



RODRIGO VERONEZ ETIENNE ARREGUY

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE DOIS MODELOS DE
AQUECEDORES SOLARES DE BAIXO CUSTO NO MUNICÍPIO DE
OURO FINO - MG**

INCONFIDENTES – MG

2013

RODRIGO VERONEZ ETIENNE ARREGUY

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE DOIS MODELOS DE
AQUECEDORES SOLARES DE BAIXO CUSTO NO MUNICÍPIO DE
OURO FINO - MG**

**Trabalho apresentado como pré-requisito de
conclusão do curso de Graduação tecnológica
em Gestão Ambiental no Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de
Minas Gerais – Campus Inconfidentes.**

**Orientador: D.Sc. Rodrigo Palomo de
Oliveira**

INCONFIDENTES – MG

2013

RODRIGO VERONEZ ETIENNE ARREGUY

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE DOIS MODELOS DE
AQUECEDORES SOLARES DE BAIXO CUSTO NO MUNICÍPIO DE
OURO FINO - MG**

Data da aprovação: 03 de dezembro 2013

Orientador: Prof. D.Sc. Rodrigo Palomo de Oliveira (IFSULDEMINAS)

Membro 1: Prof. D.Sc Lilian Vilela de Andrade Pinto (IFSULDEMINAS)

Membro 2: Prof D.Sc Carlos Cezar da Silva (IFSULDEMINAS)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me dado forças nos momentos difíceis, por não me deixar acomodar e querer buscar sempre mais do que eu já tenho. Agradeço aos meus pais, Mário Santos Etienne Arreguy e Maristela Veronez Etienne Arreguy, que sempre depositaram confiança e estiveram do meu lado me apoiando em todas as decisões.

Aos amigos que jamais irei me esquecer, a todos que estiveram e sempre estarão comigo nessa jornada que é a vida, muito obrigado por todos os apuros que passamos juntos, por todas as risadas e principalmente pelas conquistas e amadurecimento ao longo do curso.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), por ter me acolhido mais uma vez como um de seus alunos e propiciado um ensino de qualidade e infraestrutura ao longo de todo o curso.

Ao meu orientador Prof. D.Sc Rodrigo Palomo de Oliveira, que esteve presente em todos os momentos que eu precisei, corrigindo e ajudando no desenvolvimento do projeto, muito obrigado!

DEDICATÓRIA

Aos meus queridos pais Mário Santos Etienne Arreguy e Maristela Veronez Etienne Arreguy.

**“Eu vou pular
No Azul do mar
Quero fugir, longe daqui
Pra onde a trilha me levar
Vivendo a vida por ai
Contanto as estrelas do céu
As borboletas vão sorrir...”**

(Parte da música “CONTANDO AS ESTRELAS”

Composição: Mário Bonna

Sumário

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Energia Elétrica.....	3
2.2 Consumo de energia elétrica pelo chuveiro elétrico	5
2.3 Fontes de Energia Limpa	7
2.4 Aquecedor feito com Garrafas PET e Caixas de Leite	7
2.5 Aquecedor feito com placas de PVC Modular.....	9
2.6 Temperatura da água saudável para o banho	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.3 Aquecedores feitos de PVC Modular	12
3.4 Aquecedor feito de garrafa PET e caixa de leite	15
3.5 Métodos de instalação	21
3.6 Amplitude térmica, média aritmética e eficiência entre os ensaios.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1 – Monitoramento da temperatura da água	26
4.2 Aferições da temperatura da água nos reservatórios.....	26
4.3 Amplitude térmica entre os aquecedores.....	28
4.3.2 Média aritmética entre as amplitudes térmicas dos aquecedores.....	28
4.3.3 Eficiência dos aquecedores feitos de PVC modular em relação aos de garrafas PET e caixas de leite	29
5. CONCLUSÕES.....	31
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

RESUMO

Muitos tipos de sistemas de aquecimento solar estão disponíveis no mercado, porém, a aquisição deles é bastante difícil devido ao seu elevado custo, inviabilizando com que famílias de baixo poder aquisitivo adquiram o sistema. O presente trabalho visa comparar a eficiência térmica entre os dois módulos de aquecimento: caixas de leite e garrafas PET e placas de PVC modular, podendo ser implantados em qualquer casa a um baixo custo. É um projeto que visa à inclusão social e à economia de energia elétrica. Ambos os módulos de aquecimento mostraram-se eficientes, porém os aquecedores solares feitos de PVC modular apresentaram melhor eficiência calorífica, quanto comparados aos feitos de garrafa PET e caixas de leite. É fundamental seguir os métodos e procedimentos dimensionados pelo projeto. Este novo modelo testado contribui para o bem-estar social, na medida em que se apresenta como uma forma inovadora e ecologicamente sustentável de aquecimento de água nas residências.

Palavras-Chave: aquecimento solar; economia de energia; tecnologia.

ABSTRACT

Many types of solar heating systems are available in the market , though, acquiring them is very difficult due to its high cost , making it impossible to families with low income to purchase the system . This study aims to compare the thermal efficiency between the two heating modules: milk cartons and PET bottles and PVC boards modular, and can be deployed in any home at a low cost . It is a project that aims at social inclusion and saving electricity . Both heating modules were effective , but solar heaters made of modular PVC showed better thermal efficiency, as compared to those made of PET bottle and milk cartons . It is essential to follow the methods and procedures sized by design . This new model tested contributes to the social them welness , in that it presents itself as an innovative and environmentally sustainable way of heating water in homes .

Keywords: solar heating; energy saving; technology.

1. INTRODUÇÃO

O consumo residencial de energia elétrica no Brasil cresceu 6% no primeiro semestre de 2013 em relação ao mesmo período de 2012, havendo um aumento na base de consumidores de 3,3% (EPE, 2013).

Embora o custo da energia elétrica brasileira tenha sofrido reajustes, tornando-se mais barata para a população, o mesmo não traz vantagens concretas quanto à conscientização e preservação do meio ambiente explorado para a geração de energia. O uso dos aquecedores solares de baixo custo, podem contribuir, ainda mais, para a redução do consumo da energia e conscientizar a população. Os aquecedores solares já vem sendo utilizados no Brasil desde a década de 60, estima-se que existam instalados no país aproximadamente 1,5 milhões de m² de coletores solares, aquecendo diariamente 150 milhões de litros de água (PROSOLAR, 2013).

Segundo a ONG Sociedade do Sol (SOSOL), entidade desenvolvedora de atividades relacionadas ao meio ambiente, em especial a tecnologia social na área de energia solar e renovável assim como educação ambiental, sediada no CIETEC (Centro Incubador de Empresas Tecnológicas), na Universidade de São Paulo (USP), estima-se que 7% de toda a energia consumida no país são provenientes dos chuveiros elétricos. (SOSOL, 2009).

