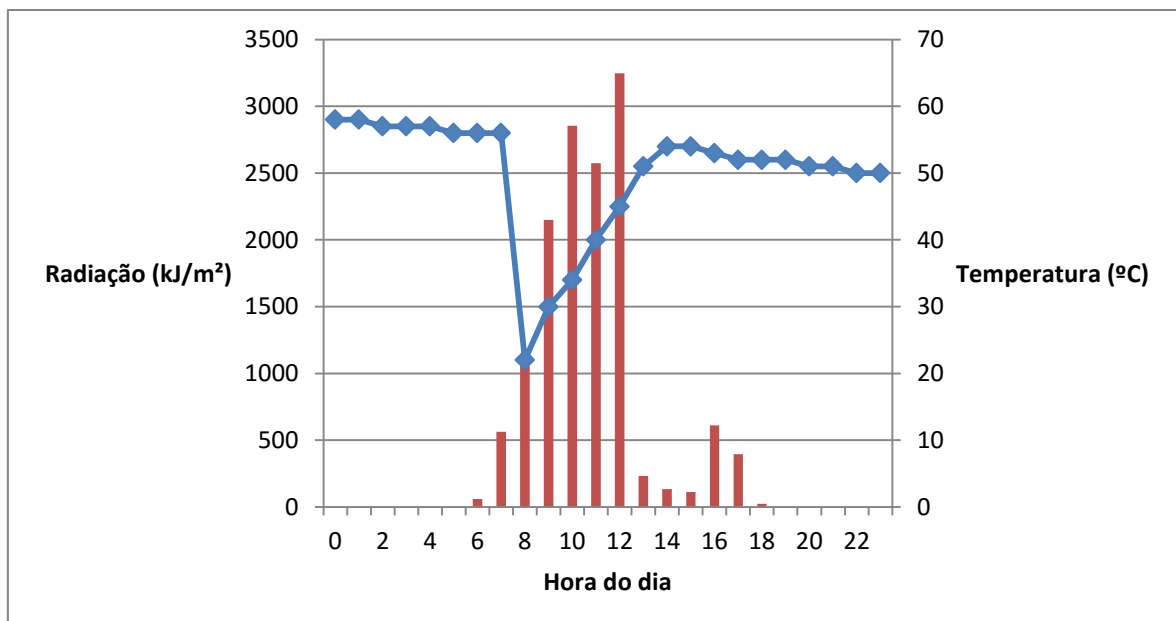


GRÁFICO 3 – RADIAÇÃO E TEMPERATURA DIA 21/10/2015
 FONTE: O AUTOR

O dia 21 foi marcado por chuvas fortes a tarde, seguidas obviamente de muitas nuvens, o que resultou no comportamento observado no gráfico após as 12:00hs. Nesse dia percebe-se também que os banhos foram tomados aproximadamente as 06:00hs, pois entre as 06:00hs e as 08:00hs o reservatório foi completado com água da caixa, e pelo fato da radiação solar não estar em valores significativos ainda, o sistema não compensou a entrada de água fria aumentando o valor da temperatura. Fato visto apenas as 08:00hs quando a radiação solar começou a aumentar juntamente com o valor da temperatura da água.

