

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CÂMPUS PATO BRANCO  
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL  
CURSO DE TECNOLOGIA EM  
MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**

**FERNANDO TONIAZZO  
MARCELO CARDOSO GHIZZI**

**O EMPREGO DE COLETOR SOLAR DE FUNIL COMO SISTEMA DE  
PRÉ AQUECIMENTO DE ÁGUA DE CALDEIRAS INDUSTRIAIS  
(PESQUISA AÇÃO)**

**PATO BRANCO  
2011**

**FERNANDO TONIAZZO  
MARCELO CARDOSO GHIZZI**

**O EMPREGO DE COLETOR SOLAR DE FUNIL COMO SISTEMA DE  
PRÉ AQUECIMENTO DE ÁGUA DE CALDEIRAS INDUSTRIAIS  
(PESQUISA AÇÃO)**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do Título de Tecnólogo em Manutenção Industrial, do Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial, Universidade Tecnologia Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco.

Orientador: Prof. M. Sc. Adelino Carlos Maccarini

**PATO BRANCO  
2011**

## TERMO DE APROVAÇÃO

FERNANDO TONIAZZO  
MARCELO CARDOSO GHIZZI

O EMPREGO DE COLETOR SOLAR DE FUNIL COMO SISTEMA DE  
PRÉ AQUECIMENTO DE ÁGUA DE CALDEIRAS INDUSTRIAIS  
(PESQUISA AÇÃO)

Trabalho de Diplomação aprovado como requisito parcial para obtenção do Título de Tecnólogo em Manutenção Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, pela seguinte Banca Examinadora:

---

Prof. M.Sc. Adelino Carlos Maccarini  
Orientador

---

Prof. Dr. Luiz Carlos Martinelli Junior  
Primeiro Membro

---

Prof. M.Sc. Paulo Cezar Adamczuk  
Segundo Membro

Pato Branco, 30/11/2011.

Dedicamos este trabalho a todos os estudiosos que ao longo de anos contribuíram para o conhecimento científico que hoje nos proporciona base para futuras descobertas.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos todas as pessoas que diretamente ou indiretamente nos ajudaram desde o início ao término desse trabalho, as nossas famílias pelo apoio e consideração, a mecânica GHIZZI e OSMAQ pela estrutura e apoio técnico, as nossas namoradas pela paciência quanto a nossa ausência em noites de estudos e dias ensolarados de testes do trabalho. Em especial agradecemos o nosso orientador Prof. M. Sc. Adelino Carlos Maccarini pelo apoio, orientação e confiança em nosso estudo.

“É possível pedirmos, tomar emprestado ou roubar uma infinidade de coisas, menos o brilho do sol, que poderá deste modo, vir a ser o grande harmonizador que um dia derrubará a parede levantada entre o “ter” e o “não ter”. Sabiamente disse o Senhor: “Faça-se a luz””. (Halacy Jr., 1963, pg. 165)

## RESUMO

O trabalho que se segue, tem a finalidade de estudar um sistema de pré aquecimento de água para caldeiras industriais desde seu projeto até sua criação (protótipo), tendo como fonte de aquecimento a energia solar. O sistema é baseado no coletor solar com formato afunilado, proposto por Jones et al. (1996). Do sistema original, foram realizadas algumas alterações, como por exemplo, o método de acumulação de energia térmica, materiais empregados, entre outros. A elaboração do coletor e dos concentradores solares foi efetuada com materiais específicos para melhor aproveitamento e isolamento térmico além de dispor de uma estrutura peculiar para segurança de operação. A qualificação do sistema e obtenção de dados pertinentes ao aquecimento de água foram obtidos a partir de equipamentos de medição como: termômetro digital (tipo espeto), termohigrômetro, anemômetro e medidor de radiação de energia solar. Os testes foram elaborados na cidade de Francisco Beltrão, no estado do Paraná.

**Palavras-chave:** Aquecimento de água; energias renováveis; caldeiras industriais; coletor solar de funil.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - A quantidade de calor necessária para aquecer a água em função da temperatura .....	11
<b>Figura 2</b> - Partes de uma unidade geradora de vapor .....	26
<b>Figura 3</b> - Esquema de funcionamento de um forno solar de funil.....	29
<b>Figura 4</b> - Teste piloto.....	30
<b>Figura 5</b> - Teste com 3 e 20 litros .....	31
<b>Figura 6</b> - Perfil e interior do cone inox .....	31
<b>Figura 7</b> - Acumulador 1 antes e depois da montagem .....	32
<b>Figura 8</b> - Acumulador 2 .....	33
<b>Figura 9</b> - Suporte do cone .....	33
<b>Figura 10</b> - Suporte do acumulador térmico.....	34
<b>Figura 11</b> - Gráfico do teste piloto.....	35
<b>Figura 12</b> - Relação entre temperatura e umidade .....	36
<b>Figura 13</b> - Gráfico do teste em dia nublado.....	37
<b>Figura 14</b> - Gráfico de maior temperatura (3 litros).....	38
<b>Figura 15</b> - Teste de maior temperatura .....	38
<b>Figura 16</b> - Interior do cone e zoom do termômetro.....	39
<b>Figura 17</b> - Gráfico do teste com 23 litros.....	39
<b>Figura 18</b> - Fotos do teste com o reservatório (20 litros) .....	40
<b>Figura 19</b> - Equipe no fim dos testes (Toniazzi & Ghizzi) .....	40
<b>Figura 20</b> - Estrutura do cone .....	43
<b>Figura 21</b> - Medidas do cone .....	43

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Distribuição de energia na Terra .....	8
<b>Tabela 2</b> - Fontes de energia .....	9
<b>Tabela 3</b> - Valores do calor específico de alguns materiais .....	11
<b>Tabela 4</b> - Tipos de carvão.....	15
<b>Tabela 5</b> - Modos de utilização de energia solar.....	23
<b>Tabela 6</b> - Correlação existente entre alguns combustíveis usados a nível industrial .....	27
<b>Tabela 7</b> - Combustíveis industriais – Equivalência energética .....	28
<b>Tabela 8</b> - Custo do sistema .....	46

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

EPE	Empresas de pesquisas energéticas
W	Trabalho
m	Metro
cm	Centímetro
g	Gravidade
h	Altura
°C	Grau centígrados
s	Segundo
kg	Quilograma
Btu	British Thermal Unit
F	Fahrenheit
cal	Caloria
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt hora
t	Toneladas

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	2
1.1 JUSTIFICATIVA.....	2
1.2 OBJETIVOS .....	3
1.2.1 Objetivo Geral.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos .....	3
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1 O HOMEM E A ENERGIA – EVOLUÇÃO AO LONGO DOS SÉCULOS.....	4
2.2 ENERGIA .....	6
2.2.1 Unidades .....	7
2.2.2 Distribuição de Energia na Terra .....	8
2.2.3 Nota sobre Armazenamento e Transporte de Energia .....	9
2.2.3.1 Energia térmica – Formas de transmissão de calor.....	12
2.3 DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA – DO CONSUMO AO DESPERDÍCIO .....	13
2.3.1 Uso de Fontes Convencionais de Energia.....	14
2.3.1.1 Petróleo e gás natural.....	15
2.3.1.2 Carvão .....	15
2.3.1.3 Problemas com a utilização de combustíveis fósseis .....	16
2.3.1.4 Alguns problemas ambientais.....	17
2.3.2 Consumo de Energia x Desenvolvimento.....	18
2.4 ENERGIAS RENOVÁVEIS – FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA.....	19
2.4.1 Energia Solar .....	20
2.4.1.1 O Sol.....	21
2.4.1.2 Modos de utilização de energia solar .....	22
2.4.1.3 Aquecimento solar .....	24
2.5 CALDEIRAS INDUSTRIAIS – (GERADORES DE VAPOR DE ÁGUA).....	25
2.5.1 Componentes Clássicos .....	26
2.5.2 Combustíveis .....	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
4 RESULTADOS E CONCLUSÃO .....	35
4.1 RESULTADOS .....	35
4.2 CONCLUSÕES.....	41
REFERÊNCIAS .....	42
ANEXO 1: FIGURA DO SISTEMA .....	43
ANEXO 2: CÁLCULOS.....	44
ANEXO 3: CUSTOS DO SISTEMA .....	46

# 1 INTRODUÇÃO

A demanda de energia nos dias atuais atinge um nível crítico. A energia per capita não para de crescer no que diz respeito ao desperdício e consumo descontrolado. Cada vez mais surgem dependentes dessas fontes de energia, que alimentam as indústrias, o transporte e os lares. Um dos parâmetros que influenciam nesse aumento é o crescimento exponencial da densidade demográfica, em que, quanto maior o número de pessoas numa certa região, maior será a necessidade energética para manutenção da qualidade de vida. Em termos gerais, a sociedade está habituada ao consumo dos combustíveis fósseis e muito dependente da geração hidrelétrica de energia. Porém, o preço dessa dependência está aumentando em níveis financeiros e principalmente, em recursos ambientais.

No entanto, o consumo de combustíveis fósseis ainda está em um alto patamar na matriz energética mundial. As reservas estão entrando em declínio pelo alto consumo devido principalmente pelo fato de ser um insumo esgotável.

Mas será que o consumo desenfreado de energia está vinculado com o desenvolvimento da sociedade? Ou o progresso necessita de maiores quantidades de energia para suprir as atividades energéticas atuais?

Alguns dos principais combustíveis utilizados em caldeiras industriais são provenientes de fontes convencionais de energia, nos quais são utilizados para geração de energia térmica para alimentação desses equipamentos na geração de vapor.

A finalidade deste projeto é utilizar a energia solar para aquecimento de água, desfrutando do potencial térmico solar para minimizar a utilização de combustíveis convencionais para geração de calor em sistemas industriais.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A utilização de energias renováveis nos dias atuais vem ganhando atenção e dedicação em estudos científicos para o emprego em várias áreas, principalmente por estar disponível na Terra de forma abundante e também por não degradar o meio, pois sua utilização não gera subprodutos poluentes.

Para preservar os recursos naturais e tornar cidadãos sustentáveis devem-se criar e utilizar novas fontes de energias antes que seja degradado totalmente o meio ambiente. Uma alternativa que se tem para melhorar a matriz energética é explorar os recursos sustentáveis. De acordo com Branco (1993), o Brasil tem um elevado potencial de geração de energias renováveis. Uma das energias mais promissoras em países tropicais é a energia solar, que tem um índice de insolação superior a países europeus onde essa técnica de geração é mais explorada.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Elaborar um sistema de pré aquecimento de água para caldeiras industriais utilizando coletor solar de funil.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Mostrar a possibilidade de economizar combustíveis convencionais empregados para geração de calor em caldeiras;
- b) Indicar materiais viáveis e de fácil acesso no mercado para a fabricação do coletor;
- c) Elaborar e discutir os métodos de fabricação e construção do sistema;
- d) Compilar dados do sistema de aquecimento;
- e) Efetuar testes para qualificação do sistema;
- f) Proporcionar a preservação do meio ambiente minimizando a utilização de recursos ambientais para fins de aquecimento.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O HOMEM E A ENERGIA – EVOLUÇÃO AO LONGO DOS SÉCULOS

Energia, uma palavra de origem grega que vem de *enérgeia*, que significa “ação”. Uma ação difícil de ser entendida, pois não é vista, não se pode tocá-la, não tem cor e nem cheiro. Portanto, é possível percebê-la por meio de suas manifestações tais como: o calor do sol, de uma lâmpada ou de uma vela, a força dos ventos, uma queda d’água ou de alguns objetos atraídos pela força da gravidade, etc. (SCARLATO & PONTIN, 2004).

Sem essa energia, que sustenta a biota, a qual é um conjunto de seres vivos que inclui a fauna, a flora, os fungos entre outros organismos, não haveria nenhuma forma de vida na Terra. Ela se encontra presente nos alimentos, no sol, nas plantas, nos animais e em todos os seres vivos. Qualquer atividade realizada necessita de energia, que provém de uma fonte ou mais, tais como: combustível para transporte, gás para cozinhar, eletricidade para iluminar e o sol para aquecer (VECCHIA, 2010).

Tudo o que se faz depende de energia, o funcionamento pleno dos organismos, atividades básicas como as funções motoras e essenciais (caminhar, correr, respirar, se alimentar, etc.) extremamente necessárias para qualidade de vida. No entanto, o gasto energético para manutenção vital é significativamente baixo comparado ao consumo de energia para atividade corriqueira realizada por um ser humano moderno.

Entretanto, essa energia que hoje nos está acessível (sob a forma de eletricidade, petróleo, gasolina etc.) nem sempre foi assim, a sua estruturação teve dispendiosas cargas de pesquisas e conhecimentos envolvidos ao longo dos séculos.

