

GILBERTO CARVALHO MOTTA

REDUÇÃO NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA, ATRAVÉS DE  
MODIFICAÇÃO DO SISTEMA CONVENCIONAL DE AQUECIMENTO DE  
ÁGUA POR PLACAS DE CAPTAÇÃO DE CALOR ATRAVÉS DE  
RADIAÇÃO SOLAR.

Trabalho de Conclusão apresentado ao Departamento  
de Engenharia da Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do curso de Pós-Graduação  
*Lato Sensu* em Fontes Alternativas de Energia, para a  
obtenção do título de especialista em Fontes  
Alternativas de Energia.

Orientador  
Prof. Carlos Alberto Alvarenga

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2005

GILBERTO CARVALHO MOTTA

REDUÇÃO NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA, ATRAVÉS DE  
MODIFICAÇÃO DO SISTEMA CONVENCIONAL DE AQUECIMENTO DE  
ÁGUA POR PLACAS DE CAPTAÇÃO DE CALOR ATRAVÉS DE  
RADIAÇÃO SOLAR.

Trabalho de Conclusão apresentado ao Departamento  
de Engenharia da Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do curso de Pós-Graduação  
*Lato Sensu* em Fontes Alternativas de Energia, para a  
obtenção do título de especialista em Fontes  
Alternativas de Energia.

Aprovado em 06 de dezembro de 2005

Prof. Giovani Francisco Rabelo

Prof. Luciano Mendes dos Santos

---

UFLA  
Prof. Carlos Alberto Alvarenga

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2005

Dedico este trabalho à minha mãe,  
Maria Argentina, e à minha esposa Ana Flávia.

## Agradecimentos

A Deus pela oportunidade de estar podendo realizar este curso.

À minha esposa pelo apoio, paciência e incentivo.

À família que direta ou indiretamente sempre me apoiaram.

“O sol não é uma nova forma de energia. A sua utilização na produção de calor e potência por vários métodos novos constitui uma nova maneira de proporcionar à humanidade os benefícios de uma energia que tem a idade do mundo”  
(BEZERRA, 1998).

## RESUMO

É muito difícil falar sobre aquecimento de água usando energia solar, sem falar em energia de apoio, ou auxiliar. Essa indispensável energia auxiliar, que pode ser eletricidade, gás ou um outro combustível qualquer, tem por objetivo substituir a energia solar nos dias nublados, ou complementá-la nos períodos de baixa radiação solar. Sua finalidade é manter um certo volume de água quente dentro das condições mínimas de temperatura para uso imediato. Essa energia, tão importante para a eficácia do sistema, tem sempre um custo agregado que deve ser considerado no projeto. A escolha do tipo de energia auxiliar recai justamente sobre a eletricidade por sua facilidade de controle e baixo investimento inicial. O custo da energia elétrica, contudo, é hoje alto o suficiente para que a fração elétrica no consumo de energia do sistema seja importante e passe a merecer mais atenção. Este experimento visou minimizar o consumo de energia elétrica, através de modificação do sistema convencional de aquecimento de água por placas de captação de calor através de radiação solar, utilizando válvulas solenóides.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	08
<b>LISTA DE FOTOS</b> .....	08
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	08
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	09
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	12
<b>3 REVISAO DE LITERATURA</b> .....	12
3.1 Energia Solar.....	12
3.2 Tipos de Sistemas Solares Térmicos.....	13
3.2.1 Circulação em Termosifão.....	13
3.2.2 Circulação Forçada.....	14
3.3 Principais Tipos de Aproveitamento de Energia Solar.....	14
3.3.1 Fotovoltáica.....	14
3.3.2 Térmico.....	14
3.4 Coletores Solares.....	15
3.4.1 Coletor Solar Plano.....	15
3.4.2 Coletores Concentradores.....	16
3.4.3 CPC ou Coletores Concentradores Parabólicos.....	16
3.4.4 Coletores de Tubo de Vácuo.....	17
3.5 Reservatórios Térmicos.....	17
3.6 Fonte de Energia Auxiliar.....	18
3.7 Durabilidade de um Sistema de Coletor Solar Térmico.....	19
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	19
4.1 Material utilizado .....	20
4.2 Funcionamento do equipamento.....	21
4.2.1 Fase I diurno.....	21
4.2.1.1 Registro aberto.....	21
4.2.1.2 Registro fechado .....	21
4.2.2 Fase I noturno.....	21
4.2.2.1 Registro aberto.....	21
4.2.2.2 Registro fechado.....	21
4.2.3 Fase II diurno.....	24
4.2.3.1 Registro aberto.....	24