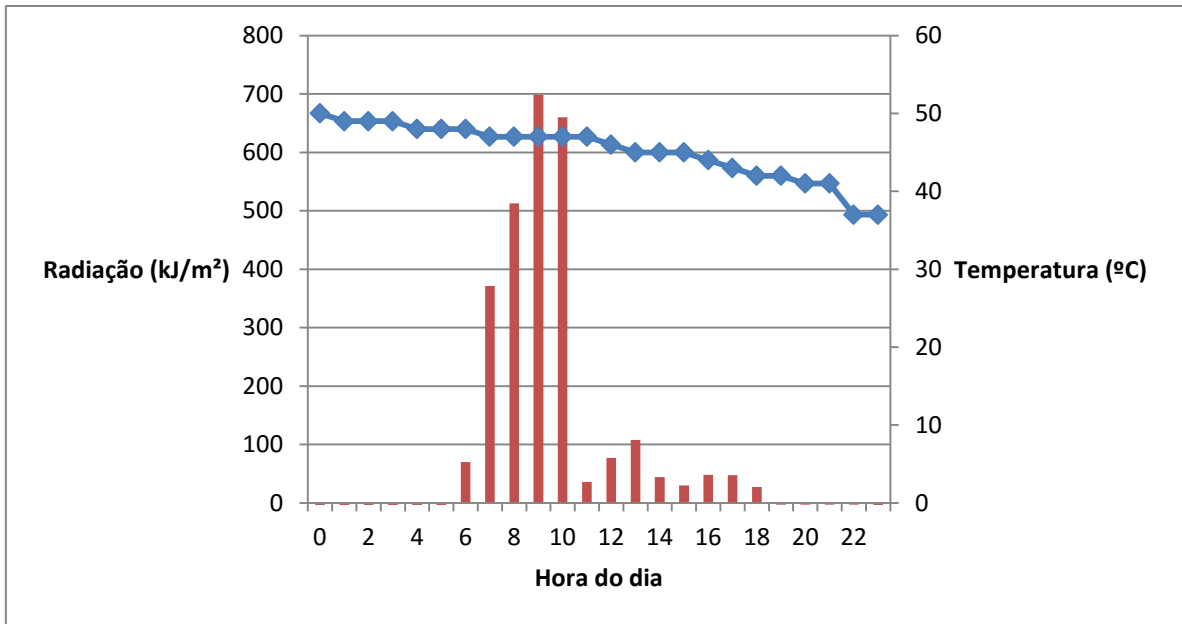


GRÁFICO 4 – RADIAÇÃO E TEMPERATURA DIA 22/10/2015
 FONTE: O AUTOR

O dia 22 foi um dia marcado novamente por fortes chuvas, só que dessa vez choveu o dia todo praticamente zerando a absorção de energia solar. Percebe-se que a curva de temperatura decai lentamente até o valor de 40 °C, valor no qual a resistência elétrica está programada para auxiliar o sistema no aquecimento da água.

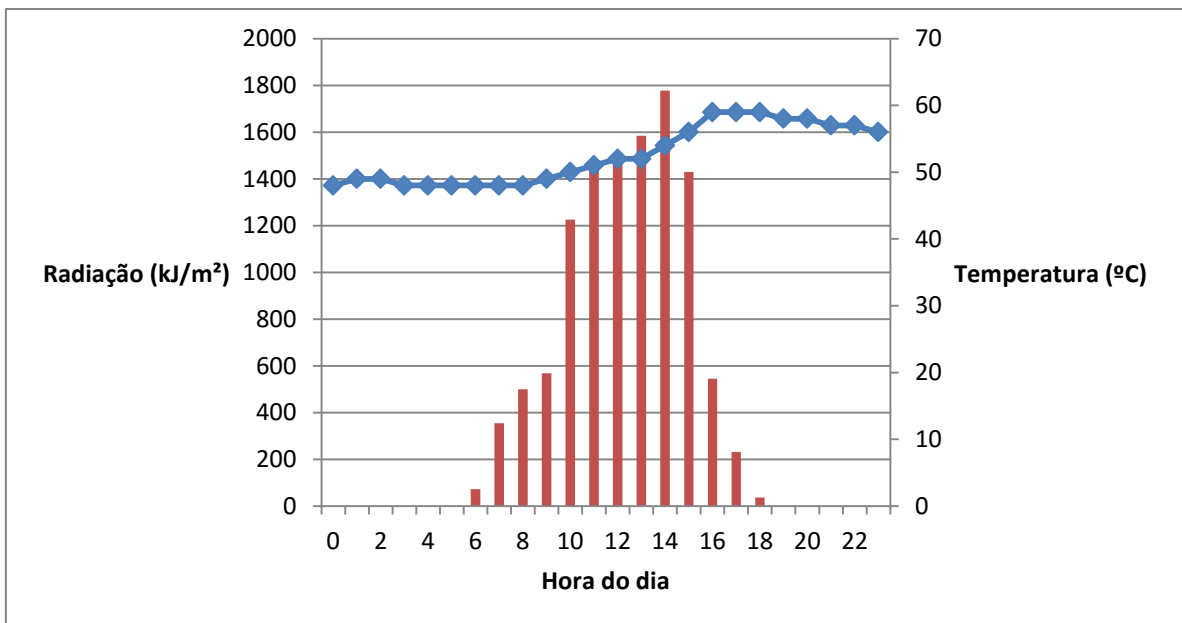


GRÁFICO 5 – RADIAÇÃO E TEMPERATURA DIA 23/10/2015
 FONTE: O AUTOR

O dia 23 não foi um dia ensolarado, porém não choveu, o que acarretou em um leve acréscimo da temperatura da água após o auge da radiação (1800 kJ/m²) que ocorreu perto das 14:00hs nesse dia. Percebe-se então a característica mais desejável nesse tipo de coletor solar, de tubos evacuados. O sistema ganha temperatura com determinada facilidade e demora muito em perder a temperatura ganha, mesmo na ausência de radiação efetiva.