A disponibilidade de energia elétrica é fundamental para o desenvolvimento de um país. Conforme informações da ANEEL, o Brasil está entre os cinco maiores produtores de energia hidrelétrica no mundo, possuindo atualmente 173 hidrelétricas e 392 pequenas centrais hidrelétricas, que produzem 84% da energia do País (GREENPEACE, 2011).

Na maioria dos países do mundo, o modelo energético é baseado no consumo de combustíveis fósseis, ou seja, petróleo, gás natural e carvão. O principal problema deste modelo, é que os recursos não são renováveis, além de ocasionarem muitos danos ao meio ambiente. Existem diversas alternativas para se produzir energia limpa e há muitos anos

estudos vem sendo desenvolvidos para tornar o mundo cada vez mais sustentável. Quase todas as fontes de energia, hidráulica, biomassa, eólica, fósseis, etc., são formas indiretas de energia solar. É possível armazenar o calor diretamente e mais tarde converter o calor em outra forma de energia como a eletricidade. Contudo existem muitas formas de armazenamento de energia (HOWSTUFFWORKS, 2008).

Os módulos de aquecimento feitos com garrafas PET, caixas de leite e PVC modular possuem elevada eficiência em termos caloríferos, podendo apresentar uma amplitude térmica de 18 a 24°C em determinadas épocas do ano. Dependendo da dimensão do módulo e do reservatório térmico, necessário fazer a mistura da água fria e da água do aquecedor, a fim de estabelecer uma temperatura confortável para o banho ou qualquer outra utilidade pela qual foi implantado o sistema de aquecimento (ALANO, 2008).

O presente trabalho visa comparar a eficiência calorífera entre dois tipos de aquecedores solares de baixo custo, os confeccionados de Garrafas PET e Caixas de leite e os confeccionados com Placas de PVC modular, no mesmo período de avaliação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Energia Elétrica

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – (IBGE, 2010), a população brasileira está estimada em aproximadamente 190.732.694 de habitantes, sendo 30.000.000 de famílias. Com base nesses dados conforme a ONG Sociedade do Sol se admitisse que 100% da energia elétrica viessem de usinas termoelétricas, a energia gasta proveniente dos chuveiros chegaria a 7% do total produzido. (SOSOL, 2009).

Desde 2001, o consumo de eletricidade no país aumentou 38% acima da média mundial (BBC Brasil, 2012), tornando assim o Brasil o décimo maior consumidor mundial de energia elétrica. Segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia - PDEE entre 2008 e 2017, o Ministério de Minas e Energia prevê um crescimento do consumo de cerca de 4 % ao ano. Para tornar mínimo os impactos deste elevado crescimento, o governo pretende melhorar os equipamentos elétricos tendo a missão de uma economicidade no que diz respeito ao custo da energia (COSTA, 2010).

A maior parte da energia elétrica gerada no Brasil, é obtida a partir de usinas hidrelétricas, de acordo com a Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE) do Ministério de Minas e Energia, pela própria política governamental e pelo grande potencial hídrico do país. Todavia, a geração deste tipo de energia é muito cara e toda vez que uma nova usina é projetada ocorre um enorme prejuízo para o meio ambiente (LARA, 2009).

Avaliando o consumo de energia de forma geral nas residências, o chuveiro elétrico tem grande participação nesse percentual, desde seu desperdício de água em banhos mais demorados como consequentemente no consumo de energia. O chuveiro elétrico está presente em mais de 73% das residências brasileiras, segundo dados do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL, 2009), entidade do Governo Federal.

Amaral (2012) avaliou uma residência familiar pequena, possuindo quatro moradores, e observou o consumo de energia gasta pelo chuveiro elétrico em relação a outros aparelhos eletroeletrônicos, e pôde concluir que 45% do consumo de energia são provenientes do chuveiro elétrico nos meses mais frios e 30% nos meses mais quentes, onde a potência do aparelho pode ser reduzida.

A Figura 1 ilustra cada setor e, respectivamente, o seu consumo de energia elétrica, com relação ao ano base de 2010.

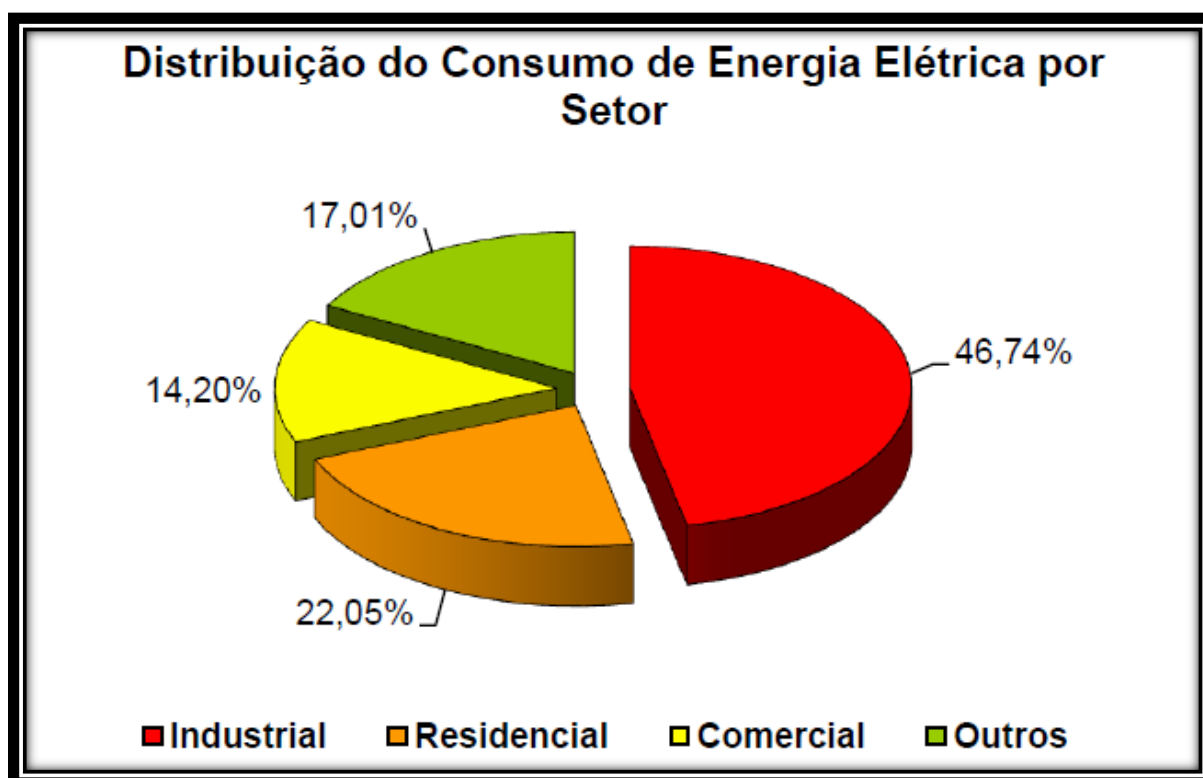


Figura 1: Consumo de energia por setor (ANEEL, 2010).