4.2.3.2 Registro fechado.....	24
4.2.4 Fase II noturno.....	24
4.2.4.1 Registro aberto.....	24
4.2.4.2 Registro fechado.....	24
<b>5 RESULTADOS.....</b>	<b>29</b>
<b>6 DISCUSSÃO.....</b>	<b>30</b>
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>31</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>32</b>

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 4.1 – Sistema de aquecimento fase I diurno registro aberto.....	22
Figura 4.2 – Sistema de aquecimento fase I diurno registro fechado.....	22
Figura 4.3 – Sistema de aquecimento fase I noturno registro aberto.....	23
Figura 4.4 – Sistema de aquecimento fase I noturno registro fechado.....	23
Figura 4.5 – Sistema de aquecimento fase II diurno registro aberto.....	25
Figura 4.6 – Sistema de aquecimento fase II diurno registro fechado.....	25
Figura 4.7 – Sistema de aquecimento fase II noturno registro aberto.....	26
Figura 4.8 – Sistema de aquecimento fase II noturno registro fechado.....	26
Figura 6.1 – Variação da temperatura do boiler em função do tempo.....	30

## **LISTA DE FOTOS**

Foto 4.1 – Válvula solenóide.....	27
Foto 4.2 – Válvula solenóide instalada.....	27
Foto 4.3 – Timer.....	27

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 4.1 – Material utilizado na Fase I do experimento.....	20
Tabela 4.2 – Material utilizado na Fase II do experimento.....	21
Tabela 4.3 – Consumo diário de água quente.....	28
Tabela 4.4 – Consumo médio mensal.....	28
Tabela 5.1 – Consumo no ano 2004.....	29
Tabela 5.2 – Consumo no ano 2005.....	29
Tabela 6.1 – Resumo dos gastos.....	31



## 1 – INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios da atualidade é o abastecimento energético mundial. Por esta razão, é notável o esforço de muitos países desenvolvidos para racionalizar o emprego de energia, seja por meio de pesquisas que busquem a maior eficiência dos aparelhos, seja por outras fontes de energia, tais como: solar, eólica, biomassa e das marés.

A energia solar é a energia eletromagnética proveniente do sol, onde é produzida através de reações nucleares, e que, propagando-se através do espaço Interplanetário, incide na superfície da Terra. O total de energia solar que incide na superfície da terra em 1 ano é superior a 10.000 vezes o consumo anual de energia bruta da humanidade, (CRESESB, 2005).

O Brasil, por sua localização geográfica, possui os mais elevados índices mundiais de potencial para aproveitamento dessa fonte de energia. Para se ter uma idéia, a incidência solar na área do Distrito Federal, corresponde à produção energética de 162 Itaipu, conforme dados da (ABRAVA, 2005).

A energia solar incidente no Brasil em um ano (15 trilhões de MWh) corresponde a 21.000 vezes a nossa produção anual de petróleo ou 50.000 vezes o consumo nacional de energia elétrica em 1999. Além disso, uma parte do milionésimo dessa energia representa 57% da produção brasileira de carvão mineral. (ENERGIA SOLAR, 2005).

Há de se considerar ainda que o consumo com aquecimento da água representa uma parcela substancial da energia consumida. Em habitações de interesse social, 32% do total da energia gasta é devido ao chuveiro elétrico (PRADO, 1991). Isto justifica o desenvolvimento de meios para otimizar o uso e incentivar o aproveitamento de outras fontes energéticas.