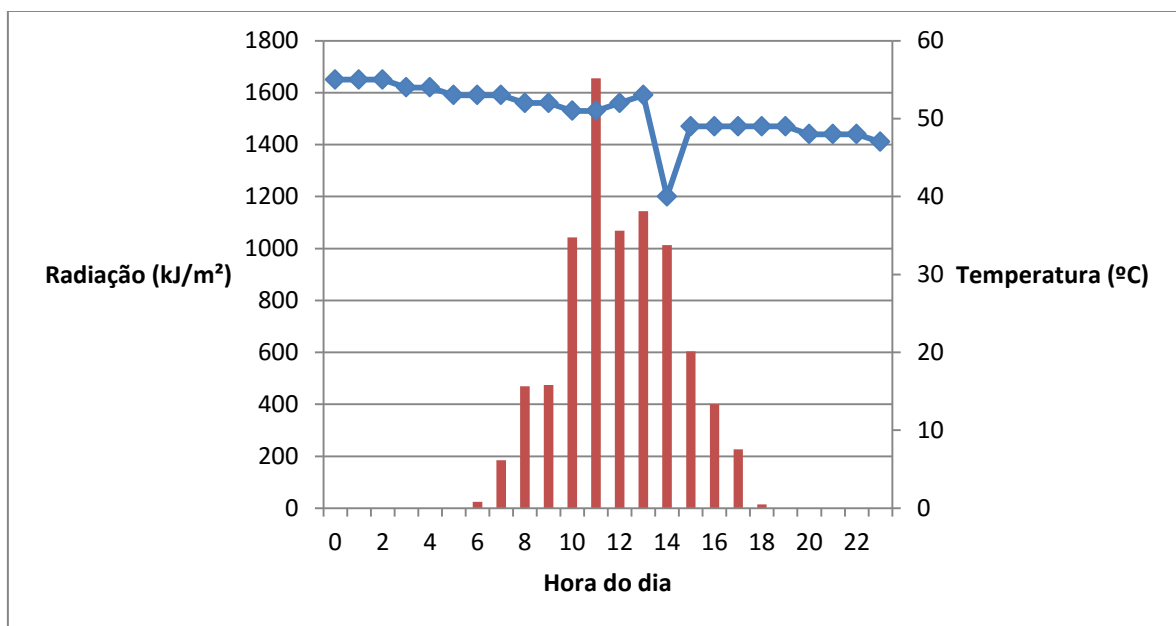


GRÁFICO 6 – RADIAÇÃO E TEMPERATURA DIA 24/10/2015
FONTE: O AUTOR

O dia 24 apresentou um comportamento atípico nos horários entre 12:00hs e 14:00hs por se tratar de um sábado, os residentes da casa em estudo devem ter utilizado o chuveiro após o almoço de maneira diferente dos dias durante a semana. Chegando em 40°C a resistência foi ativada elevando a temperatura da água até 50°C, e mantendo essa temperatura então.

Após essa semana foi necessário fazer uma pausa nas medições devido a instabilidades técnicas referentes à internet da casa em estudo, o que dificultou a transmissão dos dados para o aplicativo.

Assim que arrumado esse problema as medições voltaram por mais dois dias, que foram dias ensolarados, semelhantes aos primeiros dias.

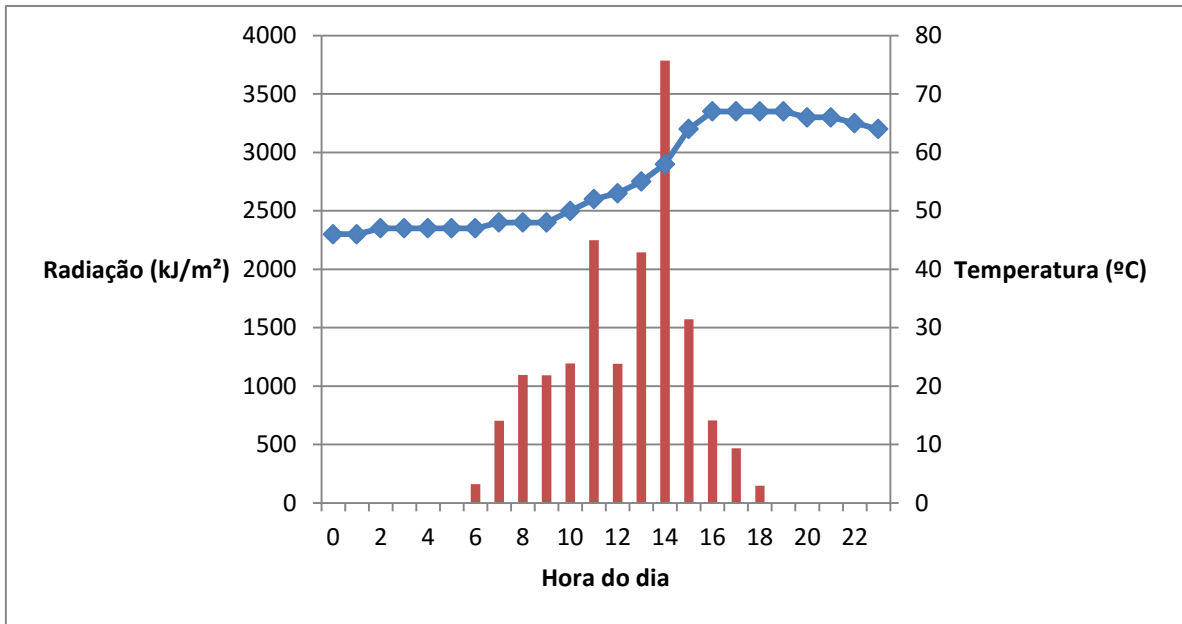


GRÁFICO 7 – RADIAÇÃO E TEMPERATURA DIA 28/10/2015
 FONTE: O AUTOR

O dia 28/10 apresentou um índice de radiação relativamente alto se comparado com os outros dias das medições. E os resultados foram exatamente como o esperado, sendo que a radiação solar teve um pico as 14:00hs mas deve ter sido pontual, pois a temperatura da água não se elevou proporcionalmente. Tendo em vista que a radiação foi a maior atingida durante o período de estudo.