Para o aquecimento de água no setor residencial, destacam-se os aquecedores solares planos, que permitem obter benefícios energéticos, econômicos e ambientais para a sociedade, na medida em que esses equipamentos substituem os chuveiros elétricos, um dos maiores consumidores de energia desse setor. Tais aquecedores solares têm sido utilizados em vários países do mundo, como mostra a Tabela 1, que destaca a área e a potência instalada de coletores solares novos nos diferentes países durante o ano de 2008.

Os valores de potência apresentados nessa tabela foram estimados utilizando o valor de referência sugerido pela Agência Internacional de Energia, 700 W/m² de coletor.

Tabela 1: Coletores Instalados em 2008.

País	Área de coletores instalados(mil m²)	Potência instalada (MW)
China	2.300	1.600
Alemanha	840	588
Turquia	700	490
Índia	650	455
Brasil	480	336
Israel	300	210
Grécia	279	195
Áustria	277	194
Espanha	251	176
França	243	170
Austrália	237	166
Japão	230	161
Itália	210	147
Estados Unidos	125	87
Total:	7.122	4.986

Fonte: Sun & Wind Energy, 2008.

2.2 Consumo de energia elétrica pelo chuveiro elétrico

A COMPANHIA Energética de Minas Gerais – CEMIG é o maior grupo de distribuição de energia do país. Tem papel de destaque em Minas Gerais e Rio de Janeiro, por meio da Cemig Distribuição e Light, com atendimento a mais de 33 milhões de consumidores. A CEMIG é a maior distribuidora de energia elétrica do Brasil em extensão de rede, contando com mais de 460 mil km de redes de distribuição. (CEMIG, S/D)

Com o maior índice de atendimento aos consumidores de baixa renda do Brasil a CEMIG atende aproximadamente 2,4 milhões de consumidores de baixa renda, ou seja, 42,9% do total de consumidores da classe residencial (CEMIG, 2009).

A área de concessão da Cemig Distribuição S/A (CEMIG D) abrange 567.740 km², aproximadamente 96% do estado de Minas Gerais. São 774 municípios e 5.415 localidades – um atendimento a 18,2 milhões de habitantes, de acordo com a contagem da população 2010 – IBGE.

O cálculo realizado por Ferraro et al., 2008 com base neste consumo de energia mostra como calcular os gastos de um chuveiro elétrico desde a tarifa cobrada, o tempo de banho e o período de uso do mesmo.

Tarifa cobrada pela CEMIG: R\$ 0,40423 por kWh

1 kWh = 1.000 Watts

Um chuveiro elétrico com consumo de 5000 Watts gasta:

$$\frac{5000\text{Watts}}{x} = \frac{60 \text{ minutos}}{20 \text{ minutos}} = 1.666.66 \text{ Wh}$$

Valor gasto em R\$ para um banho com duração de 20 minutos:

$$\frac{\text{R\$ } 0,40423}{x} = \frac{1000\text{Wh}}{1.666.66\text{Wh}} = \text{R\$ } 0.6737$$

Admitindo-se uma família de 4 pessoas tomando 1 banho por pessoa/dia com duração de 20 minutos:

$$\text{R\$ } 0,6737 \times 4 \text{ pessoas} = \text{R\$ } 2,6948$$

Valor gasto com energia elétrica advinda do chuveiro no decorrer de 1 mês:

$$\text{R\$ } 2,6948 \times 30 \text{ dias} = \text{R\$ } 80,844$$

Se o cálculo fosse feito para as 18,2 milhões de pessoas que a CEMIG atende diretamente segundo a contagem da população do IBGE (2010), o valor gasto diariamente dos chuveiros elétricos seria de aproximadamente R\$ 12.261.340,00 e mensal de R\$ 367.840.200,00.

2.3 Fontes de Energia Limpa

O Brasil dispõe de recursos significativos para a exploração das fontes de energia renováveis, como: eólica, biomassa e solar. Possui também grandes reservas de silício, matéria prima indispensável para a produção de energia solar (PROCOBRE, 2009).

O Brasil possui poucas experiências de incentivo às fontes de energias renováveis. A mais importante foi o Programa de incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, conhecido como Proinfa. Fundamentado em 2002, o Proinfa passou a atuar efetivamente em 2004 com o objetivo de aumentar a participação das fontes alternativas no Sistema Interligado Nacional. Em sua primeira etapa, o programa fomentou as fontes eólicas, biomassa, e pequenas centrais hidrelétricas – PCHs, de maneira com que garantisse ganhos de escala e aprendizagem tecnológica, para ampliar a competitividade industrial do setor e, sobretudo, identificar e apropriar-se dos benefícios técnicos, ambientais e socioeconômicos de projetos de geração de energia a partir dessas fontes limpas (RÜTHER, 2011).

2.4 Aquecedor feito com Garrafas PET e Caixas de Leite

O aquecedor solar feito com garrafas pet e caixas de leite foi desenvolvido pelo aposentado José Alcino Alano, morador da cidade de Tubarão/SC, com o objetivo de economizar energia elétrica e beneficiar diretamente o meio ambiente, reutilizando esses materiais e diminuindo por sua vez a quantidade desse tipo de resíduo nos aterros sanitários e dispersos em lugares impróprios. Segundo Alano (2008), uma residência pode ter a economia de 20 a 30% de energia elétrica utilizando o Aquecedor.

Esta invenção lhe valeu a conquista do Prêmio Super Ecologia 2004, oferecido pela Revista Super-Interessante, de circulação nacional. Além de economizar energia elétrica e beneficiar diretamente o meio ambiente, o projeto tem como objetivo despertar nas pessoas a consciência de que, todas essas embalagens pós-consumo disponibilizadas no meio ambiente, (garrafas PET e embalagens cartonadas longa vida) podem transformar-se em algo útil (ALANO, 2008).

O registro do aquecedor solar feito de garrafas pet e caixa de leite, junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial INPI, pelo Sr. José Alano, se fez necessário para garantir a finalidade social, evitando que alguém tentasse usar essa invenção com interesses comerciais. Dessa maneira, proporcionando uma melhor qualidade de vida a muitas pessoas, já que o propósito não é extrair dividendos na comercialização, mas sim, gerar renda e emprego para cooperativas de catadores, instituições, associações de moradores, entre outras (ALANO, 2008).