Em nosso país, também têm sido realizados esforços para tornar mais racional o uso e a utilização de fontes alternativas de energia. BEZERRA (1998) desenvolveu vários trabalhos com a aplicação da energia solar, inclusive para as

atividades agrícolas. PRADO (1991) demonstrou a necessidade do gerenciamento da demanda e o consumo de energia elétrica para aquecimento de água através do chuveiro elétrico em habitações de interesse social.

A energia solar é uma alternativa altamente interessante, uma vez que apresenta grande potencial de utilização no país, além de ser uma fonte energética renovável, limpa, ilimitada e disponível em todo território nacional. Algumas concessionárias de energia elétrica do país, como a COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG, já possuem programas com incentivo de aquecimento solar de água para edificações residenciais multifamiliar.

Contudo, a maior barreira enfrentada na difusão do aproveitamento da energia solar consiste no investimento inicial em equipamentos e instalações que é relativamente alto se comparado com sistemas convencionais. Em contrapartida o custo de operação e manutenção é mínimo, sendo quantificada por HEALEY (1997) de aproximadamente 12% do custo da instalação do sistema ao longo de toda a vida útil considerada de 20 anos.

Os avanços tecnológicos nos sistemas de aquecimento com energia solar têm sido possibilitados, principalmente, conforme ALMANZA et al. (1997), pelos avanços dos conhecimentos dos materiais como, por exemplo, espelhos de maior reflectância e superfícies seletivas com melhores propriedades óticas. A difusão destes conhecimentos também é importante para incentivar o uso de materiais eficientes.

Tradicionalmente os sistemas de aquecimento com energia solar são compostos por coletores solares, reservatório de armazenamento de fluido aquecido, fonte auxiliar de energia e um sub-sistema de distribuição do fluido aquecido. A necessidade de um reservatório de armazenamento se deve ao fato de que a demanda por fluido aquecido não coincide, na maioria das aplicações, com o período de oferta do mesmo. Em aplicações residenciais, o consumo de

água quente ocorre principalmente das 18 às 20 horas, mas a geração de água quente ocorre durante o dia.

O sistema de aquecimento de água com energia solar pode ser classificado segundo o fluido que está sendo aquecido na placa coletora. Se o fluido aquecido pela placa coletora é o que será consumido, então se denomina que este sistema é direto. Caso a placa coletora aqueça um determinado fluido e este transfira o calor recebido ao fluido que será consumido, tem-se então um sistema de aquecimento indireto. O sistema de aquecimento com energia solar pode ser classificado também segundo o tipo de circulação do fluido entre os coletores e o reservatório de armazenamento térmico. Quando a circulação da água se promove exclusivamente pela diferença de densidade, o sistema de aquecimento é conhecido como um sistema passivo ou por termosifão. Quando a circulação da água é feita por uma bomba, o sistema de aquecimento de água com energia solar é referido como um sistema ativo ou um sistema por bombeamento.

DUFFIE; BECKMAN (1991) afirmam que: ("A orientação da superfície que conduz para a máxima produção de energia de um sistema de energia solar pode ser diferente da orientação que conduz ao máximo de energia incidente"). A quantidade de energia por unidade de área e por unidade de tempo que chega em um determinado lugar da superfície da Terra, que chamamos insolação do lugar, varia de acordo com o lugar, com a hora do dia e com a época do ano.

Mesmo com toda esta tecnologia, existe a possibilidade de se economizar ainda mais energia elétrica, pois mesmo sendo um sistema de aquecimento de água com energia solar, à noite, enquanto se toma banho, a água fria entra simultaneamente à saída de água quente, pois o boiler nunca fica vazio, sendo assim, a água do boiler esfria, ativando a eletricidade para aquecer a água.