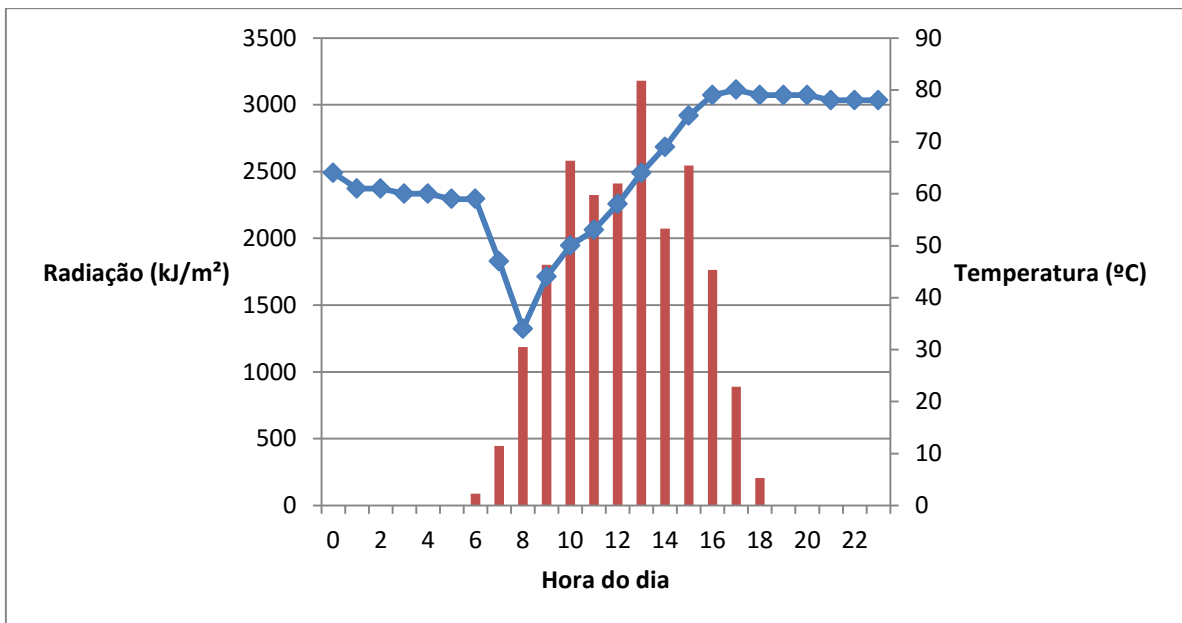


GRÁFICO 8 – RADIAÇÃO E TEMPERATURA DIA 29/10/2015
 FONTE: O AUTOR

O último dia das medições apresentou novamente o decréscimo da temperatura da água pela manhã referente aos banhos. Após as 08:00hs a radiação solar foi alta e constante, fato responsável pelas elevadas temperaturas atingidas pela água do reservatório, chegando a mais de 80°C.

Ao final do experimento conclui-se que para um sistema de aquecimento solar, com um reservatório bem isolado, um dia de sol pode ser suficiente para compensar um dia nublado subsequente, pois o volume de água utilizado nos banhos não passa o volume total do reservatório, se bem projetado.

Percebe-se também que para os coletores solares de tubo evacuado, a temperatura ambiente não influencia em nada, devido as propriedades físicas desse coletor, que por possuir essa camada de vácuo entre a placa coletora de energia solar e o ambiente, não perde calor na forma de convecção.

Outro fato que pode ser percebido é que mesmo para uma semana repleta de dias chuvosos o coletor solar se mostrou eficiente, o que contradiz uma afirmação deveras comum que em Curitiba esse tipo de sistema não é vantajoso. Não há como negar que Curitiba possui muitos dias de chuva e nublados, porém como já explicado anteriormente, a menos que os dias sem Sol sejam em sequencia, eles não representam um fator negativo na escolha por instalar um coletor solar.

5.2 ANÁLISE DO RETORNO FINANCEIRO DO INVESTIMENTO

Além de causas socioambientais já citadas anteriormente, existem outros motivos para a instalação de um coletor solar em residências e indústrias. Sendo um deles, talvez o mais importante na visão da maioria dos consumidores seja o fator econômico. Como podemos ver nessa manchete retirada do site da Gazeta do Povo é um motivo que tende a ganhar importância: *“2015 começa com bandeira vermelha na conta de luz dos brasileiros”*.

Não é mais segredo que os chuveiros elétricos são responsáveis por uma fatia enorme do consumo de energia dos brasileiros.

De acordo com uma Pesquisa realizada na Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), que reforça as constatações oficiais de que os chuveiros elétricos são responsáveis por 23% do consumo residencial no horário de pico, com impacto na curva de carga do sistema elétrico brasileiro.

Para mensurar a economia de energia que pode ser obtida com a utilização de um coletor solar em uma residência foi feito um estudo baseado em três capitais: Curitiba, São Paulo e Fortaleza.