O Governo do Paraná, através da SEMA (Secretaria de Estado de Meio Ambiente) e suas vinculadas, IAP (Instituto Ambiental do Paraná), SUDERHSA (superintendência de desenvolvimento de recursos hídricos e saneamento ambiental) e ITCG (Instituto de Terras Cartografia e Geociências), em parceria com o Sr. José Alano, têm como um dos seus principais objetivos a formação de agentes multiplicadores, através de Oficinas Práticas, formando uma verdadeira rede de divulgação para os 399 municípios do Estado, para que um maior número de pessoas possam usufruir dos benefícios desta tecnologia (SEMA, s/d).

O uso da água aquecida em um aquecedor solar de garrafa PET e caixa de leite Tetra Pak, além de ser utilizado em auxílio com o chuveiro elétrico o mesmo pode ser aproveitado para lavagem de roupas, onde a água aquecida apresenta maior eficiência na limpeza, poupando assim uma porcentagem do uso de sabões e derivados, além de poder ser utilizada para lavagem de louças e outras aplicações em geral. Assim é possível se obter um economia de 1% para cada 5°C da temperatura da água acima da temperatura ambiente (INCROPERE, 1998).

2.5 Aquecedor feito com placas de PVC Modular

O projeto de aquecimento solar feito com PVC Modular foi criado pela Sociedade do Sol (SoSol), sediada no CIETEC, Centro Incubador de Empresas Tecnológicas no Campus da USP/IPEN. Segundo a SoSol (2009), é um projeto ainda em desenvolvimento e de cunho experimental, eximindo-se de qualquer garantia de funcionamento e eficiência, além de defeitos como vazamento e deformidade.

Protótipos destes coletores solares foram instalados em duas entidades assistenciais da região de Campinas e no campus da Faculdade de Engenharia Química - FEQ, funcionando sem problemas. Os ensaios de eficiência térmica foram realizados conforme ABNT NBR 10184 no Laboratório Green - Solar, do Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar Térmica, PUC - Minas. Foi determinada uma eficiência térmica de 67%, comparado aos 75% dos coletores convencionais com tubos de cobre e cobertura de vidro (CSBC, 2006).

2.6 Temperatura da água saudável para o banho

Segundo o Dermatologista paulistano Marcelo Bellini, a água quente é uma grande inimiga da pele saudável. Como a temperatura corporal dos seres humanos fica em torno dos 36°C, é ideal que a temperatura da água no momento do banho esteja entre os 30° aos 36°C. Se a água estiver a uma temperatura acima disso, ela causa o ressecamento e retira a oleosidade natural do corpo. (BELLINI, s/d)

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de Realização do Experimento

O projeto foi desenvolvido no município de Ouro Fino, localizado na região sudeste do estado de Minas Gerais, sob as coordenadas 22° 17' 2" Sul, 46° 22' 2" Oeste. Está situado em uma região montanhosa, sendo cortada por vales, com altitudes variando entre 800 e 1600 metros (sede municipal a 908 metros de altitude). Seu clima é tropical de altitude, com verão chuvoso e ameno e período seco no inverno, com noites e madrugadas frias. Temperatura média anual de 18°C, com máximas de 36°C no verão e 5°C no inverno (classificação climática de Köppen - Geiger: Cfb).

3.2 Material Utilizado

Na Tabela 2 podem-se observar quais materiais foram utilizados ao longo do trabalho para desenvolvimento do aquecedor solar, suas determinadas funções e algumas marcas optadas.

Tabela 2: Equipamentos utilizados para confecção do Aquecedor Solar.

Equipamento	Função	Marca adotada
Termômetro Digital	Medir a temperatura	Topterm
Tinta Preto Fosco	Pintar: Materias de PVC e caixas de leite	Coral
Tesoura	Recortar: Caixas de leite	Suntachi
ColaEpoxi	Soldar os tubos	Epoxi
Fita isolante	Auxiliar na pintura	Highland
Escada 6m	Subir no telhado	--
Galão 20L	Reservatório de água	--
Pincel	Pintar: Materias de PVC e caixas de leite	Tigre
Conexão T em PVC	Unir as Colunas de PET	Tigre
Conexões 45° e 90° em PVC	Unir os tubos	Tigre
Tampões de ½ e 32mm	Vedar as saídas de água	Tigre
Placa de PVC Modular	Captar a incidência Solar	Tigre
tubos ½” e 32mm	Condutor de água	Tigre
Garrafas Pet 2L	Atuar com estufa	Coca-cola
Caixa de leite	Captar a incidência Solar	Várias marcas
Emendas ½”	Emendar os tubos	Tigre
Tinner Solvente	Diluir a Tinta	Solven
Serra	Cortar os tubos PVC	--
Adesivo Plástico para PVC	Soldar os tubos	Tigre
Lixa	Lixar os tubos a serem soldados	Norton
Trena	Tirar medidas	Stanley
Flange ½”	Ligar o tubo ao reservatório	Tigre

3.3 Aquecedores feitos de PVC Modular

Para montar o aquecedor feito de PVC modular baseou-se na metodologia da Sociedade do Sol (SoSol, 2009), sediada no CIETEC, Centro Incubador de Empresas Tecnológicas no Campus da USP/IPEN. Inicialmente foi necessário recortar os tubos de 32mm, utilizando uma serra comum de cortar ferro como mostra a figura 2, permitindo um encaixe exato entre o cano e a placa de PVC.



Figura 2: Serrando o tubo para encaixe na placa de PVC Modular

Fonte: SOSOL, 2003.

A figura 3 mostra como o recorte do tubo de 32 mm deve ser justo e com o mesmo comprimento da placa de PVC modular



Figura 3: Tubo serrado.

Fonte: SOSOL, 2003.

A figura 4 mostra o processo de encaixe entre o tubo e a placa de PVC Modular.



Figura 4: Encaixe do tubo na placa de PVC Modular.

Fonte: SOSOL, 2003.

Após o encaixe entre o tubo e a placa de PVC modular, foi o momento de fazer a solda entre ambos, utilizando-se a cola Epoxi recomendada para esse tipo de material

(Figura 5). Terminada a aplicação foi necessário esperar 24 horas para a secagem completa da cola, proporcionando a máxima resistência.