## **2 – OBJETIVOS**

O presente trabalho teve como objetivo estudar um sistema para promover a redução do consumo de energia elétrica, através de modificação do sistema convencional de aquecimento de água por placas de captação de calor através de radiação solar, utilizando duas válvulas solenóide Asco modelo 8210D095.

## **3 - REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1 – Energia Solar**

O sol gera e irradia energia eletromagnética com um vasto espectro, do qual a luz visível é apenas uma pequena faixa. Contudo, essa pequena faixa do espectro é responsável pela maior parte do calor produzido. Uma porção menor do calor gerado, oriunda da banda da onda longa do infravermelho do espectro e também de uma pequena fração do final da ultravioleta. Todavia, esse último segmento do espectro nunca atinge os coletores solares, pois a radiação é absorvida pela atmosfera. (VIEIRA, 2001).

Segundo Lourenço Júnior, a utilização da energia solar para aquecimento da água é: “(...) uma das aplicações mais práticas e é uma área a ser analisada de uma forma especial, pois no tocante à economia de energia elétrica é uma opção extremamente útil. Através dela é possível diminuir ou até mesmo substituir o uso dos chuveiros elétricos (aparelhos responsáveis por uma inconveniente carga para as concessionárias, geradoras e distribuidoras de energia elétrica), pois o Brasil possui incidência de radiação solar em todo o seu território”. (JÚNIOR, 2000).

A quantidade de energia solar que chega, por unidade de tempo e por unidade de área, a uma superfície perpendicular aos raios solares, se chama constante solar. Segundo DUFFIE; BECKMAN (1991), esta energia é em média  $1367 \text{ W/m}^2$ .

A radiação que atinge um determinado ponto na superfície terrestre não é igual à constante solar, pois sofre na sua trajetória as seguintes influências:

- Latitude: À proporção que a latitude aumenta, a área da superfície terrestre que a mesma radiação atinge é maior, resultando em uma menor concentração de radiação.
- Estações do ano: O movimento de translação da terra em torno do sol, responsável pelas estações do ano, descreve uma órbita elíptica plana. O eixo de rotação da terra em volta de si mesmo não coincide com o eixo da elipse. Possuindo uma defasagem de  $23^{\circ} 27'$ . Desta forma, por um período do ano o planeta expõe mais o hemisfério Sul à luz solar e por outro período ele expõe mais o hemisfério Norte;
- A hora do dia: A cada hora do dia os raios solares atingem uma dada superfície sob diferentes ângulos;
- Condições do céu: A quantidade de nuvens que recobrem o céu interfere na radiação que atinge a superfície terrestre;

### **3.2 Tipos de Sistemas Solares Térmicos**

Os dois principais tipos de sistemas de energia solar térmica são:

- Circulação em termosifão;
- Circulação forçada.

#### **3.2.1 Circulação em Termosifão**

O mesmo fluido a temperaturas diferentes tem também densidades diferentes, quanto maior é a sua temperatura menor a sua densidade. Por isso, quando se aquece um fluido, este tem tendência a estratificar-se, ficando a parte mais quente na zona superior. No sistema de termosifão a água aquecida pelo Sol no coletor, sobe "empurrando" a água mais fria do depósito, forçando-a a tomar o seu lugar, descendo, para subir novamente quando, por sua vez for

aquecida. O depósito deve ficar acima do coletor, senão dá-se o fenômeno inverso quando já não houver sol (termosifão invertido). Estes sistemas são compostos pelo coletor solar, depósito acumulador e outros pequenos acessórios (joelho, registros, tê, cola, tubos). (KYOCERA, 2005)

### **3.2.2 Circulação Forçada**

Nas situações em que não é viável a colocação do depósito acima da parte superior dos coletores e para os grandes sistemas em geral é necessário usar bombas eletrocirculadoras para movimentar o fluido térmico. A bomba poderá ser comandada por um sistema de controle automático (o comando diferencial). O sistema de controle (comando diferencial) está regulado de modo a pôr a bomba em funcionamento logo que a diferença de temperatura ( $T_{out} - T_{dep}$ ) entre os coletores e o depósito seja de 5 °C. Estes sistemas são compostos pelo coletor solar, depósito acumulador, bomba eletrocirculadora, controlador diferencial, purgador, vaso de expansão e outros pequenos acessórios. (KYOCERA, 2005).