Tendo como meta de retorno financeiro o investimento inicial realizado na compra e instalação do coletor solar. Foi realizado um orçamento baseado em uma casa de quatro pessoas, sendo que cada pessoa tome um banho de 10 minutos por dia. Gastando em média 90 Litros de água por banho, seria necessário um reservatório de no mínimo 360 L. Para os fins da projeção foi feito o orçamento com dois tipos de coletor solar de acordo com a figura 23.



AQUECEDOR SOLAR PLACA PLANA

VOLUME	À VISTA	À PRAZO
200 LITROS	R\$1.350,00	6 X R\$242,00
400 LITROS	R\$2.000,00	6 X R\$366,00
600 LITROS	R\$2.700,00	6 X R\$483,00
1000 LITROS	R\$4.000,00	6 X R\$710,00

Os valores à prazo são através de cartões de crédito.



AQUECEDOR SOLAR À VÁCUO

VOLUME	À VISTA	À PRAZO
300 LITROS	R\$2.400,00	6 X R\$424,00
490 LITROS	R\$3.200,00	6 X R\$565,00
740 LITROS	R\$4.000,00	6 X R\$707,00
1000 LITROS	R\$5.000,00	6 X R\$883,00

Os valores à prazo são através de cartões de crédito.

FIGURA 23 – COTAÇÃO REALIZADA PARA COLETORES SOLARES

FONTE: ASOL (2015)

Sabendo que são necessários no mínimo 360 L foram escolhidos os coletores de 400 L placa plana e 490 L à vácuo para o estudo, custando R\$.2.000,00 e R\$.3.200,00 respectivamente.

Para o cálculo do consumo em kWh foi utilizado um chuveiro elétrico tradicional da marca Hydra de 7700W e 220V. com consumos e outros dados mostrados na imagem a seguir.

12 meses
DE GARANTIA
CONFORME MANUAL

91%
DE ENERGIA

CONTÉM 01 PEÇA

AMPLA REDE DE SERVIÇO AUTORIZADO EM TODO BRASIL

	FAIXA VERDE	FAIXA AMARELA	FAIXA VERMELHA
POTÊNCIA	0 a 500W	500W a 3800W	3800W a 7700W
ECONOMIA	100 a 91%	91 a 50%	50 a 0%

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Marca: Hydra
Modelo: Ducha Eletrônica ND
Tensão Nominal: 220 V-
Potência: 7700 W
Fiação Mínima*: 6 mm²
Disjuntor: 40 A
Pressão de min.: 10 kPa (1 m.c.a.)
Funcionamento máx.: 400 kPa (40 m.c.a.)
Nº. IP (Grau de Proteção): IP 24
Distância Máxima do Disjuntor ao Aparelho: 30 m

Importante para sua segurança:
Para evitar riscos de choques elétricos o fio terra deste produto deve ser conectado a um sistema de aterramento conforme norma NBR 5410. A instalação elétrica e o sistema de aterramento para este produto deve ser executado por pessoa qualificada. A resistividade da água a 22°C não deve ser inferior a 1300Ωcm.
* O fabricante se reserva o direito de modificar o produto sem aviso prévio.
* Fiação mínima recomendada até 30 metros do disjuntor, para valor acima do mencionado verificar fiação.

Energia (Elétrica)

Marca: Hydra
Modelo: Ducha Eletrônica ND
Tensão Nominal: 220 V-
Potência Nominal: 7.700 W
Potência Econômica: 2.077 W

Chuveiro
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA SUPERIOR A 95%

Classe de Potência	Letra
2.400W	A
3.500W	B
4.600W	C
5.700W	D
6.800W	E
7.900W	F
9.000W	G

Consumo (kWh) - 1 banho diário de 8 minutos.

MENSAL MÍNIMO	MENSAL MÁXIMO
ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA 10,9°C VAZÃO 3,9 L/MIN. 9,6	ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA 33,9°C VAZÃO 3,9 L/MIN. 34,4

Regulamento Específico para Aparelhos Elétricos Fixos de Aquecimento Instantâneo de Água - RESP/002-AAAQ. Instruções de Instalação e Recomendações de Uso. Leia o Manual do Aparelho.

PROCEL PROGRAMA DE COMBATE AO DESPERFÍCIO DE ENERGIA ELÉTRICA

INMETRO

IMPORTANTE:
Esta embalagem reciclável, verifique em sua cidade os programas de coleta seletiva.

Preserve o Meio Ambiente

hydra Compromisso com a sustentabilidade

PRODUTO NÃO PERECÍVEL. Composição básica: ligas de ferro, cobre e prata. Elastômeros e plásticos

ATENDIMENTO AO CONSUMIDOR
Ligue grátis 0800 011 7073 ou envie email para sac@hydra.eco.br
visite nosso site: www.hydra.eco.br

SERVIÇO AUTORIZADO
deca | hydra

FIGURA 24 – PROPRIEDADES DO CHUVEIRO UTILIZADO NA ANÁLISE
FONTE: O AUTOR (2015)

Os dados referentes ao consumo mensal mínimo foram descartados por se tratar de uma faixa de temperatura raramente utilizada, 10°C. Portanto o consumo máximo mensal de 34,4 kWh por banho de 8 minutos foi utilizado. A partir de uma regra de 3 simples chega-se ao consumo mensal em kWh para 4 banhos de 10 minutos cada: 172 kWh. Esse valor será utilizado somente mais tarde.