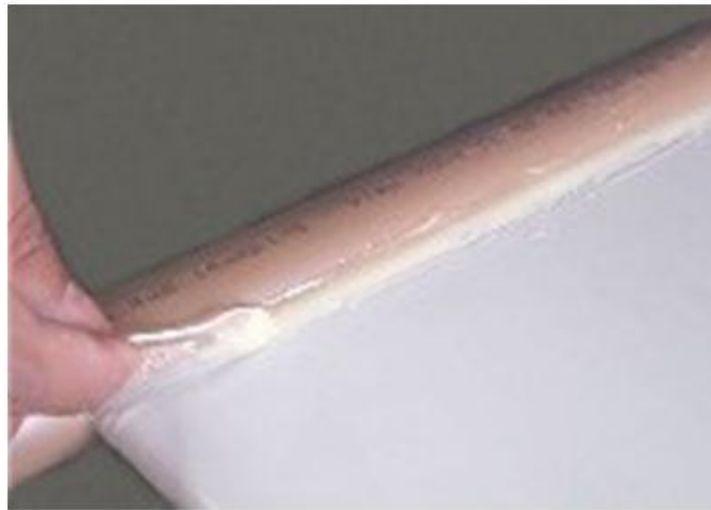


Figura 5: Soldando o tubo 32 mm e a placa de PVC modular.
Fonte: SOSOL, 2003.

Realizada a solda entre o tubo e a placa de PVC Modular, foi feita a pintura da placa, utilizando-se tinta preto-fosco do tipo esmalte sintético. A opção pelo preto-fosco foi necessária, por ser a cor com maior capacidade de absorção de todos os espectros da luz solar, fazendo assim com que o aquecedor esquente mais rápido. Como pode ser observado na Figura 6, toda a placa de PVC modular foi pintada, a secagem completa levou aproximadamente 24 horas. Depois de seco, o aquecedor já está pronto para instalação.



Figura 6: Placa de PVC Modular pronta para instalação.
Fonte: Elaboração própria

3.4 Aquecedor feito de garrafa PET e caixa de leite

Para começar a montagem do aquecedor solar feito com garrafas PET e caixa de leite Tetra Pak, foi necessário preparar os materiais, (Figura 7). A metodologia utilizada está descrita no: Manual do aquecedor solar (ALANO, 2008). Foi desenvolvida pelo paranaense José Alcino Alano. Inicialmente, as garrafas foram lavadas e as caixas de leite após abertas foram limpas com pano umedecido. Foi preciso cortar os tubos de PVC de $\frac{1}{2}$ ”, utilizando uma serra de cortar ferro, de maneira com que ficassem medindo 105 cm de comprimento. Também foi necessário recortar o fundo das garrafas PET de 2 litros, para este projeto utilizou-se garrafas transparentes.

Após cortar os tubos, pode ser iniciado o processo de pintura, dos mesmos, utilizando-se tinta preto-fosco do tipo esmalte sintético.



Figura 7: Tubos de PVC com ½” e garrafas PET
Fonte: Elaboração própria



Figura 8: Pintando os Tubos de PVC.
Fonte: Elaboração própria

Enquanto os tubos de PVC foram postos para secar, deu-se início ao preparo dos outros materiais utilizados para a armação do aquecedor, como as conexões do tipo T, Joelhos de ½” e as flanges (Figura 9) para entrada e saída de água no reservatório. Foi necessário lixar todos os orifícios das conexões T, joelhos e flanges, permitindo assim com que o adesivo plástico para PVC tenha mais eficiência no momento de soldá-los. Observar figuras: 9 e 10.



Figura 9: Flanges de ½”
Fonte: Elaboração própria



Figura 10: Joelhos, conexões, T e ferramentas de trabalho.
Fonte: Elaboração própria

As flanges de ½” foram adaptadas ao galão de 20 litros que serviu como reservatório de água para o aquecedor, uma em cima da outra como pode ser observado na figura 11.

A flange localizada na base do galão é por onde sai a água fria que vai para o módulo de aquecimento, tanto para o aquecedor feito de garrafas PET e caixas de leite como para o aquecedor feito com placas de PVC modular. A configuração do reservatório é a mesma para os dois tipos de aquecedores. A flange localizada na parte de cima é por onde retorna a água quente depois de circular pelo aquecedor.



Figura 11: Reservatório de água utilizado nos dois sistemas de aquecimento.
Fonte: Elaboração própria

Diferente do aquecedor feito com placa de PVC modular, onde a própria placa é responsável pelo aquecimento da água, o aquecedor feito com garrafas PET e caixas de leite, possui três elementos responsáveis pelo aquecimento, são eles: as caixas de leite que funcionam como mini placas aquecedoras, as garrafas PET que tem a função de atuar como estufa, impedindo com que o calor absorvido pelas caixas de leite seja perdido para o meio, e os tubos de PVC ½”, que apesar da pequena superfície de contato também esquentam quando expostos a incidência solar.

As caixas de leite são encaixadas dentro das garrafas PET, sendo assim, foi necessário fazer alguns recortes e dobras, de maneira que fiquem como observado na Figura 12.



Figura 12: Recortes e dobras na caixa de leite.
Fonte: Elaboração própria

Depois de dobradas e recortadas todas as caixas de leite, foi iniciado o processo de pintura, utilizando-se pincel e tinta esmalte sintético preto-fosco. Foram pintados frente e verso das caixas de leite e esperou-se a secagem completa.

Após a secagem de todos os materiais utilizados para a confecção do aquecedor, já foi iniciado o processo de construção do módulo. As conexões T foram unidas em série, utilizando-se cola plástica para PVC de maneira com que cada coluna tenha um espaçamento de 8,5cm uma da outra. Para cada garrafa PET que foi colocada no tubo vai junto uma caixa de leite, como pode ser observado na figura 13. Foi feito esse procedimento até a obtenção de 6 garrafas PET em cada coluna.

Fixadas todas as garrafas PET e caixas de leite, a base do aquecedor foi fechada com as conexões T, de maneira com que fique idêntica a parte de cima do aquecedor. A Figura 14 mostra o aquecedor solar pronto para a instalação.