## **3.3 Principais Tipos de Aproveitamento de Energia Solar**

### **3.3.1 Fotovoltaica**

Geração de energia elétrica através de módulos fotovoltaicos;

### **3.3.2 Térmico**

Aproveitamento sob forma de calor para aquecimento de água, secagem de produtos agropecuários, geração de energia através de processo termodinâmico, etc. (CRESESB, 2005).

Metade da população mundial vive, e viverá por bom tempo, em áreas isoladas, longe das redes de transmissão e distribuição de energia elétrica. Esta é

uma situação comum nos países do chamado Terceiro Mundo. A Energia Solar Fotovoltaica é a solução conveniente e efetiva para a carência de eletrificação dessas áreas. (THOREY, 2005).

### 3.4 Coletores Solares

A mais comum das tecnologias de aproveitamento da energia solar térmica ativa é o coletor solar. Existem vários tipos de coletores:

- Planos;
- Concentradores;
- CPC ou concentradores parabólicos compostos;
- De tubo de vácuo.

#### 3.4.1 Coletor Solar Plano

Este tipo de coletor é o mais comum e destina-se a produção de água quente a temperaturas inferiores a 60 °C. Este é formado por:

- **Cobertura transparente:** para provocar o efeito de estufa e reduzir as perdas de calor e ainda assegurar a estanquicidade do coletor.
- **Placa absorvedora:** serve para receber a energia e transformá-la em calor, transmitindo-a para o fluido térmico que circula por uma série de tubos em paralelo ou serpentina. Para obter maiores rendimentos existem superfícies seletivas que absorvem como um corpo negro, mas perdem menos radiação.
- **Caixa isolada:** serve para evitar perdas de calor uma vez que deverá ser isolada termicamente, para dar rigidez e proteger o interior do coletor, dos agentes externos. (ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2005).

Ao fazer circular o fluido térmico através dos tubos dos coletores, retira-se calor destes podendo aproveitar este calor para aquecer um depósito de água. (ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2005).

### **3.4.2. Coletores concentradores**

Para atingir temperaturas mais elevadas há que diminuir as perdas térmicas do receptor. Estas são proporcionais à superfície deste. Reduzindo-a em relação à superfície de captação, consegue-se reduzir as perdas térmicas na proporção dessa redução. (ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2005)

Os sistemas assim concebidos chamam-se concentradores, e concentração é precisamente a relação entre a área de captação (a área de vidro que serve de tampa á caixa) e a área de recepção. Acontece que, quanto maior é a concentração menor é o ângulo com a superfície dos coletores segundo o qual têm que incidir os raios solares para serem captados pelo que o coletor tem de se manter sempre perpendicular aos raios solares, seguindo o sol no seu movimento aparente diurno. Esta é uma desvantagem, pois o mecanismo de controle para fazer o coletor seguir a trajetória do sol, é bastante dispendioso e complicado, para além de só permitir a captação da radiação direta. (VIEIRA, 2001)

### **3.4.3 CPC ou coletores concentradores parabólicos**

O desenvolvimento da óptica permitiu muito recentemente a descoberta de um novo tipo de concentradores (chamados CPC ou Winston) que combinam as propriedades dos coletores planos (também podem ser montados em estruturas fixas e têm um grande ângulo de visão o que também permite a captação da radiação difusa) com a capacidade de produzirem temperaturas mais elevadas ( $> 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), como os concentradores convencionais do tipo de lentes. (ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2005).