O site da Copel fornece na seção de taxas e tarifas o valor em Reais pelo kWh baseado nas classes de utilização, sendo que esse estudo foi feito para uma residência urbana convencional, ou seja, classe A4 Residencial. Como pode ser visto na figura 25.

CONVENCIONAL	Resolução ANEEL Nº 1.897, de 16 de junho de 2015	
Tarifas	Resolução ANEEL	com Impostos: ICMS e PIS/COFINS
A4 (2,3 kV a 25 kV)		
Demanda (R\$/kW)	22,68	34,36
Energia (R\$/kWh)	0,35867	0,54344
Vigência em 24/06/2015		

FIGURA 25 – DADOS SOBRE A TARIFA ENERGÉTICA DA COPEL
FONTE: COPEL (2015)

Para essa classe a tarifa custa R\$ 0,54344 por kWh. Com esses dados é possível calcular o custo mensal e diário de quatro banhos de 10 minutos cada utilizando o chuveiro em estudo. Chegou-se aos seguintes valores para o custo diário: R\$ 3,12 e custo mensal de R\$ 93,47.

A próxima parte do estudo Consiste em calcular quantos dias por mês o coletor será suficiente para o aquecimento da água do banho, sem o uso da resistência auxiliar. Através do experimento realizado pode ser concluída uma informação importante nesse processo. Em um dia nublado que sucede um dia

de sol a resistência não é necessária, pois o reservatório mantém a temperatura atingida do dia anterior ou perde calor suficiente apenas para reduzir a temperatura da água de banho em 2°C – 4°C. Portanto assume-se que em aproximadamente 50% dos dias nublados a resistência não é necessária.

A partir do site do INMET é possível obter a informação sobre a quantidade de horas de sol cada mês teve em um determinado ano. Foi feita essa pesquisa para o ano de 2014 em três capitais. Curitiba, São Paulo e fortaleza. Assumindo sem perda de generalidade que a quantidade média de horas possíveis de sol em um dia é de 12 horas, foi feita uma razão de quantos dias do mês foram predominantemente ensolarados. Como mostrado na figura 26.

```
-----  
BDMEP - INMET  
-----  
Estação           : CURITIBA - PR (OMM: 83842)  
Latitude (graus)  : -25.43  
Longitude (graus) : -49.26  
Altitude (metros) : 923.50  
Estação Operante  
Início de operação: 01/01/1911  
Período solicitado dos dados: 01/01/2014 a 31/12/2014  
Os dados listados abaixo são os que encontram-se digitados no BDMEP  
-----  
Obs.: Os dados aparecem separados por ; (ponto e vírgula) no formato txt.  
      Para o formato planilha XLS, siga as instruções  
-----  
Estacao;Data;Hora;InsolacaoTotal;  
83842;31/01/2014;0000;204.5;  
83842;28/02/2014;0000;182.6;  
83842;31/03/2014;0000;165.3;  
83842;30/04/2014;0000;104.5;  
83842;31/05/2014;0000;137.8;  
83842;30/06/2014;0000;124;  
83842;31/07/2014;0000;150.4;  
83842;31/08/2014;0000;212.3;  
83842;30/09/2014;0000;145.5;  
83842;31/10/2014;0000;175.5;  
83842;30/11/2014;0000;151.7;  
83842;31/12/2014;0000;155;
```

FIGURA 26 – QUANTIDADE DE HORAS DE SOL POR MÊS NO ANO DE 2014
PARA CURITIBA

FONTE: INMET (2015)

TABELA 1 – CÁLCULO DA ECONOMIA GERADA EM UM ANO POR UM COLETOR SOLAR INSTALADO NA CIDADE DE CURITIBA

mês	horas de sol	horas total	Razão	Dias com sol	dias nublados	Dias que não utilizaram a resistência	Economia gerada
janeiro	204,5	372	0,549731	17	14	24,02083333	R\$ 74,84
fevereiro	182,6	336	0,543452	15	13	21,60833333	R\$ 67,33
março	165,3	372	0,444355	14	17	22,3875	R\$ 69,75
abril	104,5	360	0,290278	9	21	19,35416667	R\$ 60,30
maio	137,8	372	0,37043	11	20	21,24166667	R\$ 66,18
junho	124	360	0,344444	10	20	20,16666667	R\$ 62,83
julho	150,4	372	0,404301	13	18	21,76666667	R\$ 67,82
agosto	212,3	372	0,570699	18	13	24,34583333	R\$ 75,85
setembro	145,5	360	0,404167	12	18	21,0625	R\$ 65,62
outubro	175,5	372	0,471774	15	16	22,8125	R\$ 71,08
novembro	151,7	360	0,421389	13	17	21,32083333	R\$ 66,43
dezembro	155	372	0,416667	13	18	21,95833333	R\$ 68,42
							R\$ 816,46

FONTE: O AUTOR (2015)