Muitas foram às descobertas feitas pelo homem ao longo de milhões de anos. Evidências mostram que o homem primitivo produziu fogo artificial por volta de 500 000 a.C., época esta, na qual supõem-se que o consumo de energia por pessoa era de 2.600 kcal por dia. Por volta de 10.000 anos atrás, estima-se que se tenha iniciado a atividade agrícola, época onde o fogo começou a ser utilizado no preparo da Terra para o plantio e rebanhos eram criados pela domesticação de animais feita

pelo homem. Com isso, começou a sedentarização do homem, divisão de trabalho e surgimento de mercados ao longo dos primeiros aglomerados de pessoas chamados centros urbanos, período em que a energia era de 5.000 kcal por dia, equivalente a queima de um litro de gasolina. (TUNDISI, 1994)

Na Grécia Clássica, as primeiras energias utilizadas foram a energia eólica com desenvolvimento da navegação e a energia hidráulica com os moinhos d'água. Posteriormente essas técnicas foram utilizadas e difundidas pelos romanos nos territórios conquistados. Nessa fase o consumo de energia estava em torno de 11.000.000 calorias por dia, época que o homem dependia apenas de energias naturais. Animais eram utilizados para puxar arados, moinhos de vento trituravam grãos e os músculos humanos que moviam a sociedade. (VECCHIA 2010; TUNDISI, 1994)

No fim do século XVII, o consumo energético *per capita* somava 12.600.000 calorias, e o carvão mineral sob a forma de gás, encontrou aplicações nos grandes centros urbanos. (TUNDISI, 1994)

Foi deflagrada em 1973, a primeira crise mundial do petróleo, devido à transferência do controle da política mundial de petróleo das grandes empresas internacionais para os países exportadores. Em outubro desse mesmo ano, o cenário petrolífero mundial instaurou pânico, devido à guerra árabe-israelense, pois os países árabes (exportadores de petróleo) resolveram fazer cortes progressivos na produção, o que caracterizava esse combustível como uma arma política. Com a mudança política em 1979 no Irã, e após seu conflito com o Iraque, iniciou uma crise mundial do petróleo, dessa vez com significativo aumento no valor (preço) - de US\$ 1,5/barril em 1972 a US\$ 30/barril no início de 1980. O declínio da produção de petróleo nesse ano foi de 31 milhões de barris/dia (1979) a 17,5 milhões de barris/dia em 1983. (TUNDISI, 1994)

Após o período de crise, os países mais industrializados começaram a se preocupar com o esgotamento dos recursos naturais, e os países do terceiro mundo tomaram a consciência do quão eram dependentes e explorados pelas grandes potências. Nessa fase, os países mais desenvolvidos iniciaram um processo de revitalização energético, voltando sua atenção para energia nuclear, viabilizada no período pós-guerra, tanto quanto para novas fontes alternativas de energia. Intensos

estudos começaram a ser realizados, para que as utilizações de novas energias fossem uma alternativa para a substituição parcial do petróleo, a médio e longo prazo.

Nos dias de hoje, os bens e serviços utilizados dispõem principalmente de fontes não renováveis. A demanda de energia global triplicou desde 1950 e o consumo atual equivale a 10 bilhões de toneladas de petróleo anualmente. De acordo com o conselho mundial de energia, o consumo de energia deverá aumentar 50% até 2020. Segundo EPE (Empresas de pesquisas energéticas) em 2007, 87% da energia do mundo era proveniente de combustíveis fósseis, destes 41% de petróleo, 22% carvão e 24% de gás natural. Do montante restante de 13%, 8% eram de energias renováveis e 7% energia nuclear. (VECCHIA 2010; WALISIEWICZ, 2008)

## 2.2 ENERGIA

Energia é um conceito bastante abstrato e que aplica-se para qualquer força, seja ela: gravitacional, nuclear, eletromagnético, entre outras. Esse conceito torna-se mais útil devido ao *Princípio de Conservação de Energia*, estabelecido primeiro pela Mecânica e generalizado depois para incluir o calor. Algumas ações cotidianas como: uso da força muscular do homem, uso de animais nas atividades, construções de casas, etc., é que deram ao conceito de energia e trabalho uma importância maior na Mecânica e depois na Física. (GOLDEMBERG, 1979)

Existem várias formas de evidenciar abstrativamente o conceito de energia, seja pelo calor do sol (energia térmica), brisa dos ventos (energia cinética), queda d'água (energia potencial), luz de uma lâmpada (energia elétrica) entre outras. Porém muitas de suas manifestações pode-se perceber por fenômenos naturais, desta forma que ao passar dos anos aplicações foram feitas de várias maneiras pelo homem para suprir suas necessidades e atividades.

Todavia, seja qual for o tipo de energia usada, o Primeiro Princípio da Termodinâmica (princípio da conservação de energia) nos diz que: diversas formas de energia (química, elétrica, mecânica) são equivalentes entre si e toda energia do universo é constante (o universo nesse caso pode ser representado como um sistema isolado e não o universo como astronômico).

Um passo muito importante na história da energia foi dado em 1843 pelo britânico James Prescott Joule, que envolveu experiências de equivalência de energia.

As experiências feitas por Joule resumiam-se em observações independentes, no qual era realizado medições de quantidades de calor produzido por um certo trabalho, designado equivalente mecânico do calor.

Das experiências realizadas, todas tiveram o mesmo resultado com boa aproximação para o equivalente mecânico de calor. Abaixo segue as conclusões conforme as palavras de Joule:

1ª A quantidade de calor produzida por atrito é sempre proporcional à quantidade de energia despendida.

2ª A quantidade de calor necessário para aumentar de 1°C a temperatura de 1 grama de água (de 13,5°C a 14,5°C) é de 4,2 joules. (Goldemberg, 1979)

Conforme o *Primeiro Princípio da Termodinâmica*, energia nunca é perdida, e sim transformada. No entanto, o *Segundo Princípio da Termodinâmica* diz que uma vez usada para produção de trabalho ou movimento (sem armazenamento como energia potencial), a energia se dissipa na forma de calor não podendo ser mais utilizada. Um objeto ao cair de uma mesa ao chão produz certa quantidade de trabalho e ao final do curso irá desprender energia em forma de calor devido ao atrito com o ar e com o chão. Porém, essa energia transformada em calor não poderá ser utilizada para fazer o objeto retornar para o lugar de onde estava. Acontece o mesmo com um “bate-estaca”, o trabalho realizado pelo peso que enterra a estaca dissipa a energia em forma de calor e não mais poderá ser utilizada, sendo necessário o emprego de novas energias para fazê-lo voltar ao ponto inicial (altura de onde veio). (BRANCO, 1993)

## 2.2.1 Unidades

Segundo Goldemberg (1979), seguem abaixo algumas unidades básicas importantes no emprego de energias:

Energia mecânica é usualmente medida em *joules*, que é o trabalho realizado por uma força de 1 Newton num deslocamento de 1 metro na direção desse deslocamento (1 joule = 1 Newton metro).

(Um Newton é a força que atuando num corpo de 1kg de massa lhe comunica uma aceleração de  $1\text{m/s}^2$ ).

Como exemplo, pode-se ver que um corpo de 1kg, que cai a uma altura de 1 metro, possui uma energia de:

$$W = 1 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 9,8 \text{ joules}$$

Ou seja, a força de gravidade realizou nele o trabalho de 9,8 joules.

A unidade tradicional de calor é a *caloria*, que é a quantidade de calor necessária para elevar de  $1^\circ \text{C}$  a temperatura de um grama de água de  $14,5$  a  $15,5$   $^\circ\text{C}$  (a unidade inglesa de calor é o Btu – calor necessário para elevar de  $1^\circ$  Farenheit 454g de água, de  $63^\circ\text{F}$  a  $64^\circ\text{F}$ ).

$$(1 \text{ Btu} = 252 \text{ calorias})$$

As experiências de Joule mostraram que para produzir uma caloria são necessárias 4,18 joules.

$$(1 \text{ caloria} = 4,18 \text{ joules})$$

### 2.2.2 Distribuição de Energia na Terra

A principal fonte de energia na Terra provém do Sol. Porém, ela recebe uma parcela muito pequena dessa energia emitida. Conforme a Tabela 1, pode-se perceber o que acontece com essa energia ao chegar a superfície da Terra:

**Tabela 1** - Distribuição de energia na Terra (Branco, 1993)

	<b>Destino da energia</b>	<b>Quantidade (%)</b>
Função termodinâmica (96%)	Devolvida ao espaço, por reflexão e absorvida na atmosfera	60,0
	Refletida pelo solo, geleiras, vegetação e oceanos	11,0
	Consumida na evaporação da água (ciclo hidrológico)	16,0
Função fotobiológica (4%)	Absorvido pelo solo	9,0
	Consumida na fotossíntese de plantas terrestres	3,0
	Consumida na fotossíntese marinha	<u>1,0</u>
		100,0

Percebe-se por intermédio da Tabela 1, que apenas 4% da energia total recebida pela Terra, corresponde ao consumo da energia na fotossíntese, parcela

que é responsável pela formação de praticamente toda matéria orgânica da biosfera, com exceção de fontes geotérmicas (em dorsais oceânicas). O combustível fóssil representa 0,5% dessa energia foto biótica armazenada no subsolo, o que representa mais de 0,02% de toda energia recebida pelo sol. O movimento do ar e da água (como o ciclo hidrológico, os ventos, as temperaturas, os tufões) são fatores correspondentes a função termodinâmica na Terra. (BRANCO, 1993)

Muitas das formas de energia foram e ainda são empregadas pelo homem em sua “corrida energética” (sua contínua sede de energia) ao longo de muitos anos. No entanto, grande parte da energia que ainda utilizamos no dia-a-dia (máquinas, veículos, produção de conforto em geral) é responsável pelo consumo daquelas fontes correspondente 0,02%. Talvez enquanto o homem existir, essas fontes de energia (que ficaram milhões de anos soterradas nas entranhas da Terra para ocorrer sua formação) não terá outra oportunidade de formação.

Na realidade, outras fontes de energia podem ser utilizadas para suprir as necessidades do homem moderno, como as energias renováveis (as que se renovam ou são inesgotáveis), que segue na Tabela 2 a seguir:

**Tabela 2** - Fontes de energia (Branco, 1993)

<b>Fonte</b>	<b>Utilização</b>
Energia eólica + energia solar direta	0,1
Energia nuclear	2,9*
Energia hidráulica e maremotora	4,0
Energia bioquímica (alimento, tração animal, queima de biomassa)	10,0
Energia química fóssil (petróleo, carvão, gás)	83,0
<b>Total</b>	<b>100,0</b>

\*Essa porcentagem está crescendo rapidamente em todo o mundo. Alguns trabalhos recentes já falam em 15%.

### 2.2.3 Nota sobre Armazenamento e Transporte de Energia

O uso de energia pode ser vinculado ou empregado em métodos que visem a utilização direta (utilizando-a direto da fonte) ou sob a forma de energia armazenada (forma mais tradicional de utilização). Todavia, o uso eficiente de diversas fontes de energia está ligado diretamente com o seu transporte e

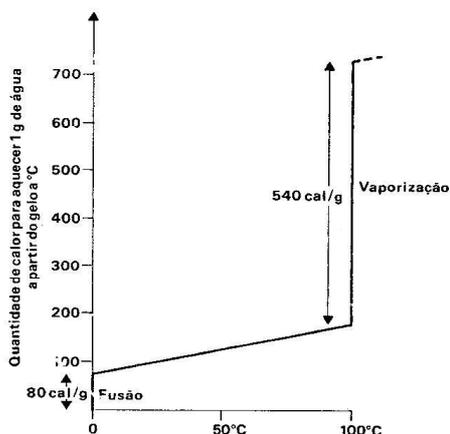
armazenamento. Em outras palavras, alguma falha (ou utilização errônea) no sistema de transporte ou armazenamento comprometerá a eficiência energética.

Segundo Goldemberg (1979), o exemplo mais simples, seria o tanque de gasolina de um automóvel, que nada mais é do que um método de armazenamento de energia que assegura a autonomia do veículo (por intermédio da fonte de abastecimento) por 400 ou 500 quilômetros. Outro exemplo são as baterias elétricas (armazenam eletricidade).

Os principais métodos de armazenamento de energia podem ser classificados em três categorias:

- i. Mecânicos, como por exemplo, reservatório de água, gás comprimido e rotores mecânicos;
- ii. Térmicos;
- iii. Químicos, como por exemplo, baterias, células combustível e hidrogênio.

A Figura 1 representa a quantidade de calor por unidade de massa que é necessária para o aquecimento da substância representada (água) de 0 a 100°C. O calor específico varia um pouco, exceto no ponto de fusão do gelo (0°C) e de evaporação da água (100°C). Como o calor latente é a quantidade de energia para uma substância mudar de fase, nesse caso a fusão do gelo ocorre com o consumo de 80 cal/g e o seu calor latente de evaporação é de 540 cal/g. O armazenamento é feito devido a transmissão da energia a um material isolado termicamente (caso ideal, sem perdas), o que o conserva até o momento que se deseje usá-lo novamente. (GOLDEMBERG, 1979)



— A quantidade de calor necessária para aquecer a água em função da temperatura. Observe as transições bruscas no ponto de fusão do gelo e no ponto de ebulição da água.