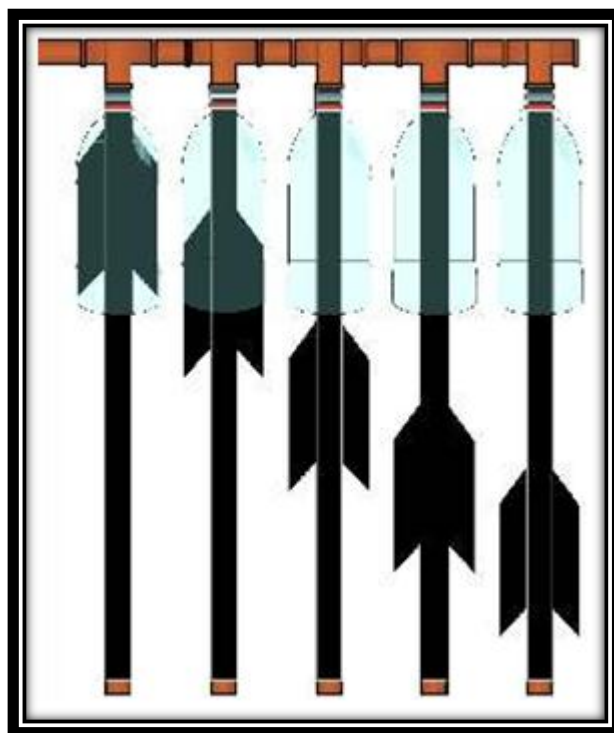


Figura 13: Processo de montagem.
ALANO: 2008



Figura 14: Aquecedor de PET pronto para instalação.
Fonte: Elaboração própria

3.5 Métodos de instalação

Um sistema de aquecimento mal dimensionado não atingirá as expectativas desejadas, podendo superaquecer a água amolecendo os canos e a placa de PVC modular, o qual poderá não suportar e rachar causando vazamentos e até mesmo a perda do módulo, ou então não aquecer a água o suficiente, devida a má circulação causada por uma instalação mal feita ou sem adotar os parâmetros fundamentais que proporcionam a circulação por termossifão (SOSOL, 2009). Não se deve instalar o aquecedor em lugares sombreados por casas vizinhas, prédios, árvores ou qualquer outro fator que faça com que a luz solar não incida diretamente nos painéis coletores durante o fotoperíodo Alano(2008). Segundo a (SOSOL, 2009) e Alano (2008), alguns parâmetros para uma melhor eficiência do aquecedor solar precisam ser analisados no momento da instalação.

A circulação da água dentro dos módulos é feita por termossifão, ou seja, diferença de densidade, onde a água mais fria é mais pesada que a água mais quente gerando um ciclo enquanto houver luz solar irradiando sobre as placas. Porém, essas placas precisam ter uma diferença de nível de 2 cm para cada metro de largura, evitando o acúmulo de bolhas de oxigênio no meio do sistema, consequentemente, interrompendo a circulação da água. O aquecedor solar e o reservatório térmico precisam estar no mínimo 30 cm em declividade, propiciando uma boa circulação, porém, a distância entre ambos não deve ultrapassar os 3 metros, pois quanto maior for o percurso que a água tiver que realizar para retornar ao reservatório, mais calor ela perderá para o meio, diminuindo a eficiência do Aquecedor (Figura 15).



Figura 15: Reservatório de água instalado.
Fonte: Elaboração própria

Para facilitar a coleta dos dados de temperatura dentro dos reservatórios de água, foram feitos recortes nas telhas, onde foram fixados os termômetros digitais (Figura 16), e dentro dos reservatórios seus sensores. Assim foi possível coletar os dados com maior agilidade.



Figura 16: Termômetro digital instalado.
Fonte: Elaboração Própria

Com todo o material pronto e a instalação do aquecedor solar de garrafa PET concluída (Figura 17), iniciou-se ao lado deste sistema a instalação do aquecedor solar feito com a placa de PVC Modular, (Figura 18).



Figura 17: Aquecedor solar de PET e caixa de leite instalado
Fonte: Elaboração própria



Figura 18: Módulos instalados.
Fonte: Elaboração própria

Os aquecedores estão voltados para o norte geográfico com desnível de 2cm na horizontal. O desnível entre a parte superior dos módulos (retorno de água quente) e o reservatório térmico é de 30cm de altura, e a distância entre ambos é de 150cm. Os módulos de aquecimento estão com inclinação de $27,60^\circ$ e todos tem uma área de aproximadamente $0,75\text{m}^2$.

3.6 Amplitude térmica, média aritmética e eficiência entre os ensaios

A amplitude térmica consiste na diferença entre a temperatura máxima e a temperatura mínima registradas num determinado período de tempo.

A média aritmética entre as amplitudes térmicas de todos os seis ensaios foi calculada afim visualizar qual ensaio obteve melhor desempenho.

A média aritmética foi obtida dividindo-se a soma das observações pelo numero delas. É um quociente geralmente representado pelo símbolo \bar{x} . Se tiver uma série de n valores de uma variável X , a média aritmética simples será determinada pela expressão abaixo:

$$\bar{x} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

A eficiência térmica de cada aquecedor foi calculada a fim de estabelecer o quanto cada ensaio conseguiu elevar a temperatura da água nos reservatórios. Realizou-se a comparação entre as médias aritméticas de temperatura diárias de cada tipo de aquecedor solar, através da expressão abaixo:

Adotando-se : P^1 e M^2

$$\overline{P} \cdot 100\% = \overline{M} \cdot X\%$$

¹ Média aritmética entre as temperaturas dos aquecedores feitos de garrafas PET e caixas de Leite

² Média aritmética entre as temperaturas dos aquecedores feitos com placas de PVC modular

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Monitoramento da temperatura da água.

O monitoramento da temperatura da água dentro dos reservatórios térmicos foram feitos por termômetros digitais com amplitude térmica de - 50°C à 70°C, nos horários das oito horas da manhã quando começa a incidência solar nos painéis, e as cinco horas da tarde, quando o sol deixa de incidir sobre os mesmos. Foram coletados os dados dos aquecedores no período de uma semana do dia primeiro ao dia sete de setembro de 2012, a fim de estabelecer as médias de aquecimento e a eficiência calorífica entre os diferentes módulos. Com os dados coletados, calculou-se a temperatura média da água nos reservatórios e sua amplitude térmica, para posterior avaliação de qual sistema apresentou melhor eficiência.

4.2 Aferições da temperatura da água nos reservatórios

Na Tabela 3, pode-se observar a temperatura da água do dia 01/09/2012 ao dia 07/09/2012 às 08h00min da manhã, dias de sol e poucas nuvens, onde pode ser analisado, que a temperatura de todos os dias logo pela manhã foi à mesma em todos os reservatórios. Como os reservatórios de água não possuem isolamento térmico, no período noturno a água resfriou até atingir a temperatura ambiente. Isso ocorreu em todos os seis reservatórios.

Tabela 3: Temperatura da água nos reservatórios no período matutino.

Temperatura às 08h00min horas em °C						
DATA	P1	P2	P3	M1	M2	M3
01/09/2012	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1
02/09/2012	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5
03/09/2012	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1
04/09/2012	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3
05/09/2012	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8
06/09/2012	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1
07/09/2012	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8

*As temperaturas representadas por (P1, P2 e P3) são relacionadas aos aquecedores feitos de garrafas PET e caixas de leite. As temperaturas representadas por (M1, M2 e M3) são as temperaturas relacionadas aos reservatórios dos aquecedores feitos de Placas de PVC modular.