TABELA 2 – CÁLCULO DA ECONOMIA GERADA EM UM ANO POR UM COLETOR SOLAR INSTALADO NA CIDADE DE SÃO PAULO

Mês	Horas de sol	Horas total	Razão	Dias com sol	Dias nublados	Dias que não utilizaram a resistência	Economia gerada
janeiro	265,2	372	0,712903226	22	9	26,55	R\$ 82,72
fevereiro	212,2	336	0,631547619	18	10	22,84166667	R\$ 71,17
março	177,6	372	0,477419355	15	16	22,9	R\$ 71,35
abril	158,2	360	0,439444444	13	17	21,59166667	R\$ 67,27
maio	141,4	372	0,380107527	12	19	21,39166667	R\$ 66,65
junho	139,4	360	0,387222222	12	18	20,80833333	R\$ 64,83
julho	149	372	0,400537634	12	19	21,70833333	R\$ 67,64
agosto	201,7	372	0,542204301	17	14	23,90416667	R\$ 74,48
setembro	190,9	360	0,530277778	16	14	22,95416667	R\$ 71,52
outubro	218,9	372	0,58844086	18	13	24,62083333	R\$ 76,71
novembro	132,7	360	0,368611111	11	19	20,52916667	R\$ 63,96
dezembro	193,3	372	0,519623656	16	15	23,55416667	R\$ 73,39
							R\$851,70

FONTE: O AUTOR (2015)

TABELA 3 - CÁLCULO DA ECONOMIA GERADA EM UM ANO POR UM COLETOR SOLAR INSTALADO NA CIDADE DE FORTALEZA

<i>mês</i>	<i>horas de sol</i>	<i>horas total</i>	<i>Razão</i>	<i>dias com sol</i>	<i>dias nublados</i>	<i>Dias que não utilizaram a resistência</i>	<i>Economia gerada</i>
<i>janeiro</i>	229,8	372	0,617742	19	12	25,075	R\$ 78,13
<i>fevereiro</i>	197,4	336	0,5875	16	12	22,225	R\$ 69,25
<i>março</i>	184,5	372	0,495968	15	16	23,1875	R\$ 72,25
<i>abril</i>	166,4	360	0,462222	14	16	21,93333333	R\$ 68,34
<i>maio</i>	191,8	372	0,515591	16	15	23,49166667	R\$ 73,19
<i>junho</i>	231	360	0,641667	19	11	24,625	R\$ 76,72
<i>julho</i>	257,3	372	0,691667	21	10	26,22083333	R\$ 81,70
<i>agosto</i>	284	372	0,763441	24	7	27,33333333	R\$ 85,16
<i>setembro</i>	268,7	360	0,746389	22	8	26,19583333	R\$ 81,62
<i>outubro</i>	296,1	372	0,795968	25	6	27,8375	R\$ 86,73
<i>novembro</i>	286,7	360	0,796389	24	6	26,94583333	R\$ 83,96
<i>dezembro</i>	278,4	372	0,748387	23	8	27,1	R\$ 84,44
							R\$ 941,48

FONTE: O AUTOR (2015)

Em posse desse valor é possível uma fácil divisão do investimento inicial pelo valor que será economizado por ano utilizando um coletor solar do tipo tubo evacuado. Algumas observações pertinentes: o valor da tarifa de energia elétrica utilizado nos cálculos é referente a uma Residência Convencional em Curitiba. Os cálculos referentes ao consumo de energia se refere a uma residência com quatro pessoas que tomam um banho cada de duração de 10 minutos usando um chuveiro elétrico de 7700W de 220V. Não é levada em consideração a correção monetária referente à inflação e outros fatores.

TABELA 4 – RESULTADO DA ESTIMATIVA DE TEMPO PARA O RETORNO FINANCEIRO DO INVESTIMENTO INICIAL DE UM COLETOR SOLAR

Cidade	Retorno do Investimento em anos	Retorno do Investimento em meses	Valor útil em meses para o retorno
Curitiba	3,9	47,0	47
São Paulo	3,8	45,1	46
Fortaleza	3,4	40,8	41

FONTE: O AUTOR (2015)

Os resultados mostram que no pior dos casos, que é a cidade de Curitiba, a qual possui mais dias nublada que as outras cidades, o tempo que demoraria em se obter um retorno financeiro do investimento em forma de economia na tarifa de energia é de aproximadamente quatro anos. O que se tratando de residências representa um tempo relativamente curto, pois a maioria das famílias permanece mais tempo em uma residência antes de se mudar. Isso sem levar em conta o valor que esse investimento agrega no valor final de venda da casa.