**Figura 1** - A quantidade de calor necessária para aquecer a água em função da temperatura (Goldemberg, 1979)

A Tabela 3 a seguir mostra valores do calor específico de alguns materiais:

**Tabela 3** - Valores do calor específico de alguns materiais (Goldemberg, 1979)

<i>Material</i>	<i>Cal/g°C</i>	<i>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</i>
Água	1,00	1
Magnetita (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	0,17	5,2
Ferro	0,11	7,9
Óxido de magnésio (MgO)	0,23	3,6
Óxido de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,20	4,0
Alumínio	0,22	2,7
Granito	0,19	2,8
Asfalto	0,40	1,3
Vidro	0,20	2,5
Tijolo	0,24	2,0
Concreto	0,21	2,2
Terra seca	0,30	1,4
Madeira (pinho)	0,60	0,5

De acordo com a Tabela 3, observa-se que a água é um excelente armazenador de energia. De acordo com Goldemberg (1979) um volume de água de 26 metros cúbicos (com sua temperatura elevada até 100°C) pode armazenar energia equivalente a um barril de petróleo cujo volume corresponde a 159 litros.

### 2.2.3.1 Energia térmica – Formas de transmissão de calor

Sabe-se que a energia pode ser manifestada de várias formas. Todo trabalho, só pode ser exercido com o emprego de alguma energia que no fim é dissipada em forma de calor. Isso acontece devido ao primeiro princípio da termodinâmica.

Essa energia que é despreendida, é uma forma de transformação de outra energia em geração de calor, ou dissipação em forma de energia térmica. Lembrando que energia térmica, conforme Halliday, Resnick & Walker (2006), é uma energia interna que consiste em energia cinética e potencial associada com o movimento aleatório de átomos, moléculas e outros corpos microscópios no interior de um corpo.

“Na Física, *Calor* é a forma de energia que um sistema provido de fronteira diatérmica troca com o ambiente em consequência de uma diferença de temperatura. A passagem de energia através da fronteira do sistema denomina-se fornecimento de calor ou troca de calor” (CERBE & HOFFMANN, 1973). Em outras palavras, calor é a transferência de energia de um corpo para outro quando neles há uma diferença de temperatura, quando não há diferença de temperatura entre um corpo e outro diz que os mesmos estão em equilíbrio térmico.

A transferência de calor de um corpo para outro pode ocorrer de diferentes maneiras.

De acordo com Cerbe & Hoffmann (1973), um sistema diatérmico (que permite a passagem de calor) troca calor com o ambiente quando ocorre uma diferença de temperatura entre eles. Essa transmissão de calor ocorre sempre na direção das temperaturas decrescentes, ou seja, do corpo mais quente (com maior concentração de energia térmica) para o corpo mais frio (com menor concentração de energia térmica ou calor).

O calor então pode ser transmitido por três diferentes processos, embora na prática ocorram simultaneamente, serão exemplificados de forma separada para fins didáticos. Os processos são: *condução*, *convecção* e *radiação*.

*Condução* – A transferência de calor nesse processo é mantida em níveis das atividades atômicas e moleculares. A condução pode ser encarada como a

transferência de energia das partículas mais energéticas para as menos energéticas devido a interações dessas partículas. Temperaturas altas estão associadas a energias moleculares altas, ao se chocarem com moléculas vizinhas, ocorre uma transferência de energia das moléculas mais energéticas para as menos energéticas e com auxílio de um gradiente de temperatura, a transferência por condução ocorre na direção da diminuição da temperatura. (INCROPERA et al., 2008)

Pode-se perceber empiricamente, o fenômeno da condução de calor via aquecimento de uma parede pelo sol. Os raios solares atingem a face externa da parede e o calor é transmitido da parte externa para parte interna.

*Convecção* – A transmissão de calor por convecção é realizada por meio de partículas líquidas ou gasosas (em movimento) onde a energia é carregada pelas próprias partículas. O movimento é provocado pela própria transmissão de calor, que pode ser *escoamento livre* ou *escoamento natural*, por exemplo: o ar que passa de um aquecedor para o ambiente. (CERBE & HOFFMANN, 1973)

Denomina-se *escoamento forçado* quando o movimento é provocado por bombas ou ventiladores independentes da transmissão de calor. Como por exemplo: o resfriamento de um motor.

*Radiação* – A transmissão de calor ocorre devido a uma troca de energia entre um corpo quente e um corpo frio através de ondas eletromagnéticas, sem mesmo haver um meio de transmissão. A energia desta forma é frequentemente chamada de radiação térmica. (CERBE & HOFFMANN, 1973)

### 2.3 DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA – DO CONSUMO AO DESPERDÍCIO

De acordo com Branco (1993), sem energia não há civilização, não há desenvolvimento.

Tem-se conhecimento pleno que a sociedade moderna necessita de energia para sobreviver. Os países com menor índice de industrialização buscam seu desenvolvimento para proporcionar a população melhor padrão de vida, conseqüentemente ocasionando um aumento de consumo energético. (TUNDISI, 1994)

O grande problema do mundo atual é essa dependência energética atrelada com o consumo excessivo de energia que muitas vezes é ocasionado pelo alto

crescimento populacional vinculado com desperdício de energia ou mesmo o mau uso da mesma, como também o crescente grau de mecanização que tem sido introduzido na sociedade. Mesmo os países não beneficiados com a tecnologia da mecanização, desejam o quanto antes obter esses avanços, o que implica no aumento da demanda de energia. Mesmo que as populações cessassem o seu crescimento e os países se satisfizessem com o grau de mecanização esse índice de demanda de energia aumentaria significativamente, entretanto essa hipótese seria impossível.

O consumo mundial de energia pela humanidade na década de 90 foi estimado em uma proporção que 83% vinda de combustíveis fósseis como o petróleo, o carvão e o gás natural. Isto significa que o mundo desenvolvia quase todas as suas atividades, realizava seu crescimento tecnológico e garantia seu conforto às custas das reservas de compostos orgânicos que caracterizavam o século XX como dependente de energia não renovável. (BRANCO, 1993)

Segundo Palz (2002), até o ano de 2001, o progresso técnico baseava-se no consumo de combustíveis fósseis, o petróleo nesse caso era o mais utilizado (acumulações de reservas levaram em torno de 70 milhões de anos). Todavia, as reservas do mesmo estão se exaurindo rapidamente, nas taxas atuais de consumo estima-se que a escassez ocorra por volta de uma ou duas gerações.

Esforços estão sendo feitos para melhoramento da matriz energética e consumo consciente. Porém dados de previsões recentes mostram que o total do consumo de energia aumentará por volta de 50% nas próximas décadas (em comparação com a expansão de 34% de 1980-2000), sendo o petróleo o grande responsável pela maior parte desse aumento. (*CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY, 2006*)

### 2.3.1 Uso de Fontes Convencionais de Energia

Muitas fontes de energia utilizadas até hoje para o consumo energético mundial são de origem fóssil. O consumo dessas fontes vem ocorrendo a décadas, dados mostram que na década de 60 (antes da primeira crise do petróleo em 1973), 98% do consumo energético era proveniente do petróleo e carvão. (HALACY, 1963)

Os combustíveis fósseis podem ser utilizados sob várias formas, abaixo é mostrado algumas delas.

### 2.3.1.1 Petróleo e gás natural

Petróleo é um líquido inflamável, formado principalmente de *hidrocarbonetos* (compostos químicos de carbono e hidrogênio de fórmula  $C_nH_m$ ) também chamado de *ouro negro*. É encontrado às vezes na natureza em fontes, mas principalmente em depósitos superficiais geralmente abaixo da superfície terrestre onde é retirado por meio de poços (onde é encontrado é chamado de óleo cru). Sua densidade varia 0,82 a 0,95 e sua cor usualmente é de cor preta. (GOLDEMBERG, 1979)

A obtenção do gás natural é feita em conjunto com a obtenção do petróleo, pois tende a ocorrer junto com os depósitos do mesmo. Contudo a tendência de esgotamento das reservas de gás natural acompanha as do petróleo. Sua produção na década de 70 foi de 1,2 t<sup>3</sup>, das quais apenas 18% utilizadas para a produção de energia, enquanto o restante era injetado nos poços de petróleo para aumentar a pressão ou queimado no próprio local. (GOLDEMBERG, 1979)

### 2.3.1.2 Carvão

O produto que se assemelha a uma rocha preta ou marrom é genericamente chamado de carvão, o qual é resultante de acumulação de resíduos florestais sob a forma de turfa, material orgânico que sofreu “sepultamento” e passou por vários processos geológicos os quais enrijeceram e comprimiram transformando-o em grafita (carbono amorfo).

De acordo com a Tabela 4, os tipos de carvão estão caracterizados como:

**Tabela 4** - Tipos de carvão (Goldemberg, 1979)

<i>Tipos de carvão</i>	<i>Carbono (%)</i>	<i>Materiais voláteis (%)</i>	<i>Conteúdo calorífico Kcal/kg</i>
I – Antracito*	Acima de 86	14	7300 – 9100
II – Betuminoso	Abaixo de 86	14	6400 – 7800
III – Sub-betuminoso*	Abaixo de 86	14	4650 – 6400
IV – Lignito	Abaixo de 86	14	3650 – 4650

\* Das reservas totais de  $3256 \times 10^6$  t,  $2014 \times 10^6$  t são do tipo sub betuminoso,  $1240 \times 10^6$  t do betuminoso e apenas  $2 \times 10^6$  t de antracito. Os carvões sub-betuminosos do Rio Grande do Sul e Paraná são de baixa qualidade e podem ser usados apenas como carvão vapor.

### 2.3.1.3 Problemas com a utilização de combustíveis fósseis

A queima de combustível fóssil é responsável por um alto potencial no que diz respeito à geração de energia. A queima de um litro de gasolina, por exemplo, contém 5.000 kcal que podem ser liberadas em sua queima. Outro caso é um tipo de carvão (sub-betuminoso) que possui uma média de 5000 kcal/kg. (GOLDEMBERG, 1970; TUNDISI, 1994). No entanto a queima (combustão) desse produto é responsável por uma geração de “subproduto”, denominado efluente gasoso e/ou resíduo sólido.

Algumas razões são levadas em considerações atualmente para que seja evitada a queima de combustíveis fósseis de uma forma contínua. Essas razões estão relacionadas à produção de fumaça e o subproduto gasoso que é considerado um poluente para a atmosfera. Essas substâncias alteram a composição química do ar que os seres humanos (como outros animais e plantas) respiram. Dentre esses componentes contidos na “fumaça”, alguns já existem na atmosfera, porém em quantidades baixa. O que ocorre é que, se essas quantidades forem aumentadas podem ser consideradas tóxicas. (BRANCO, 1993)

Dentre os compostos, o *monóxido de carbono* se destaca por ser um poluente altamente tóxico. A formação desse gás se dá principalmente pela combustão incompleta do petróleo e do carvão. Casos já foram registrados de pessoas que morreram por asfixia por deixarem o automóvel com o motor ligado dentro de garagens fechadas, ou intoxicação de famílias inteiras que dormiam com fogareiros acesos em casa com as janelas fechadas.

Outros compostos encontrados representam um alto potencial tóxico como os óxidos de nitrogênio - especialmente o dióxido de nitrogênio – que causam irritação da mucosa e dos pulmões e podem transformar-se no interior do aparelho respiratório em *nitrosaminas*. Estas são consideradas potenciais causadoras de câncer (carcinogênicas) como também produtora de *metaemoglobinemia* (forma perigosa de anemia quando transferida ao sangue). Esses óxidos estão associados

a queima de combustíveis de caldeiras ou em veículos e formam-se devido à oxidação do próprio nitrogênio do ar a altas temperaturas. (BRANCO, 1993)

#### 2.3.1.4 Alguns problemas ambientais

Uma descoberta feita em meados do século XVII, revelou um fenômeno denominado chuva ácida. O feito baseou-se na formação de ácido sulfúrico derivado de compostos de enxofre proveniente da queima de carvão (em fornalhas), que desprendem durante a queima. Esses compostos de enxofre transformam-se em ácido sulfúrico no ar que posteriormente se precipitam com as gotas da chuva ocasionando desgastes de materiais tais como: corrosão de metais, descoloração de pinturas de construções, desgastes de pedras, além de ser responsável pela má qualidade da água em locais afastados das cidades.

Alguns problemas envolvendo combustíveis fósseis (além de seu efeito de combustão e geração de subproduto poluente) que devem ser considerados são: a própria extração, purificação e transporte desses compostos orgânicos.