A Tabela 4 indica a temperatura da água de todos os seis módulos de aquecimento às 17h00min horas dos dias 01/09/2012 ao dia 07/09/2012, e também a temperatura média dos dias. A aferição da temperatura da água nos reservatórios foi feita as 17h00min quando a incidência solar já é menor e a temperatura está em seu pico de aquecimento.

Tabela 4: Temperatura da água nos reservatórios, período vespertino.

Temperatura às 17h00min em °C							
DATA	P1	P2	P3	M1	M2	M3	T° média do dia
01/09/2012	42,3	43,5	41,0	48,1	48,0	47,8	20,5
02/09/2012	41,2	42,0	42,2	46,1	46,6	47,4	21,5
03/09/2012	43,1	42,8	43,0	48,3	49,0	48,2	20,5
04/09/2012	42,2	41,3	41,6	47,2	46,8	47,3	19,5
05/09/2012	39,8	40,5	41,2	46,8	47,2	47,3	20,0
06/09/2012	43,1	42,6	43,0	48,3	48,3	49,1	21,5
07/09/2012	44,1	43,8	44,5	49,8	49,1	49,0	22,5

*As temperaturas representadas por (P1, P2 e P3) estão relacionadas aos aquecedores feitos de garrafas PET e caixas de leite. As temperaturas representadas por (M1, M2 e M3) são as temperaturas relacionadas aos reservatórios dos aquecedores feitos de Placas de PVC modular.

4.3 Amplitude térmica entre os aquecedores

A amplitude térmica consistiu na capacidade de avaliar o quanto os aquecedores conseguiram elevar a temperatura da água. É a diferença de valores entre a temperatura das 08h00min da manhã até às 17h00min da tarde dos dias 01/09/2012 ao dia 07/09/2012. A Tabela 5 mostra a amplitude térmica em °C de cada um dos seis módulos de aquecimento.

Tabela 5: Amplitude térmica entre os aquecedores.

AMPLITUDE TÉRMICA °C						
DATA	P1	P2	P3	M1	M2	M3
01/09/2012	20,2	21,4	18,9	26,0	25,9	25,7
02/09/2012	17,7	18,5	18,7	22,6	23,1	23,9
03/09/2012	19,0	18,7	18,9	24,2	24,9	24,1
04/09/2012	17,9	17,0	17,3	22,9	22,5	23,0
05/09/2012	17,0	17,7	18,4	24,0	24,4	24,5
06/09/2012	19,0	18,5	18,9	24,2	24,2	25,0
07/09/2012	18,3	18,0	18,7	24,0	23,3	23,2

*As temperaturas representadas por (P1, P2 e P3) estão relacionadas aos aquecedores feitos de garrafas PET e caixas de leite. As temperaturas representadas por (M1, M2 e M3) são as temperaturas relacionadas aos reservatórios dos aquecedores feitos de Placas de PVC modular.

4.3.2 Média aritmética entre as amplitudes térmicas dos aquecedores.

A Tabela 6 indica o quanto cada ensaio conseguiu elevar a temperatura da água no período das 08h00min da manhã às 17h00min da tarde.

Tabela 6: Média aritmética entre as amplitudes térmicas

MÉDIA ARITIMÉTICA EM °C	
P1: 18,44	M1: 23,99
P2: 18,54	M2: 24,04
P3: 18,54	M3: 24,20
\overline{P} : 18,50	\overline{M} : 24,07

*As temperaturas representadas por (P1, P2 e P3) estão relacionadas aos aquecedores feitos de garrafas PET e caixas de leite. As temperaturas representadas por (M1, M2 e M3) são as temperaturas relacionadas aos reservatórios dos aquecedores feitos de Placas de PVC modular.

4.3.3 Eficiência dos aquecedores feitos de PVC modular em relação aos de garrafas PET e caixas de leite

A Tabela 7 mostra em porcentagem (%) o quanto os aquecedores feitos de PVC modular conseguiram ser mais eficientes que os de garrafas PET e caixas de leite, do dia 01/09/2012 ao dia 07/09/2012.

Tabela 7: Eficiência dos aquecedores feitos de PVC modular em relação aos aquecedores de garrafa PET e caixas de leite.

DATA	Eficiência (%)
01/09/2012	11,88
02/09/2012	10,50
03/09/2012	11,42
04/09/2012	11,46
05/09/2012	14,01
06/09/2012	11,65
07/09/2012	10,48
\overline{X}	11,62

Os aquecedores feitos de PVC modular conseguiram se sobressair, deixando a temperatura final da água em 11,62% mais quente que em relação aos aquecedores feitos de garrafas PET e caixas de leite.

Pode-se observar que os aquecedores feitos com garrafas PET e caixas de leite, conseguiram elevar a temperatura da água em aproximadamente 18,54°C a partir da temperatura inicial aferida às 08h00min e que os aquecedores feitos com placas de PVC modular, obtiveram um melhor desempenho, onde cada painel conseguiu elevar a temperatura da água a partir da temperatura inicial às 08h00min da manhã em aproximadamente 24°C, fazendo-se necessário misturar a água quente do aquecedor solar com a água fria da caixa d'água para proporcionar um banho com temperatura confortável (30°C), conforme as orientações de Bellini (s/d).

Apesar de os painéis de aquecimento feitos de PVC modular, sobressaírem-se em relação aos aquecedores feitos de garrafas PET, isso não implica que estes não sejam úteis, pois, além de conseguirem elevar a temperatura da água proporcionando seu uso doméstico como, tomar banho, ele também visa à consciência ambiental, reutilizando materiais que provavelmente seriam descartados e jogados no lixo, degradando e poluindo o meio ambiente.

5. CONCLUSÕES

Ambos os modelos de aquecedores solares são úteis para o uso doméstico em qualquer residência, por ter apresentado temperatura superior a de conforto térmico para banho (30°C), podendo propiciar a redução do consumo de energia elétrica.

Os aquecedores solares feitos de PVC modular apresentaram uma melhor eficiência calorífica, conseguindo elevar a temperatura da água em níveis mais altos se comparados aos aquecedores feitos de garrafas Pet e caixas de leite, conseguindo deixar a temperatura final da água aproximadamente 11,63% mais quente que os aquecedores feitos de caixas de leite e garrafas PET.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, **VII congresso nacional de excelência em gestão**. Acesso 14 de dez. 2012. Online. Disponível em <http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg7/anais/T11_0355_1508.pdf>

ALANO. **Entrevista com José Alcino Alano**, Acesso 05 de maio 2013. Disponível em <http://www.colmagno.com.br/Telas_Magno/noticias2007/hoje1904entrevista.htm>

ALANO, J. **Desperdício Zero. Manual do aquecedor solar**, Tubarão, ES: n.4, 2008.