6. CONCLUSÃO

O uso da energia solar traz consigo alguns reveses, como o fato de não ser produtiva à noite e durante períodos de alta nebulosidade tem sua produção reduzida, todavia São inegáveis as diversas vantagens que um coletor solar apresenta hoje, como por exemplo, a economia financeira proporcionada pela substituição parcial da energia elétrica, valendo a pena ressaltar que a economia financeira não é nem de longe o fator mais importante, ao substituir o uso da energia elétrica para o aquecimento de água, sejam para chuveiros, torneiras, piscinas ou o que for, existem fatores imensuráveis a serem mencionados. Esse tipo de energia não polui o meio ambiente em nenhuma etapa. A energia solar é uma solução excelente para lugares de difícil acesso, por permitir pequenas instalações. O ponto crucial que ainda segura a popularização da energia solar é o alto investimento inicial. Vale ressaltar nesse ponto que uma grande parcela do alto preço cobrado por coletores solares no Brasil é composta pelos impostos neles embutidos. Existem hoje diversos projetos de lei que tentam aumentar o incentivo fiscal por parte do governo federal. Face à crise energética que enfrentamos atualmente e a pressão cada vez maior pelo uso de energias renováveis, é imediata a necessidade da redução dos impostos aplicados sobre esse tipo de produto e o incentivo por parte do governo Federal, que pode ser dado de diversas maneiras, a serem copiadas de países desenvolvidos como a Alemanha, por exemplo, aonde o Governo financia integralmente o custo desse tipo de equipamentos em diversas parcelas com taxa zero.

Em um mundo onde se fala tanto em sustentabilidade, os coletores solares estão adquirindo seu espaço à medida que a tecnologia neles embutida é aprimorada, e seus preços conseqüentemente reduzidos. Não podemos mensurar de maneira alguma os benefícios ao meio ambiente que são gerados ao substituirmos fontes não renováveis de energia por fontes limpas.

7. REFERÊNCIAS

AES ELOTROPAULO. **Entenda o aumento na conta de energia (Março/2015)**. Disponível em: <[https://www.aeseletropaulo.com.br/para-sua-casa/prazos-e-tarifas/conteudo/entenda-o-aumento-na-costa-de-energia-\(mar%C3%A7o2015\)](https://www.aeseletropaulo.com.br/para-sua-casa/prazos-e-tarifas/conteudo/entenda-o-aumento-na-costa-de-energia-(mar%C3%A7o2015))>. Acessado em: 14/09/2015

ANDERSON, E.E. **Fundamentals of solar energy conversion**. 1.ed. Addison-Wesley Publishing Company. 1983

AQUECEDOR solar: utilização e vantagens. **Vista em detalhe do reservatório térmico**. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/aquecedores-solar-utilizacao-e-vantagens>>. Acessado em: 10/11/2015

ASOL. **Coletor solar plano e evacuado**. Disponível em:<<http://www.asolmg.com.br/>>. Acessado em 11/11/2015

CHIGUERU, T. **Atlas solarimétrico do Brasil**. 1.ed. Editora Universitária da UFPE, 2000.

COLETOR solar a vácuo. **Vista em corte de um coletor solar de tubo evacuado**. Disponível em: <http://ns1.fibratec.com.br/br/produtos_info.php?linha=engenharia&categoria=aquecimento_solar2&idproduto=coletor_solar_vacu>. Acessado em 10/11/2015

COMO funciona o aquecedor solar. **Coletor solar de placa plana aberta**. Disponível em:<http://www.pucminas.br/green/index_padrao.php?pagina=3480&PHPSESSID=0d4154e8e5e01c39db779d9b38750faf>. Acessado em 30/09/2015

COMO funciona o aquecedor solar de água soletrol. **Componentes de um sistema de aquecimento solar**. Disponível em: <<http://www.soletrol.com.br:443/extras/como-funciona-o-aquecedor-solar-soletrol/>>. Acessado em: 21/09/2015

COPEL. **Tarifa energética para uma residência convencional classe A4**. Disponível em:<<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhp-copel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2F3a5807463c7dd77203257488005939d1>>. Acessado em 01/11/2015

INCROPERA, F. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 6.ed. Editora LTC. 2008.

JUNGES, C. **2015 começa com bandeira vermelha na conta de luz dos brasileiros**. Disponível em:<http://www.gazetadopovo.com.br/economia/2015-comeca-com-bandeira-vermelha-na-conta-de-luz-dos-brasileiros-ehr71bxq1nrh0oek4ivxd7ary>. Acessado em 01/11/2015.

LEITE. **China reduz o consumo de carvão mineral sem frear a economia**. Disponível em:<<http://www1.folha.uol.com.br/mundo/2015/05/1630772-china-reduz-o-consumo-de-carvao-mineral-sem-frear-a-economia.shtml>>. Acessado em: 14/09/2015

NEMIROFF & BONNEL. **Equinox and the iron sun**. Disponível em:<<http://apod.nasa.gov/apod/ap100923.html>>. Acessado em 20/09/2015

PERLIN & BUTTI. **A Golden Thread: 2500 Years of Solar Architecture and Technology**. Cheshire Books, 289p. 1980.

SOLAR flat plate collectors for water heating. **Vista em corte de um coletor solar de placa plana fechado**. Disponível em:<<http://roopsolar.com/solar-flat-plate/>>. Acessado em 11/11/2015

UNICAMP. **Pesquisa prova que chuveiro é o vilão da energia**. Disponível em:<<http://www.unicamp.br/unicamp/clipping/2014/05/27/pesquisa-prova-que-chuveiro-e-o-vilao-da-energia>>. Acessado em 01/11/2015.