Se tratando de processo de mineração, a extração de materiais do subsolo para devida utilização pela humanidade, já é considerada um tipo de violência à natureza, pois esses materiais não têm ocorrência normal na superfície terrestre (porém essa situação altera a composição química dos ambientes). Todavia, esse processo já é utilizado desde épocas remotas pelo homem, com o uso dos metais (primeiras ligas metálicas de cobre e depois o ferro) para fabricação de suas lanças, instrumentos de trabalho etc. Segundo Branco (1993), graças ao emprego de combustíveis fósseis (carvão e petróleo) se deu a Revolução Industrial por intermédio do domínio de técnicas metalúrgicas que utilizavam desses combustíveis.

De qualquer maneira é extremamente importante maiores cuidados com o acúmulo desses produtos do subsolo na superfície, pois a medida que se avolumam tornam-se potenciais “contaminantes” que alteram os ecossistemas quando trazidos e espalhados na superfície. Um exemplo disso é o petróleo, que diariamente é transportado toneladas desse produto através dos oceanos (por petroleiros com capacidade de centenas de milhares de toneladas) ou pelo continente (via oleodutos com milhares de quilômetros de distância). O rompimento de oleodutos, negligência no transporte marítimo ou o tombamento de caminhões-tanques vem ocasionando

desastres cada vez maiores nos ecossistemas terrestres, rios e oceanos. Cerca de 300 mil toneladas de óleo sejam derramados no mar por petroleiros, somando ainda o derrame em refinarias, oleodutos, acidentes em terminais de carga e descarga totalizando a quantidade de 2 milhões de toneladas por ano. (BRANCO, 1993)

Se tratando de carvão fóssil, acontece algo semelhante. Conforme Branco (1993), o carvão (particularmente o brasileiro) contém uma considerável proporção de enxofre, denominado *pirita*, o qual está na forma de cristais de coloração dourada, também chamado de sulfeto de ferro. Enquanto esse material ocorre no fundo da Terra, não sofre alteração significativa. No entanto, a partir do momento que é retirado e trazido a superfície, o mesmo é transformado em ácido sulfúrico (produto tóxico e altamente corrosivo) pelo contato com o oxigênio e a umidade do ar. Em regiões carboníferas, na Inglaterra ou no Sul do Brasil, esses ácidos degradam o solo e causam grande mortalidade de peixes (e outros elemento de fauna e flora) quando entram em contato com os rios, além de impedir o abastecimento das cidades com o uso dessas águas.

### 2.3.2 Consumo de Energia x Desenvolvimento

Como citado no início deste capítulo, tem-se o conhecimento de que a sociedade precisa de energia para sobreviver e manter uma boa qualidade de vida. Os países menos desenvolvidos buscam inovação e os que já estão num marco tecnológico alto tendem a manter e melhorar essa stiuação.

Mas será que o progresso necessita do consumo de maior quantidade de energia?

Conforme Goldemberg (1979) existe três tipos de evidências de que o consumo energético e o crescimento econômico (medido pelo PNB) não estão ligados de uma forma indissolúvel, em outras palavras existem caminhos alternativos que possibilitam dissociar o crescimento econômico do consumo de energia.

As evidências são as seguintes:

- (a) História;
- (b) Comparação entre países desenvolvidos;
- (c) Comparação entre países desenvolvidos e países em desenvolvimento.

Em todo esse processo, vale ressaltar que é muito importante a conscientização dos diferentes governos quanto à crise energética. Porque ela atinge a todos, seja rico ou pobre. Segundo Tundisi (1994), investimentos e esforços conjuntos na busca de soluções viáveis que não prejudicam o meio ambiente significam a sobrevivência da humanidade.

#### 2.4 ENERGIAS RENOVÁVEIS – FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA

As fontes utilizadas para geração de energia podem ser de origem renovável e não renovável. De acordo com AGENEAL (2011), as fontes de energias não renováveis encontram-se limitadas na natureza e se extinguem com a sua utilização, uma vez esgotadas não podem se regenerar, exemplos: carvão, petróleo e gás natural, também conhecidos como combustíveis fósseis. Em contrapartida as fontes renováveis não são possíveis de estabelecer um fim temporal a sua utilização, em outras palavras são virtualmente inesgotáveis. No entanto, é limitado em termos de quantidade de energia que é possível extrair em cada momento. Todavia essa energia é conhecida como energia limpa, pois sua geração não emite poluentes. Exemplos dessa energia: incidência solar, existência dos ventos, as marés e cursos d'água.

Há cerca de 250 anos atrás, o homem dependia apenas de energias naturais. Animais eram utilizados para puxar arados, moinhos de vento trituravam grãos e os músculos humanos que moviam a sociedade. Nos dias de hoje, os bens e serviços utilizados dispõem principalmente de fontes não renováveis, a demanda de energia global triplicou desde 1950 e o consumo atual equivale a 10 bilhões de toneladas de petróleo anualmente. De acordo com o conselho mundial de energia, o consumo de energia deverá aumentar 50% até 2020. Segundo EPE (Empresas de pesquisas energéticas) em 2007, 87% da energia do mundo era proveniente de combustíveis fósseis, destes 41% de petróleo, 22% carvão e 24% de gás natural. Do montante restante de 13%, 8% eram de energias renováveis e 7% energia nuclear. (VECCHIA 2010; WALISIEWICZ, 2008).

Dos valores mostrados acima, a porcentagem de consumo pertinente as energias renováveis ainda é muito baixa. Uma hipótese para manter uma matriz energética baseada no consumo de energias providas de fontes não renováveis é o

potencial que as mesmas detêm para geração de energia (pode-se retirar quantidades extraordinárias de energias dessas fontes). Porém o emprego dessas fontes na geração de energia causam inúmeros problemas ambientais além dos mesmos estarem dispostos finitamente na Terra. Além do mais, no Brasil há carência de estudos científicos e investimento tecnológico, suficiente para que se iguale o consumo de energia renovável com fontes convencionais de energia.

Devido ao consumo acelerado e a escassez de combustíveis convencionais empregados para fins de geração de energia e acima de tudo a poluição gerada por eles, deve-se mudar nossa concepção de energia utilizando novos métodos de obtenção, desfrutando de recursos naturais renováveis que o território brasileiro dispõe.

#### 2.4.1 Energia Solar

Uma das primeiras aplicações de energia solar feita pelo homem foi no ano de 212 a.C. Foi na Itália, numa cidade Grega chamada Siracusa, na ilha de Sicília, onde Arquimedes defendeu a cidade contra a marinha Romana instruindo os soldados a polirem seus escudos de bronze. Utilizados como espelhos planos os escudos refletiam direcionando a radiação solar num mesmo ponto incendiando os barcos inimigos. (MOURÃO, 2007).

Tempos depois o homem utilizou a energia solar em vários aspectos, dentre eles para geração de energia, aquecimento de água, conforto térmico, preparo de alimento entre outros.

Energia solar nada mais é que a energia irradiada pelo Sol sobre a Terra. Do total de energia enviada pelo Sol (que atinge a Terra), boa parte é refletiva pela atmosfera - em torno de 60% - do restante 11% é refletida pelo solo, oceanos e cobertura vegetal, 16% é consumida pela evaporação contínua da água, 9% é absorvida pelo solo; 3% é utilizada na fotossíntese de plantas terrestres e 1% na fotossíntese marinha. Todavia, somente 4% da energia solar que atinge a Terra é convertida em matéria orgânica na fotossíntese, em outras palavras a energia absorvida pelas plantas é armazenada sob a forma de carboidratos e outros tecidos vegetais. (TUNDISI, 1994)

A energia solar que incide sobre a Terra constantemente representa um potencial energético extraordinário. Abaixo é ressaltado algumas características do potencial solar, conforme Ronaldo Rogério de Freitas Mourão (2007):

“A energia solar é essencial para a manutenção da vida em nosso planeta. E chega até ele em quantidades generosas. A cada minuto, a Terra é banhada por uma quantidade de luz solar suficiente para atender as necessidades energéticas da civilização mundial durante um ano inteiro. Para se ter uma idéia cada metro quadrado da superfície terrestre recebe mil watts de radiação solar em um dia claro, energia que, se pudesse ser integralmente aproveitada, ascenderia dez lâmpadas de cem watts ao mesmo tempo.”

Segundo Cometta (1978), se for considerado o potencial total de energia solar que a Terra recebe, anualmente chegam a Terra  $10^{18}$  kWh. Ou seja, em um mês, o Sol envia a Terra o equivalente a  $10^{13}$  t de carvão, comparáveis, segundo as estimativas otimistas, as reservas totais da Terra, deste combustível.

A uma distância fixada em  $149,67 \times 10^9$  metros longe da Terra (no espaço interestelar), a radiação solar é definida pela chamada *constante solar*, que tem um valor de  $1400 \text{ W/m}^2$ , naturalmente a potência que atinge a superfície terrestre é menor devido a absorção pela atmosfera - que varia com a altura do Sol sobre o horizonte, e com as condições atmosféricas, bem como a latitude sobre o nível do mar do local da medida. Essa atmosfera que é atravessada pelos raios solares tem uma variação 100 km com o sol alto, no zênite, a cerca de 1130 km, com o sol sobre o horizonte. Todavia é um fato muito conhecido que o sol esquenta mais ao meio dia do que à tarde. (COMETTA, 1978)

#### 2.4.1.1 O Sol

O colapso gravitacional de corpos celestes é considerado a maior fonte de energia do Universo, como ocorre no Sol: os gases que o constituem (hidrogênio e hélio principalmente) são comprimidos a medida que ele se contrai aquecendo-os a elevadas temperaturas ( $10^{18}$  K), o que dá origem a reação nuclear de fusão que emite calor e luz, desse modo impedindo que a compressão prossiga – até o esgotamento do hidrogênio e hélio. (GOLDEMBERG, 1978)

A reação citada à cima se dá normalmente no interior do Sol. Corpo esse constituído de 81,65% de átomos de hidrogênio e 18,17% de hélio, onde

temperaturas superiores a 30 milhões de graus Celsius ocorre à reunião de quatro núcleos de hidrogênio para formar um núcleo de hélio, liberando quase 20 milhões de eletro-volt de energia, na forma de radiações eletromagnéticas. Devido a essa extraordinária quantidade de energia que ocorre a produção de altíssimas temperaturas, bem como várias formas de energia que radiam e se espalham a partir do Sol em todas as direções do espaço. (BRANCO, 1993)

Devido à grande distância que separa a Terra do Sol e à desproporcionalidade que ocorre entre os astros, apenas uma pequena parcela da energia solar atinge a Terra. Segundo Branco (1993):

“Essa pequena parcela, no entanto, representa 4 trilhões de megawatts-hora por dia, ou seja, quase 30 mil vezes a quantidade total de energia produzida e consumida pelos engenhos domésticos, industriais ou agrícolas no mundo todo. Quase 60% dessa energia são novamente devolvidos ao espaço, por reflexão, ou absorvidos pela atmosfera, constituindo a energia dos ventos, tufões e tempestades. Algo mais que 40% chegam à superfície do solo e dos oceanos. Essa parcela representa uma quantidade de energia equivalente a cerca de 5 ou 6 milhões de vezes a que é produzida pelas potentes usinas de Itaipu, no Rio Paraná, uma das maiores instalações hidrelétricas do mundo”

O aproveitamento de energia solar pode ser realizado de várias formas, seja da forma direta, seja da forma indireta (produção de biomassa, energia dos ventos, das marés entre outros). No entanto, a energia solar apesar de ter um enorme potencial requer alguns mecanismos de concentração para utilização, pois alcança a Terra de forma bem difusa.

#### 2.4.1.2 Modos de utilização de energia solar

O Sol fornece energia por intermédio de três processos tais como:

- Processos térmicos, que se subdividem por sua vez em três subclasses: alta, média e baixa temperatura;
- Processos elétricos;
- Processos químicos.

De acordo com a Tabela 5 pode-se visualizar e classificar as várias modalidades de aproveitamento como também diversas utilizações de energia solar.

**Tabela 5** - Modos de utilização de energia solar (Cometta, 1978)

Energia térmica	A baixa temperatura (até 100 °C)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aquecimentos de ambientes</li> <li>- Condicionamento de ar</li> <li>- Refrigeração</li> <li>- Evaporação</li> <li>- Destilação</li> <li>- Geradores de vapores de líquidos especiais</li> </ul>
	A média temperatura (até 1000 °C)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geradores de vapor d'água</li> <li>- Transformação em energia elétrica e mecânica</li> <li>- Fornos solares</li> </ul>
	A alta temperatura (além de 1000 °C) mediante à fornos solares parabólicos.	
Transformação direta em energia elétrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processos fotovoltaicos</li> <li>- Geradores termoelétricos</li> </ul>	
Processos fotoquímicos	Químicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fotólise</li> <li>- Fotossíntese</li> </ul>
	Químicos Biológicos	Fotossíntese

Conforme Cometta (1978), a energia solar é recebida de forma disseminada (não concentrada), sua captação para potências muito elevadas requerem de instalações complexas e custosas (como é o caso de painéis fotovoltaicos com seguidores solares eletrônicos). Mesmo nos locais de instalação a energia é disponível de forma descontínua, devido a alternâncias periódicas (dia-noite; verão-inverno) e casuais (céu claro-nebuloso), sendo indispensável a utilização de dispositivos acumuladores e concentradores. Os custos iniciais de instalação e as dificuldades associadas com a disponibilidade de energia são obstáculos para o rápido desenvolvimento do uso de energia solar, a menos que um quadro dramático leve ao aumento exorbitante dos custos dos combustíveis tradicionais e nucleares.