A diferença fundamental entre coletores parabólicos e planos é a geometria da superfície de absorção, que no caso dos CPC's a superfície absorvedora é constituída por uma grelha de alhetas em forma de acento circunflexo, colocadas por cima de uma superfície refletora. A captação solar realiza-se nas duas faces das alhetas já que o sol incide na parte superior das



alhetas e os raios que são refletidos acabam por incidir na parte inferior das alhetas, aumentando assim ainda mais a temperatura do fluido e diminuindo as perdas térmicas. (VIEIRA, 2001).

#### **3.4.4 Coletores de Tubo de Vácuo**

Estes consistem geralmente em tubos de vidro transparente cujo interior contém tubos metálicos (absorvedores). A atmosfera interior dos tubos livre de ar o que elimina as perdas por convecção, elevando assim o rendimento a altas temperaturas devido a menores coeficientes de perda a eles associados. (VIEIRA, 2001).

#### **3.5 Reservatórios térmicos**

O sistema de aquecimento com energia solar para fins residenciais é impreterivelmente um sistema de acumulação, pois o período de consumo não coincide com o período de geração da água quente. Para outros tipos de edificações, o tanque poderá ser dimensionado de forma diferente. Um exemplo que ilustra essa afirmativa é uma lavanderia que funciona somente no horário comercial. Neste caso, a água aquecida irá ser consumida no período de radiação solar. Portanto, as necessidades de armazenamento não serão as mesmas que em uma residência. (THOREY, 2005).

ASHRAE (1996) afirma que "o projeto e seleção do equipamento de armazenamento é um dos elementos mais negligenciados nos sistemas de energia solar". Esse reservatório possui uma grande influência no custo global do sistema, no desempenho e na confiabilidade. Numa visão sistêmica, ele não pode deixar de ser analisado interativamente com os outros elementos como o coletor e o consumo da água quente.

Muitos fatores devem ser considerados na escolha do reservatório:

- Tanque único ou múltiplo;

- Trocador de calor interno ou externo;
- Armazenamento pressurizado ou não;
- Material de revestimento do tanque;
- Finalidade do uso da água;
- Localização, espaço e acessibilidade;
- Limitações impostas pela disponibilidade de equipamentos.

### **3.6. Fonte de energia auxiliar**

O sistema de aquecimento solar da água não é projetado para fornecer 100% da demanda da água quente. Caso fosse adotado esse critério, o dimensionamento das placas e do tanque deveria ser feito para a pior situação possível, na qual teria em conta o tempo mais frio e nublado para uma dada região. Este dimensionamento resultaria em um sistema super dimensionado para a maior parte do tempo de utilização. Por isso, o sistema solar é projetado para suprir entre 50 a 70% da demanda global de aquecimento, conforme FISH; GUIGAS; DALENBACK (1998).

É necessário, então, uma fonte alternativa de calor para períodos maiores sem insolação suficiente. Essa segunda fonte de calor pode ser elétrica, a gás ou gerada por uma bomba de calor ligada em série. O aquecimento auxiliar pode ser localizado internamente ao reservatório ou externamente. Quando externa, pode ser de acumulação ou de passagem, sendo, neste caso, o de passagem o mais usual.

SHARIA; LOF (1997) avaliaram o funcionamento de um sistema com aquecedores auxiliares dentro e fora do reservatório de água quente através da porcentagem de participação do aquecimento solar no total aquecido. Quatro perfis de consumo foram testados e concluíram que:

a) Para um perfil de consumo contínuo e aleatoriamente distribuído das 6h às 24h, a posição da fonte auxiliar de energia não influencia a participação do aquecimento solar no total aquecido;

b) Para um perfil de consumo uniforme e contínuo durante 10h e para perfis de consumos concentrados na parte da manhã ou na parte da tarde, o sistema de aquecimento auxiliar posicionado fora do tanque de armazenamento de água quente foi mais vantajoso;

c) Dobrar o volume de fluido armazenado em qualquer caso aumentou no máximo 5% da participação do aquecimento solar no total aquecido;

d) A participação do aquecimento solar no total aquecido ficou reduzida de 30 a 40% quando se exigiu um aumento da temperatura na saída do reservatório de 60°C para 80°C.