AMARAL, J. **ONS Alerta sobre os Cuidados com o Consumo de Energia**. Volta Redonda, 19 de maio de 2012. Acesso em 20 Nov. 2012. Online. Disponível em <<http://diariodovale.uol.com.br/noticias/4,57298,ONS-alerta-sobre-os-cuidados-com-o-consumo-de-energia.html#ixzz2PbwCVcvz>>

ANEEL. **Distribuição do consumo de energia elétrica por setor**. Acesso 15 Nov. 2013. Online. Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfTLcAK/atc-revisao2>>

ANEEL. **Tarifas residenciais vigentes**. Acesso 15 dez. 2012. Online. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/tarifaAplicada/index.cfm?fuseaction=tarifaAplicada.mostrarFrmValorOrdenado&tipoOrdenacao=valor&ordenacao=desc&dataVigPesq=14/12/2012&ativaMenu=1>>

ANEEL. **Redução da tarifa da energia elétrica**. Acesso 01 de abr. 2012. Online. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=6426&id_a_rea=90>

BBC Brasil. **Emissora Britânica**. Acesso 14 de dez 2012. Online. Disponível em <<http://neccint.wordpress.com/2012/04/01/brasil-e-10o-maior-consumidor-mundial-de-energia-eletrica/>>

BELLINI. **Cuidados dermatológicos**. Acesso 16 nov 2013. Online. Disponível em <<http://www.bolsademulher.com/beleza/pele-no-inverno-1/>>

CEMIG. **Prospecto de distribuição pública**. Acesso 15 de nov. 2013. Online. Disponível em <<http://www.econoinfo.com.br/comunicados/CEMIG/Prospecto-de-Distribuicao-Publica/774572375041?p=272>>

CEMIG. **A CEMIG – quem somos.** Acesso 15 nov. 2013. Online. Disponível em <www.cemig.com >

COSTA, H. S. (2010). **Renováveis: a energia que o mundo precisa.** *Revista Sustentabilidade.* Acesso 14 dez. 2012. Online. Disponível em <<http://www.revistasustentabilidade.com.br/artigos/renovaveis-a-energia-queo-mundo-precisa>>

CRAIDE. **Agência Brasil.** Acesso 30 abr. 2013. Online. Disponível em <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2011-04-05/aneel-aprova-reajustes-nas-tarifas-de-energia-para-minas-gerais-e-mato-grosso-do-sul>>

CSBC. **Eficiência térmica de coletores solares de baixo custo.** Acesso 12 maio 2013. Online. Disponível em < <http://pt.scribd.com/doc/165481707/Eficiencia-termica-de-coletores-solares-de-baixo-custo-CSBC> >

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. **Medida provisória 605/2013.** Acesso 01 abr. 2013. Online. Disponível em < <http://www.in.gov.br/visualiza/index.jsp?data=24/01/2013&jornal=1&pagina=1&totalArquivos=176>>

ELETROBRÁS. **Pequenas hidrelétricas grandes negócios.** Acesso 01 abr. 2013. Online. Disponível em <http://www.eletrosul.gov.br/gdi/gdi/index.php?pg=cl_abre&cd=gkfcZ39%60Qbeg>

EPE. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica.** Acesso 05 dez. 2013. Online. Disponível em < http://www.epe.gov.br/ResenhaMensal/20130730_1.pdf >

FERRARO, G. N.; CALÇADA, V. S. C.; FOGO, R. **Sistema de Métodos de Aprendizagem.** Editora Sol (2008).

GREENPEACE. **Tem uma Usina logo ali.** Acesso 22 fev. 2013. Online. Disponível em < <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/Tem-uma-usina-logo-ali/>>

G1. **Jornal Globo.** Acesso 01 out. 2013. Online. Disponível em <<http://www.decon.com.br/n20.htm> >

HOWSTUFFWORKS. **Quais são as maneiras de se armazenar energia?.** Acesso 05 de julho 2013. Online. Disponível em <<http://ciencia.hsw.uol.com.br/questao247.htm>>

IBGE. **Notícias do Censo 2010.** Acesso 12 maio 2013. Online. Disponível em <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/> >

INCROPERE, F.P., WITT, D. P. **Fundamentos de Transferencia de Calor e de Massa.** 4a. Edicao; LTC; 1998.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Senso população brasileira. Acesso 07 jul. 2013. Online. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>

INMET. Temperaturas Regionais. Acesso 16 de nov. 2013. Online. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/sim/gera_graficos.php>

LARA. Eficiência energética em edificações e equipamentos. Acesso 12 nov. 2012. Online. Disponível em <<http://engenharia.anhembibrazil.br/tcc-09/prod-01.pdf>>

NEOENERGIA. Principais modalidades de geração de energia no Brasil. Acesso 14 dez 2012. Disponível em <<http://www.neoenergia.com/section/geracao.asp>>

NETTO. Água quente para todos. Acesso 01 maio 2013. Online. Disponível em <<http://tecnocracia.com.br/94/agua-quente-para-todos.>>

NICOLAU G. FERRARO, CAIO SÉRGIO V. CALÇADA, RONALDO FOGO. Apostila de física: Eletricidade, potência e energia elétrica. 2008, V.6, p. 109-118.

PROSOLAR. Importância da Energia Solar. Acesso 12 nov. 2013. Online. Disponível em <<http://www.prosolarbahia.com.br/import.htm>>

PROCEL. Ambiente e energia. Acesso 20 out. 2013. Online. Disponível em <<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2010/05/chuveiro-eletrico-e-mais-economico-que-aquecedores/3101>>

REBOUÇAS. Consumo industrial de energia no Brasil. Acesso dez. 2012. Disponível em <<http://www.infoescola.com/energia/consumo-industrial-de-energia-no-brasil/>>

SOSOL. ONG Sociedade do Sol. Acesso 28 de abr. 2013. Online. Disponível em <<http://www.sociedadedosol.org.br>>

SUN AND WIND ENERGY. World map of solar thermal industry. Acesso 10 de out. 2013. Online. Disponível em: www.sunwindenergy.com

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná – água quente para todos. Acesso 05 jul. 2013. Online. Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAA2WcAK/aquecedor-solar>>

Tutorzone. Criar seu próprio aquecedor solar. Acesso 25 abr. 2013. Online. Disponível em <http://www.tutorzone.com.br/index.php?ind=reviews&op=entry_view&iden=739>

PROCOBRE. Avaliação dos Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes - SIGFIs. Relatório Técnico, 2009.

RÜTHER, R. O Potencial da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil. Apresentação. Solar Energy Latin America 2011. Rio de Janeiro, 2011.