Por outro lado, a energia solar é considerada uma fonte de energia pura, (não origina fumaça), não gera escória (de nenhuma espécie, muito menos escórias radioativas, que representam a incógnita mais grave que é um obstáculo na difusão das centrais nucleares). O aproveitamento de energia neste ponto de vista constitui uma boa solução para a proteção do meio ambiente. (COMETTA, 1978)

Por fim, o aproveitamento de energia solar deve ser considerado um método econômico e parcial na substituição do emprego de combustível fóssil e nuclear, e não, uma forma de prosseguir no disseminado incremento na corrida pelo esbanjamento de energia.

#### 2.4.1.3 Aquecimento solar

Os métodos de aquecimento solar consistem na captação da radiação enviada pelo sol (sob a forma de calor) para aquecer fluidos de uso doméstico ou industrial, outras aplicações é a transformação desse calor em outro tipo de energia em centrais solares.

O custo de instalação desses sistemas é inicialmente alto, mas por outro lado o custo de manutenção é relativamente baixo. Em casos de utilização de água no processo de transferência de calor, é necessário a utilização de elementos ou substância que combatam a corrosão (anti-corrosivo) como também bactericidas (no caso de ruptura do sistema, pode ocasionar contaminação). Entretanto comparado com outros sistemas de geração de energia, pode ser considerado isento de riscos ambientais apesar de ter uma aparência antiestética.

O cientista suíço Nicholas de Saussure, no século XVIII idealizou o sistema de coletor solar de energia, que até hoje é utilizado em instalações domésticas e industriais para o aquecimento de água. O sistema se resumia em um caixa simples de madeira, quadrada e contendo poucos centímetros de altura, coberta com vidro e sua parte interna era pintada de negro. Ao expor a caixa ao sol, obteve temperaturas de até 85° C no seu interior. Nos dias de hoje “essas caixas” contém uma serpentina por onde circula a água, são construídas de materiais mais isolantes e colocadas em série sobre o telhado da casa, orientadas no sentido de máxima exposição às radiações solares. Equipamentos como esse, utilizados em países frios, proporcionam uma economia de 1/3 com o gasto de combustíveis para aquecimento da casa e da água de banho ou de cozinha. Em regiões tropicais, o índice de insolação é mais intenso comparado a estes países frios, sendo que durante todo o ano, a economia pode ser bem maior. (BRANCO, 1993)

Um dos métodos de aproveitamento de energia solar (ou seja, energia solar para produção de calor) é baseado no “efeito estufa”, o qual é utilizado a muitos

anos pelos agricultores. A base desse fenômeno baseia-se no fato do plástico ou vidro serem transparentes a luz do sol, ao mesmo tempo em que agem como um bom isolantes térmico.

Uma das energias renováveis mais promissoras do Brasil é a energia solar. Em sua maior parte, o território brasileiro está situado na faixa tropical e subtropical do planeta e recebe intensa radiação solar ao longo do ano. Enorme é o potencial dessa fonte que por enquanto é considerada inesgotável, e acima de tudo é disposta na superfície terrestre gratuitamente.

O Brasil (país tropical), ao contrário dos países que possuem clima temperado, apresenta em sua imensa área uma situação extremamente privilegiada do ponto de vista de energia solar, possui uma das áreas mais ricas de energia em todo mundo devido a sua área situada numa das regiões de maior incidência de radiação solar do globo.

De acordo com o European Database for Daylight and Solar Radiation (2005), os valores de irradiação solar global que incidem em qualquer região do território brasileiro (4200-6700 kWh/m<sup>2</sup>) ultrapassam o índice de incidência solar dos países da União Européia, como Alemanha (900-1250 kWh/m<sup>2</sup>), França (900-1650 kWh/m<sup>2</sup>) e Espanha (1200-1850 kWh/m<sup>2</sup>), onde projetos referentes ao aproveitamento de recursos solares são executados com fortes incentivos governamentais.

## 2.5 CALDEIRAS INDUSTRIAIS – (GERADORES DE VAPOR DE ÁGUA)

Define-se gerador de vapor um trocador de calor complexo, produtor de vapor por intermédio de energia térmica (combustível), ar e fluido vaporizante, contendo diversos equipamentos associados, perfeitamente interligados para permitir a obtenção do maior rendimento térmico possível. (PERA, 1966)

Esses equipamentos popularmente chamados de “caldeiras” tem uma ampla aplicação nas atividades indústrias que necessitam de geração de vapor (principalmente proveniente de água – pela sua abundância). Equipamentos como estes operam com pressões muito altas (acima da pressão atmosférica). Em casos de aplicações na indústria essa proporção chega a 20 vezes a pressão atmosférica, 60 a 100 vezes em geração de energia elétrica (termelétrica), podendo chegar até

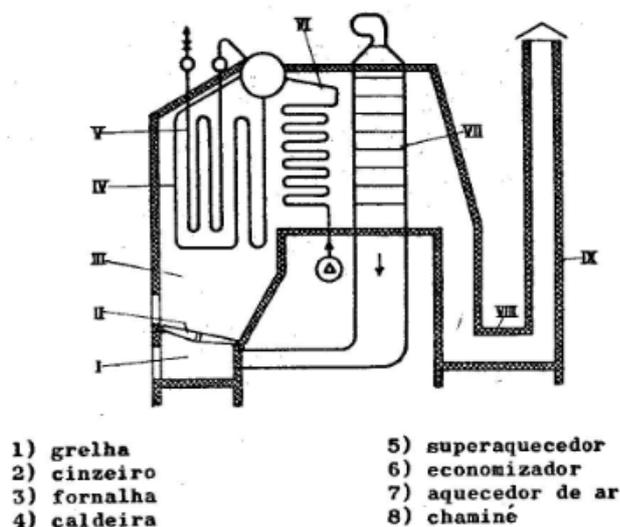
250 vezes, neste caso constitui um alto risco eminente em sua operação. (ALTAFINI, 2002)

Segundo Pera (1966), a caldeira de vapor é constituída por vasos fechados a pressão com tubos, onde se introduz água, que pela aplicação de calor se transforma em vapor. Existem vários tipos de caldeiras, cada qual classificado por diversos critérios, mas de um modo geral elas são classificadas como flamotubulares e aquatulares.

Entende-se por caldeira tipo flamotubular, as que possuem circulação interna dos gases provenientes da combustão, onde os tubos conduzem os gases por dentro da caldeira que estão circundados de água, a qual troca calor com os tubos elevando a sua temperatura, também conhecidas como caldeiras de tubos de “fumaça” ou multitubular. Por outro lado, nas aquatubulares acontece o inverso, os “fumos” ou gases de combustão atravessam a caldeira via externamente aos tubos que contém água, ou seja, cedem calor do meio externo (onde se encontram os gases) para o meio interno (água contido dentro dos tubos) aquecendo a água contida neles. (*Notas de aula – Máquinas e equipamentos, 2007*)

### 2.5.1 Componentes Clássicos

De acordo com Pera (1966), as unidades geradoras de vapor são constituintes das seguintes partes, conforme a Figura 2:



**Figura 2** - Partes de uma unidade geradora de vapor (Pera, 1966)

Devido a alta temperatura, os gases da combustão circulam através de todas as partes da caldeira por convecção, entrando em contato com as superfícies de absorção de calor até atingir a chaminé, onde são liberados para atmosfera. Em todo esse processo, a maior parte do conteúdo térmico dos gases é transferido para a água.

### 2.5.2 Combustíveis

Já que a utilização de caldeiras industriais se baseia na geração de calor para transferência a um fluido, será transformada em vapor, a mesma necessita de uma energia primária para geração de energia térmica ou em alguns casos a energia de alimentação já vem de uma fonte térmica, geralmente combustíveis sólidos, líquidos e gasosos.

Define-se combustível toda substância, artificial ou natural, no estado sólido líquido ou gasoso, com capacidade de reação junto ao oxigênio do ar, o qual mediante escorvamento libera calor e luz. (PERA, 1966)

Exemplos de combustíveis naturais são o petróleo e o carvão fóssil, enquanto derivados do petróleo, coque e carvão vegetal são considerados como combustíveis artificiais.

Cada combustível possui uma capacidade de liberar energia que pode ser por unidade de massa ou volume denominado poder calorífico que varia de acordo com a composição de cada combustível (BAZZO, 1995). A Tabela 6 a seguir mostra o poder calorífico superior e uma relação com outros combustíveis empregados na geração de vapor d'água.

**Tabela 6** - Correlação existente entre alguns combustíveis usados a nível industrial (BAZZO, 1995)

Combustível	Poder calorífico superior (KJ/kg)	tEP
Oleo combustível	43800	0,99
Lenha (base seca)	16000	0,36
Carvão fóssil	19000	0,43
Bagaço de cana	9400	0,21
Gás natural	51800	1,18

(1 tEP = 43 GJ)

Os combustíveis mais utilizados na geração de vapor são os sólidos de origem natural (lenha, turfa, carvão e carvão fóssil). Dependendo da região se disponível é utilizado bagaço de cana como também resíduos industriais como serragem e casca de arroz. A lenha é amplamente utilizada a nível industrial, porém planos de manejo são necessário sua extração como também a estruturação de um sistema de reflorestamento. O carvão e o petróleo também contribuem para o amplo emprego de combustíveis em caldeiras. (BAZZO, 1995)

Os combustíveis gasosos também podem ser classificados como naturais e artificiais.

O gás natural é um exemplo, no qual é obtido em campos petrolíferos e apresentam características bem variáveis. No caso de gases provenientes de fermentação de detritos como ocorre nos pântanos também são considerados como naturais, porém seu uso na indústria é bem restrito. Gases obtidos em processos industriais como GLP (gás liquefeito de petróleo), hidrogênio, gás de óleo, entre outros são considerados como artificiais.

**Tabela 7 - Combustíveis industriais – Equivalência energética (tEP) (Bazzo, 1995)**

Energético	Poder específico superior (KJ/kg)	tEP
Óleo combustível	43,8	0,99
Diesel	45,6	1,04
Querosene	45,1	1,03
GLP	49,8	1,13
Lenha	12,6	0,29
Serragem/cavaco	10,5	0,24
Maravalha	12,1	0,27
Carvão vegetal	28,5	0,65
Bagaço de cana	9,4	0,21
Casca de arroz	14,6	0,33

1 cal = 4,186 J

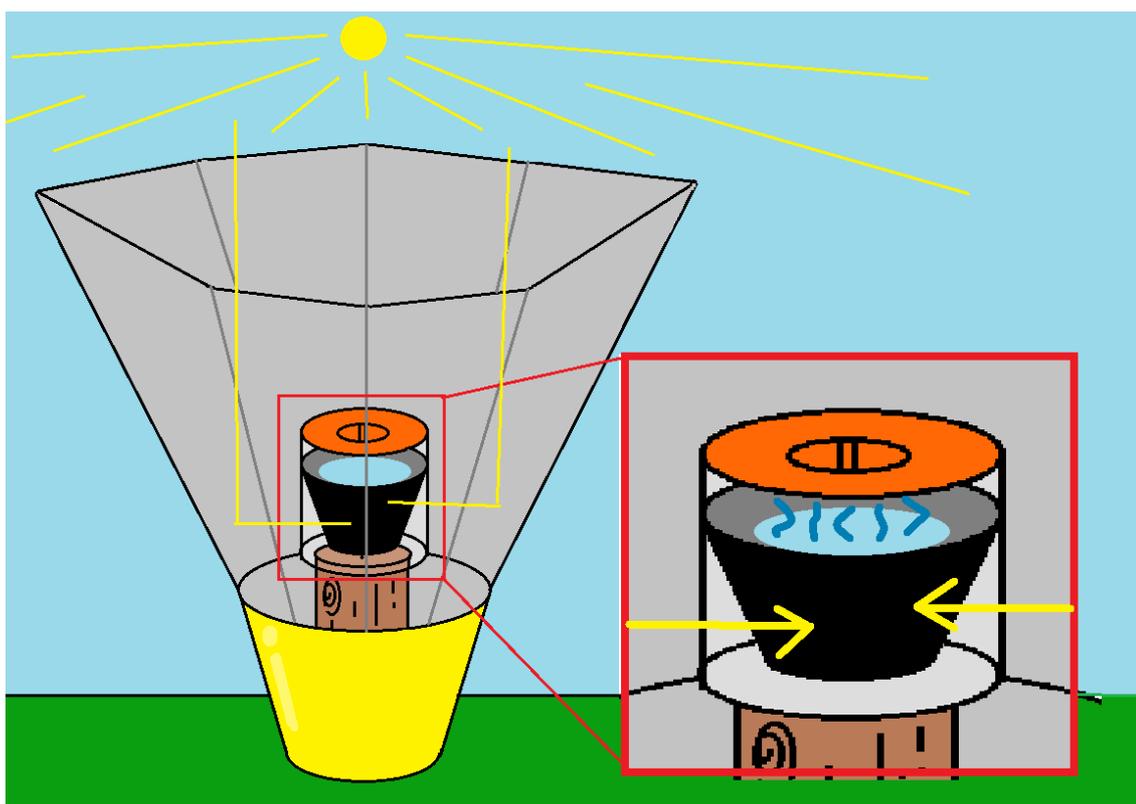
1 tEP = 44 GJ

54,44° = 327,59 K

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Baseando-se no método de aquecimento solar proposto por Jones et al. (1996), o qual idealizou um sistema de coletor solar designado “coletor solar de funil” para preparo de alimentos, aqui será utilizado para pré aquecimento de água de caldeiras industriais, no qual um sistema peculiar será elaborado.