### **3.7 Durabilidade de um Sistema de Coletor Solar Térmico**

Os sistemas são bastante duráveis e precisam de pouca manutenção. O sistema de coletor solar térmico normalmente tem garantia de 5 anos e vida útil estimada em 20 anos. As necessidades de manutenção são mínimas: são normalmente mantidos limpos pela ocorrência natural de chuva, mas em locais de muito pouca pluviosidade podem necessitar de limpeza periódica. (CRESESB, 2005).

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido no Setor de Mansões do Park Way Quadra 09 Conjunto 01 Lote 01 Fração D, Brasília, Distrito Federal, no período de 01 de fevereiro a 30 de julho de 2004 (Fase I) e no mesmo período de 2005 (Fase II), onde foram coletados dados mensais no consumo de energia elétrica. O equipamento de aquecimento de água por placas de captação de energia solar foi instalado na casa de hóspedes, onde residiam os dois casais.

As quatro pessoas tomavam em média dois banhos por dia cada. A casa possuía um medidor de consumo elétrico. Não tinha outro aparelho elétrico na casa a não ser o boiler de 3500 W e cinco lâmpadas fluorescentes de 15 W. Na segunda parte do experimento, foi desligado o *boiler* e acrescentadas duas válvulas solenóides de 11 W cada e um timer digital de 8 W.

Adotou-se o seguinte protocolo.

#### 4.1 Material utilizado

Na Fase I utilizou-se o seguinte material para a instalação do sistema de aquecimento de água. (**Tabela 4.1**).

**Tabela 4.1 – Material utilizado na Fase I do experimento**

Material	Qtde	Unidade	Unitário R\$	Total R\$
Boiler 600 l e 3.500 watts 220 v	1	un	1360,00	1360,00
Coletor solar TS2 1900 x 1000 mm	4	un	349,00	1396,00
Registros de gaveta 1”	2	un	24,00	48,00
Tubulação em cobre 28 mm	25	m	16,86	421,50
Joelho em cobre 28 mm	3	un	5,90	17,70
Tê em cobre 28 mm	1	un	5,83	5,83
Pasta de solda	1	pt	6,90	6,90
Solta de estanho	1	rl	39,60	39,60
Caixa d’água de 250 l	1	un	115,00	115,00
Isolante de polietileno	10	m	3,70	37,00
Total				3447,53

Na Fase II utilizou-se o mesmo equipamento da Fase I, acrescentando-se o seguinte material para a alteração do sistema de aquecimento de água. (**Tabela 4.2**).

**Tabela 4.2 – Material utilizado na Fase II do experimento**

<b>Material</b>	<b>Qtde</b>	<b>Unidade</b>	<b>Unitário R\$</b>	<b>Total R\$</b>
Válvula solenóide ASCOVAL modelo 8210D095	2	un	360,00	720,00
Tubulação em cobre 28 mm	3	m	16,86	50,58
Tê em cobre de 28 mm	3	un	5,83	17,49
Fio paralelo 1,5 mm	40	m	0,85	34,00
Timer digital duplo de 24 horas	1	un	162,00	162,00
<b>Total</b>				<b>984,07</b>

## **4.2 Funcionamento do equipamento**

### **4.2.1 Fase I Diurno**

#### **4.2.1.1 Registro Aberto**

A água sai da caixa d'água, entra no *boiler* passando pela saída inferior em direção aos coletores solares, onde é aquecida, retornando ao *boiler* pela entrada superior, sendo liberada para o consumo (**Figura 4.1**).

#### **4.2.1.2 Registro Fechado**

A água sai do *boiler* pela parte inferior, percorre os coletores solares onde é aquecida e retorna ao *boiler* pela parte superior, permanecendo neste ciclo até que ocorra um equilíbrio térmico entre a água contida no boiler e nos coletores solares (**Figura 4.2**).