O princípio de funcionamento de um coletor solar de funil se resume na captação de radiação solar, refletida e concentrada ao centro de um objeto em forma de funil, com sua face interna espelhada. A região de captação dos raios solares, exemplificada na Figura 3, é ocupada por um material com superfície negra com alta condutibilidade térmica, devidamente isolado para formação do efeito estufa, o qual transfere o calor para alguma fluido em seu interior.



**Figura 3** - Esquema de funcionamento de um forno solar de funil (Toniazco & Ghizzi, 2011)

Os testes do sistema de pré aquecimento proposto foram realizados no município de Francisco Beltrão (latitude  $-26^{\circ} 03' 58.5''$ , longitude  $-53^{\circ} 03' 08.32''$  de altitude 570m). A região é de clima subtropical (cfa), possui invernos amenos

(maiores que  $-3^{\circ}\text{C}$ ), verões quentes (maiores que  $22^{\circ}\text{C}$ ), insolação anual de 2352 horas e média anual de radiação solar de  $2,30\text{ kWh/m}^2$  (Iapar, 2011).

No processo de análise de aquecimento de água foi designado período de coleta de dados entre 120 a 180 min. As medições de temperatura foram coletadas por intermédio de um termômetro digital do tipo “espeto”, marca Incoterm de escala  $-50/150^{\circ}\text{C}$  com precisão de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  e resolução  $0,1^{\circ}\text{C}$ . As medições ambientais tais como: radiação solar, temperatura do sol e umidade no local, velocidade do vento foram medidas com os respectivos instrumentos: Instruterm, modelo MES-100, Escala:  $2000\text{ W/m}^2$ ,  $634\text{ Btu}/(\text{ft}^2 \times \text{h})$ ; Instruterm, faixa de medição  $-30$  até  $70^{\circ}\text{C}$ , precisão  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , Umidade:  $20\% \sim 99\%$ ; Instruterm, modelo AD-250, escala  $0.4$  a  $30.0\text{ m/s}$ ,  $< 20\text{ m/s}$ :  $\pm 3\%$  da escala cheia.

As medições foram obtidas por método de amostragem, de tal modo que cada amostra era coletada a cada cinco minutos de acordo com a leitura do termômetro acoplado na tampa de vedação do reservatório de água. A quantidade de água empregada nos testes foi de três litros. Nos testes em que a quantidade de água empregada era de 23 litros, as amostras foram coletadas de 30 em 30 min.

A viabilização de coleta de dados foi feita com a utilização de uma tabela elaborada para registros de campo. Nela continha alguns itens referentes à temperatura da água, do sol, umidade no local, valores de energia solar ( $\text{Watt/m}^2$ ), velocidade do vento ( $\text{m/s}$ ), condições do tempo, horário/tempos parciais, que facilitavam futuras leituras e comparativos com outros registros.

O teste piloto foi efetuado com um coletor provisório elaborado com papelão e dispunha de dimensão de  $2\text{m}$  de base por  $1\text{m}$  de altura, circunferência inferior de raio  $12\text{cm}$  e paredes internas revestidas de papel alumínio colado na face do papelão (Figura 4).



**Figura 4** - Teste piloto

Os testes seguintes foram efetuados com o sistema definitivo, composto pelo cone de aço inoxidável (dimensões de 2,50 m de largura, 1,25 de altura e raio inferior de 0,5m). O procedimento foi separado em duas etapas: sistema fechado contendo um reservatório de 3 litros de água; sistema contínuo (termossifão) contendo um reservatório de 20 litros (Figura 5).



**Figura 5** - Teste com 3 e 20 litros

O coletor solar de funil definitivo, utilizado no projeto foi elaborado com um material resistente de alta reflexão e facilmente encontrado no mercado, o aço inoxidável. Suas dimensões consistiam em: 2,50 m de base e 1,25 de altura, com diâmetro inferior de 0,5 m (Figura 6).



**Figura 6** - Perfil e interior do cone inox

Os acumuladores térmicos foram confeccionados a base de vidro (isolante térmico) e os condutores internos de água a base de metal. Dois sistemas de acumulação foram elaborados para o aquecimento de água tais como:

i) Acumulador 1 – fabricado em vidro com dimensões de 0,3 m de altura e base 0,3 m x 0,28 m. O encanamento de cobre (bitola 5/8 de polegadas) por onde passa a água a ser aquecida, foi deixado em forma de serpentina e pintado de preto fosco para melhor absorção de energia solar. No centro da serpentina foi colocado um cilindro de chapa de aço aluminizada para aumentar a área de contato solar, com isso contribuir para maior irradiação do corpo e aumentar o efeito estufa. O interior do cilindro foi preenchido com lã de vidro - para ocupar o espaço de ar - (Figura 7).



**Figura 7** - Acumulador 1 antes e depois da montagem

ii) Acumulador 2 – a partir dos testes utilizando o acumulador 1, foi percebido que precisava provocar a convecção natural da água. Para isto, foi fabricado outro concentrador, chamado de “concentrador 2”. Foi elaborado em forma cilíndrica, onde a água passa em seu interior. Percebeu-se desta forma, que ocorreu menos resistência à convecção natural do fluido comparado com a serpentina. Outra melhoria foi aumentar a área de troca para recepção da radiação solar pelo fluido que agora é representado por toda a face do cilindro. (Figura 8)



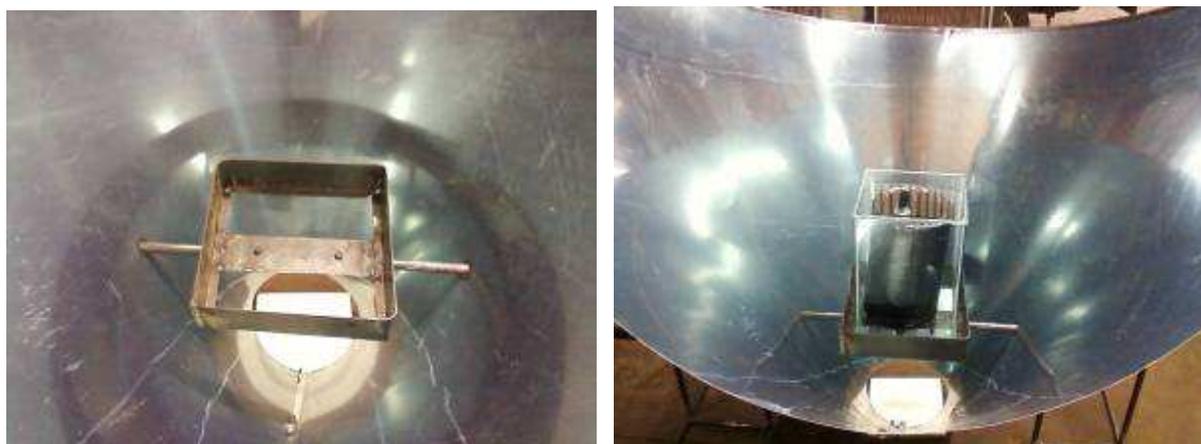
**Figura 8** - Acumulador 2

Dispondo de todos esses acessórios, foi necessária a fabricação de uma estrutura para sustentar a carga de todo o sistema. Utilizando uma barra de aço (5/8 de polegada), a estrutura foi elaborada conforme Figura 9. Toda essa estrutura foi elaborada para sustentar o peso do “cone” ou “funil” como também o concentrador posicionado em seu centro.



**Figura 9** - Suporte do cone

Sabendo que a posição do sol muda de acordo com as estações do ano como também ao longo do dia, foi necessário elaborar um método que possibilitasse a dinâmica do cone e do acumulador. Uma barra circular de aço (3/4 de polegada) foi suspensa em dois canos soldados na estrutura, a qual atravessa o cone em duas partes (mantendo-o suspenso) para possibilitar o movimento do funil. O suporte do acumulador foi feito com cantoneiras formando um quadro para fixar a barra que sustenta o cone conforme a Figura 10.



**Figura 10** - Suporte do acumulador térmico

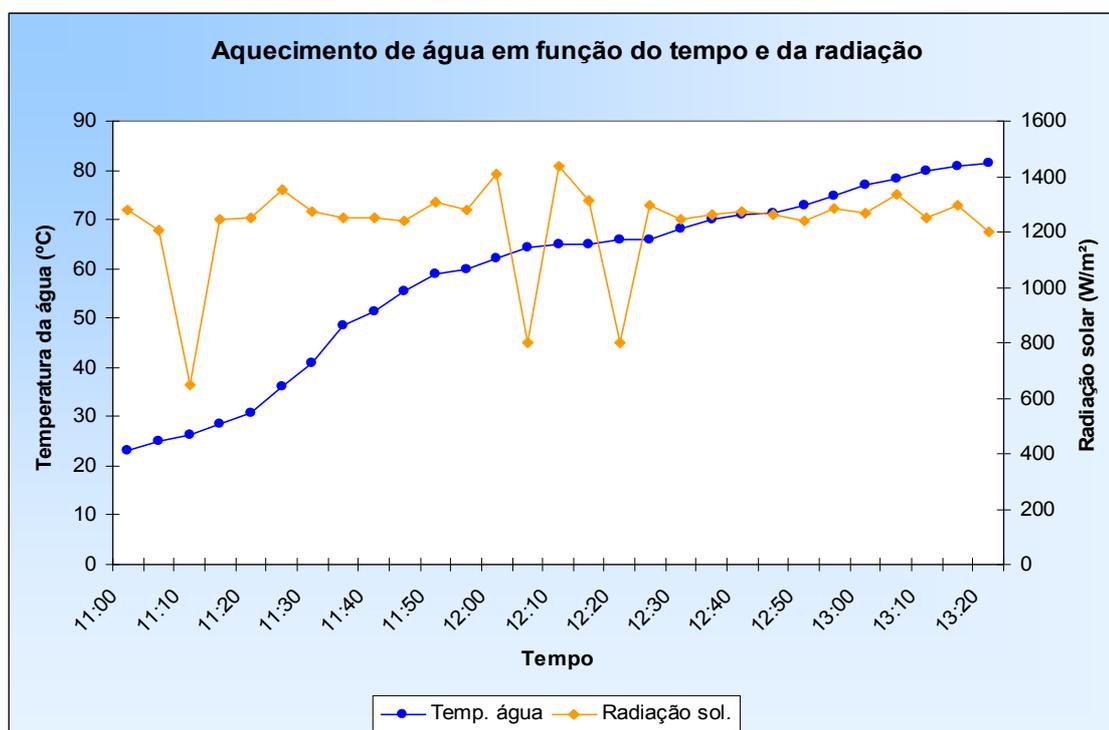
## 4 RESULTADOS E CONCLUSÃO

### 4.1 RESULTADOS

Os resultados obtidos foram inseridos em uma planilha, e em uma tabela modelo para anotações de dados. Os gráficos foram separados por categorias, sendo divididas em: condição do tempo e quantidade de água empregada.

Todos os gráficos mostrados a seguir foram elaborados com base nos testes efetuados com o acumulador térmico tipo 1 (mostrado em materiais e métodos), pois o acumulador 2 apresentou muitas falhas mecânicas envolvendo a parte construtiva, com a ocorrência de muitos vazamentos que, apesar dos reparos, não apresentou melhoria.

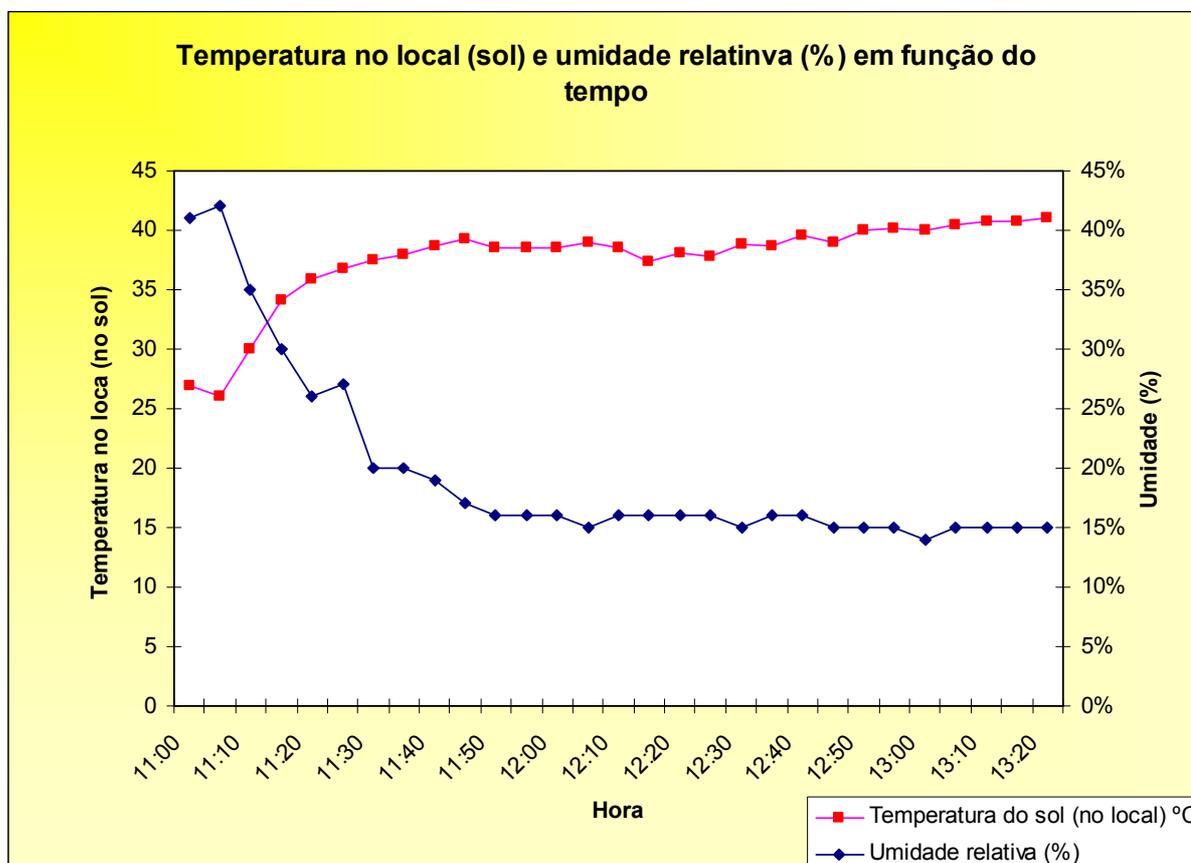
A Figura 11 mostra o teste piloto realizado no dia 22 de outubro, o qual foi elaborado com o cone de papelão, reservatório de três litros e condição do tempo ensolarada com variações de incidência solar.



**Figura 11** - Gráfico do teste piloto

Outros fatores analisados além da temperatura da água e radiação solar foram a velocidade dos ventos, com média de 0,3 m/s, radiação solar com média de

1150 W/m<sup>2</sup>, a umidade relativa e a temperatura local (no sol) conforme mostra a Figura 12.

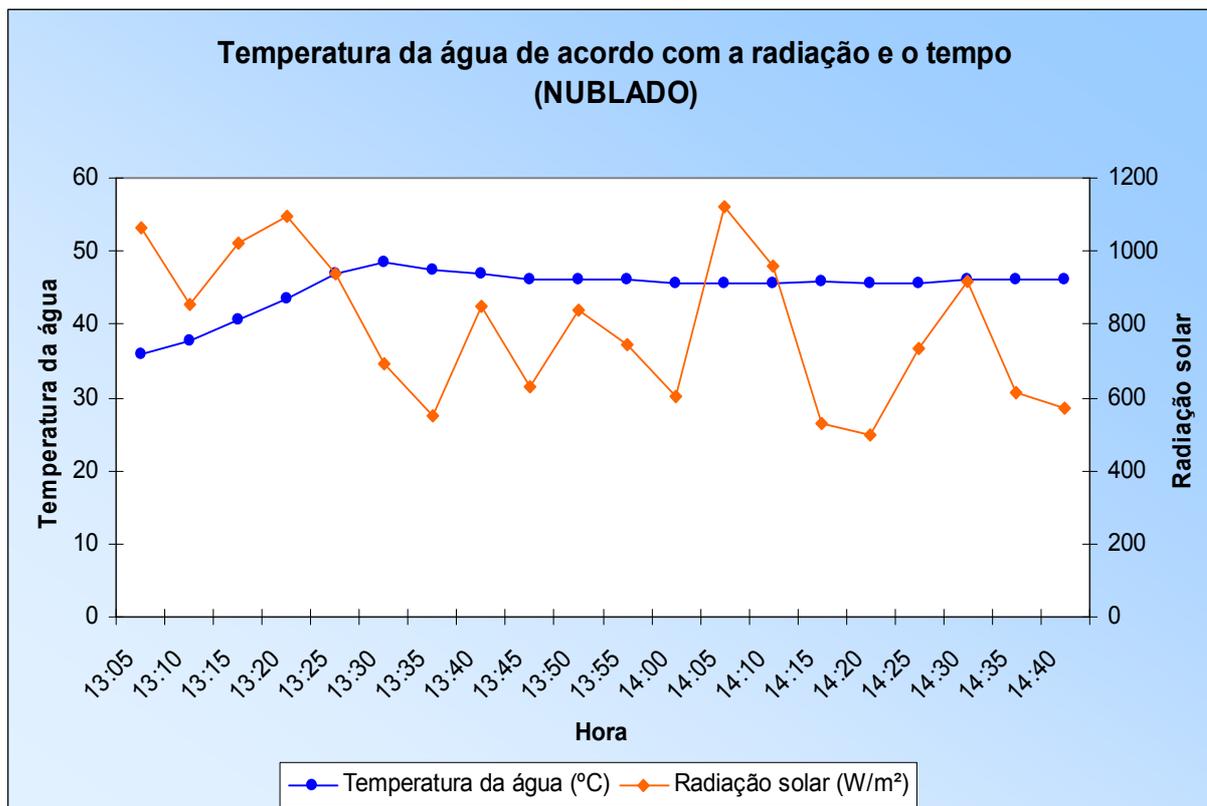


**Figura 12** - Relação entre temperatura e umidade

Dentre todas as medições efetuadas com relação à umidade, os resultados obtidos foram relativamente semelhantes. Conforme a temperatura local aumentava em função do tempo, a umidade relativa diminuía.

Em virtude de falta de insolação ocorrida nos primeiros testes, foram obtidos valores que mesmo sendo baixos, foram muito interessantes pelo fato de demonstrar que mesmo com a radiação difusa (período nublado), o sistema mostrou sua funcionalidade.

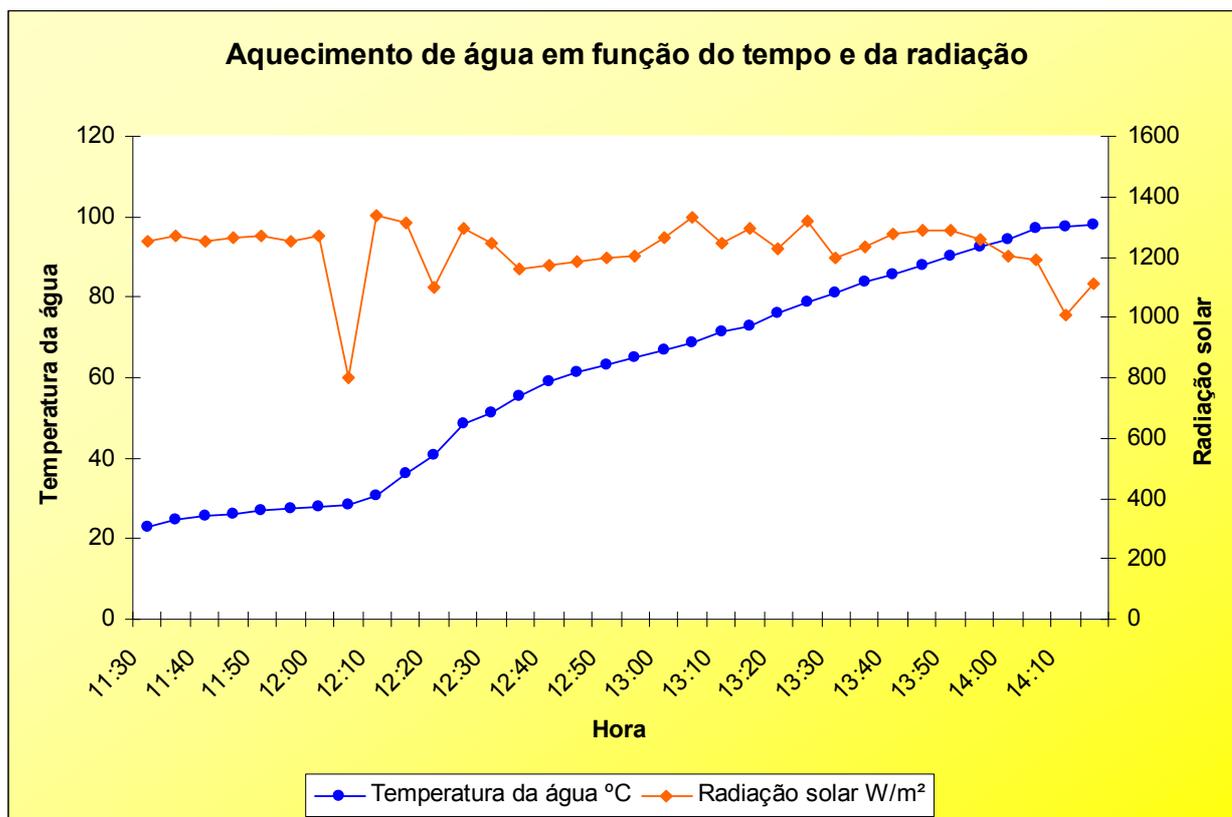
A Figura 13 mostra o teste efetuado no dia 05 de novembro com o sistema já confeccionado em aço inox, com toda sua estrutura. A média dos ventos foi de 0,9 m/s e a radiação solar de 744,353 W/m<sup>2</sup>. O teste foi elaborado com a quantidade de três litros de água.



**Figura 13** - Gráfico do teste em dia nublado

Ao fim do teste mostrado anteriormente, a água foi drenada do sistema e medida sua temperatura, que foi superior do ponto medido (no reservatório) com valor de 71°C.

De todos os testes realizados, um deles teve destaque pela temperatura alcançada, conforme a Figura 14. Foi realizado no dia 18 de novembro, com média dos ventos de 0,5 m/s e radiação média de 1224 W/m<sup>2</sup>.



**Figura 14** - Gráfico de maior temperatura (3 litros)

Os resultados observados nesse teste mostraram-se muito significativos em relação à temperatura alcançada pela água, pois chegou provocar sua ebulição.

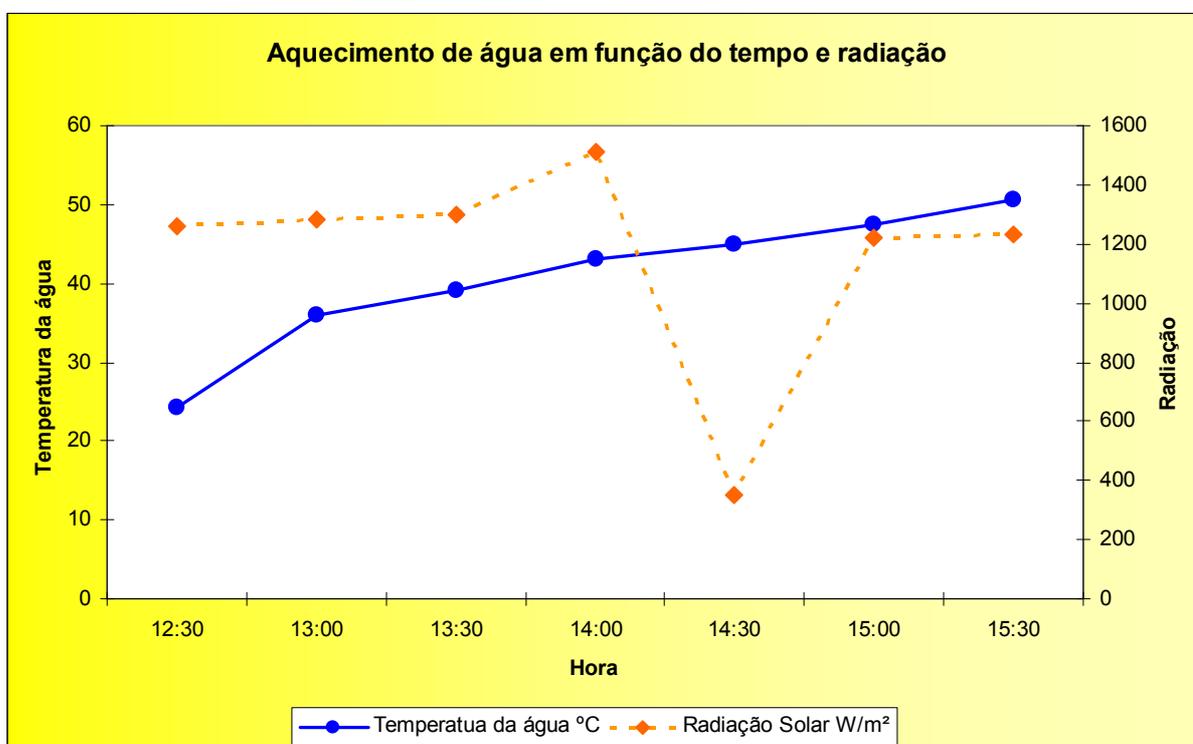


**Figura 15** - Teste de maior temperatura



**Figura 16** - Interior do cone e zoom do termômetro

Na última etapa, o coletor solar foi submetido a um teste diferente do anterior, empregando uma quantidade maior de água, correspondente a 23 litros (20 do reservatório, mais três do acumulador). O sistema proposto teve a finalidade de experimentar o fenômeno termossifão para fluxo de água entre o acumulador e o reservatório, o qual apresentou a característica mostrada na Figura 17. Desta forma, poderá em estudos posteriores, interpolar estes dados para saber a que temperatura se atingirá uma quantidade maior de água.



**Figura 17** - Gráfico do teste com 23 litros



**Figura 18** - Fotos do teste com o reservatório (20 litros)



**Figura 19** - Equipe no fim dos testes (Toniazzo & Ghizzi)

## 4.2 CONCLUSÕES

Tendo em vista os testes realizados com o sistema proposto, sendo ele um protótipo, apresentou bons resultados em termos de aproveitamento de energia térmica solar e aquecimento de água, mesmo em dias nublados. Levando em consideração o experimento de Joule, o qual nos diz que para elevar de 1°C a temperatura de um grama de água (de 13,5°C a 14,5°C) gasta-se 4,2 Joules, o emprego de pré aquecimento de água de caldeiras industriais pode resultar em uma economia de energia, pois o fato da água entrar no sistema já pré aquecida iria substituir uma quantidade parcial de combustível utilizado para esse pré aquecimento. Do restante seria necessário o emprego de combustível somente para alcançar a temperatura de ebulição a partir da temperatura de entrada (pré aquecida).

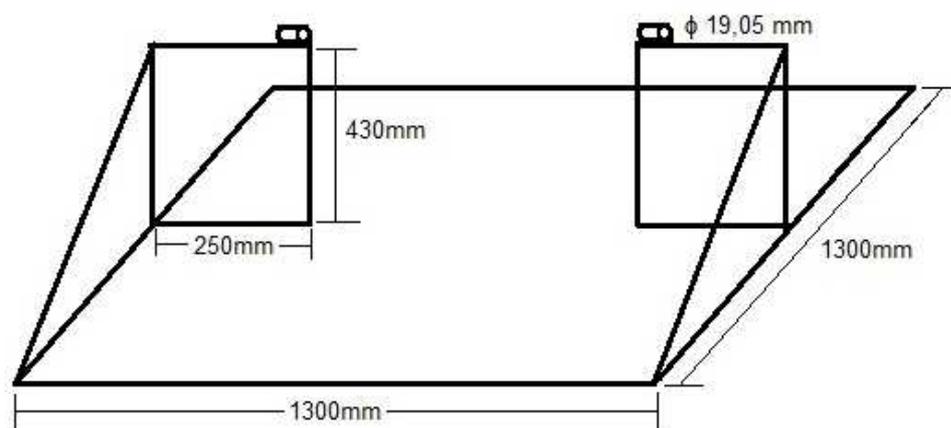
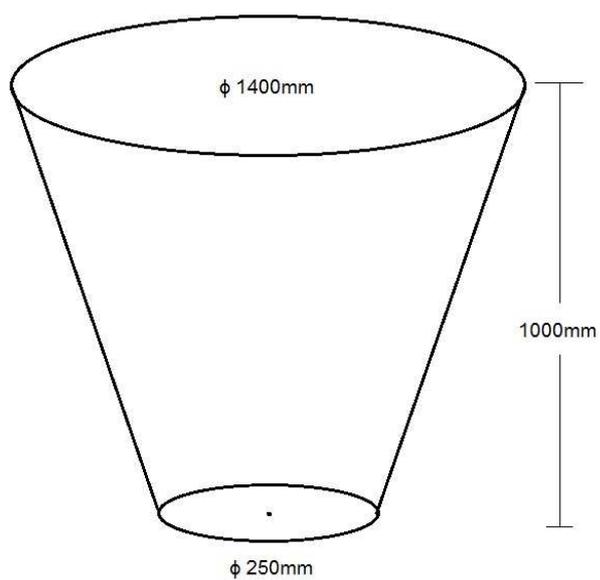
Pode-se evidenciar ainda que a utilização desse processo é baseada num recurso natural abundante e não poluente, onde seu emprego não gera subprodutos que possam degradar o meio ambiente.

Por fim, levando em consideração o estudo de energias renováveis, que apresenta pouco conhecimento científico comparado às energias convencionais, muito ainda tem de ser estudado para aplicações com alta eficiência. No entanto algumas melhorias aqui serão citadas para otimização do sistema em estudo:

- Realizar levantamento de dados com testes sazonais;
- Fabricar acumulador térmico com forma adequada ao cone (cilíndrico);
- Instalar um “seguidor solar” para melhor eficiência térmica;
- Construir cones com as faces refletoras composta de “espelhos”.

## REFERÊNCIAS

- AGENEAL, Agência Municipal de energia de Almadas (março, 1999). Disponível em: <[www.ageneal.pt](http://www.ageneal.pt)>. Acesso em: Outubro de 2011.
- ALTAFINI, R. C. Curso de engenharia mecânica: disciplina de máquinas térmicas. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/>>. Acesso em: Outubro de 2011.
- BAZZO, E. **Geração de vapor**. 2 ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1995.
- BRANCO, M.S. **Energia e meio ambiente**. 15 ed. São Paulo: editora Moderna, 1999. 96 p.
- CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY, UNITED STATES OF AMERICA. **O relatório da CIA – Como será o mundo em 2020**. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora Ediouro, 2005.
- CERBE, G.; HOFFMANN, H. **Introdução a termodinâmica**. 1 ed. São Paulo: Editora Polígono, 1973. 401 p.
- COMETTA, E. **Energia solar**, utilização e empregos práticos. 1 ed. São Paulo: Editora Hemus, 1978. 127 p.
- European Database for Daylight and Solar Radiation, 2005. Disponível em <<http://www.satellite-light.com/>>. Acesso em: Outubro de 2011.
- GOLDEMBERG, J. **Energia no Brasil**. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora S.A. 1979. 170 p.
- HALACY, J.S.D. **Energia solar**, uma nova era. 1 ed. São Paulo: Editora Cultrix, 1963. 199 p.
- HALLIDAY, D.; RESNICK R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**, gravitação, ondas e termodinâmica. 7 ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2006. 292 p.
- IAPAR, Instituto agrônomo do Paraná. Disponível em: <[www.iapar.br](http://www.iapar.br)>. Acesso em: agosto de 2011.
- INCROPERA, P.F.; WITT, P. D. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 5 ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2008.
- JONES, E. S. et al. O Fogão Solar de Funil. Disponível em: <<http://solarcooking.org/portugues/funnel-pt.htm>>. Acesso em: maio de 2011.
- MOURÃO, R.R.F. **Sol e energia no terceiro milênio**. 1.ed. São Paulo: Editora Scipione, 2000. 114p.
- NOTAS DE AULA. Disciplina Máquinas e equipamentos, 2007.
- PALZ, W. **Energia solar e fontes alternativas**. 1.ed. Curitiba: Editora Hemus, 2002. 358 p.
- PERA, H. **Geradores de vapor de água**. 1 ed. Escola politécnica da Universidade de São Paulo, 1966.
- SCARLATO, F. C.; PONTIN, J.A. **Energia para o século XXI**. 1.ed. São Paulo: Editora Ática, 2004. 72 p.
- TUNDISI, F.S.H. **Usos de energia**, sistemas, fontes e alternativas: do fogo aos gradientes de temperatura oceânica. 4 ed. São Paulo: Editora Atual, 1994. 73 p.
- VECCHIA, R. **O meio ambiente e as energias renováveis**: instrumentos de liderança visionário para a sociedade sustentável. 1.ed. Barueri: Editora Manole, 2010. 334 p.
- WALISIEWICZ, M. **Energia alternativa**: solar, eólica, hidrelétrica e de biocombustíveis. 1.ed. São Paulo: Editora Publifolha, 2008. 72p.

**ANEXO 1: FIGURA DO SISTEMA****Figura 20 - Estrutura do cone****Figura 21 - Medidas do cone**

## ANEXO 2: CÁLCULOS

### Cálculo de calorías

Com base nos testes, pode-se calcular a quantidade de calorías absorvidas pelo sistema:

Utilizando a equação  $Q = m.c.\Delta t$  onde:

$Q$  = quantidade de calorías;

$m$  = massa (g);

$c$  = calor específico de água ( $\text{cal/g}^\circ\text{C}$ );

$\Delta t$  = variação da temperatura  $^\circ\text{C}$  ( $t_f - t_i$ ).

Teste com 3 litros (18 de novembro de 2011 – média de insolação de 1224  $\text{W/m}^2$ ):

$$Q = 225 \text{ Kcal} \sim 942 \text{ kJ}$$

Teste com 25 litros (19 de novembro de 2011 – média de insolação de 1200  $\text{W/m}^2$ ):

$$Q = 675 \text{ kcal} \sim 2826 \text{ kJ}$$

Esses valores são baseados nos testes realizados com um único sistema (1 unidade).

Com isso, pode-se fazer uma estimativa:

1 unidade exposta a 2:30 de insolação aquece 25 litros de  $23^\circ\text{C}$  até  $50^\circ\text{C}$ .

Então 5:00 horas de insolação aqueceria 50 litros.

Deste modo 10 unidades em 5:00 horas de insolação aqueceria 500 litros de  $23$  até  $50^\circ\text{C}$ . Nesse caso, a quantidade de calorías absorvidas seria de:

$$Q = 13500 \text{ kcal} \sim 56521,8 \text{ kJ.}$$

De acordo com a tabela 6, temos valores do poder calorífico superior de alguns combustíveis utilizados em caldeiras industriais tais como:

Bagaço de cana: 9400 kJ/kg.

Lenha (base seca): 16000 kJ/kg.

De acordo com a estimativa de 10 unidades em 5:00 horas de insolação, poder-se-ia economizar:

6 kg de bagaço de cana.

3,5 kg de lenha (base seca).

#### Eficiência do sistema

Baseando-se nos resultados acima, tem-se como base o teste de 25 litros, do qual resultou no valor de calorías de:

$$Q = 2826 \text{ kJ.}$$

Sabendo que a unidade Watt = Joule/segundo, tem-se:

$$W = 2826/3600 = 0,785 \text{ kWh.}$$

Sabendo que a área superior do cone é de  $1,5 \text{ m}^2$  e a insolação no período testado era de  $1200 \text{ W/m}^2$  tem-se:

Se em  $1 \text{ m}^2$  tem-se  $1200 \text{ W}$ , então em  $1,5 \text{ m}^2$  no tempo de 3 horas tem-se:  $5,4 \text{ kWh}$ .

Com isso o rendimento será:

$$n = 0,785/5,4 = 0,14 \times 100 = 14,5\%.$$

**ANEXO 3: CUSTOS DO SISTEMA****Tabela 8** - Custo do sistema

Descrição	Quantidade	Valor R\$
Chapa inox (2,50x1,25)	01	230,00
Flexível de "cobre 5/8"	01	80,00
Vidro	01	40,00
Reservatório 3 litros	01	40,00
Aço circular 5/8"	01	35,00
Solda e maçarico	01	65,00
Chapa aço aluminizada	01	5,00
Silicone	01	5,00
Tinta	01	10,00
Reservatório 20 litros	01	20,00
Abraçadeiras	05	10,00
Mangueira 5/8"	01	5,00
Torneira 1/2"	01	20,00
Mão de obra	02	100,00
	<b>TOTAL R\$</b>	<b>665,00</b>