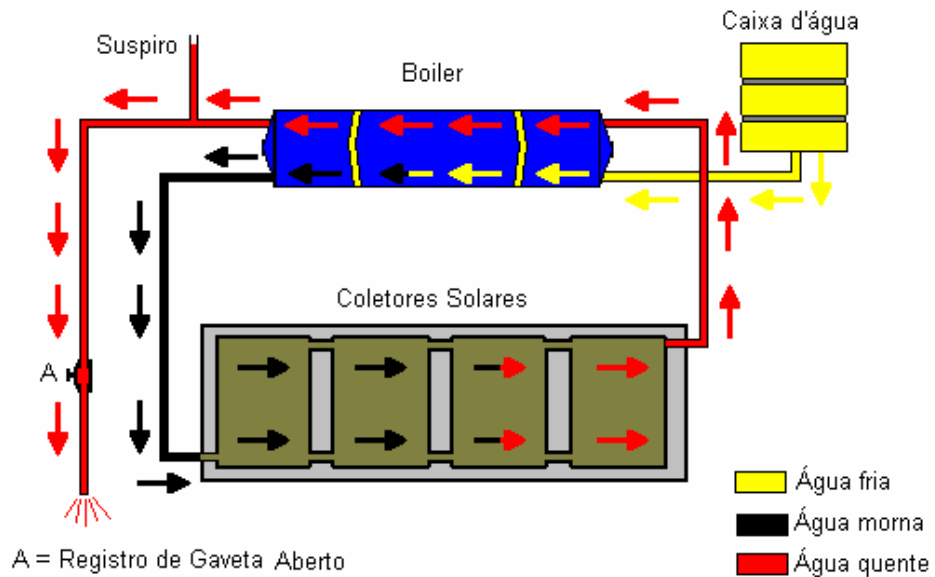
### **4.2.2 Fase I Noturno**

#### **4.2.2.1 Registro Aberto**

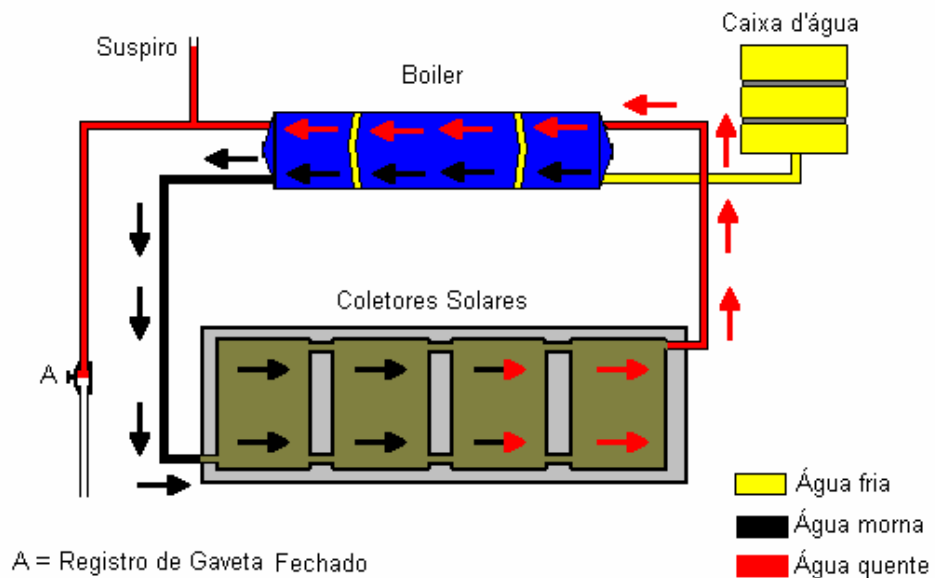
A água sai da caixa d'água, entra no *boiler*, misturando-se com a água que está aquecida, onde é liberada para o consumo. Isto provoca o acionamento da resistência elétrica devido à queda de temperatura da água do *boiler* (**Figura 4.3**).

#### **4.2.2.2 Registro Fechado**

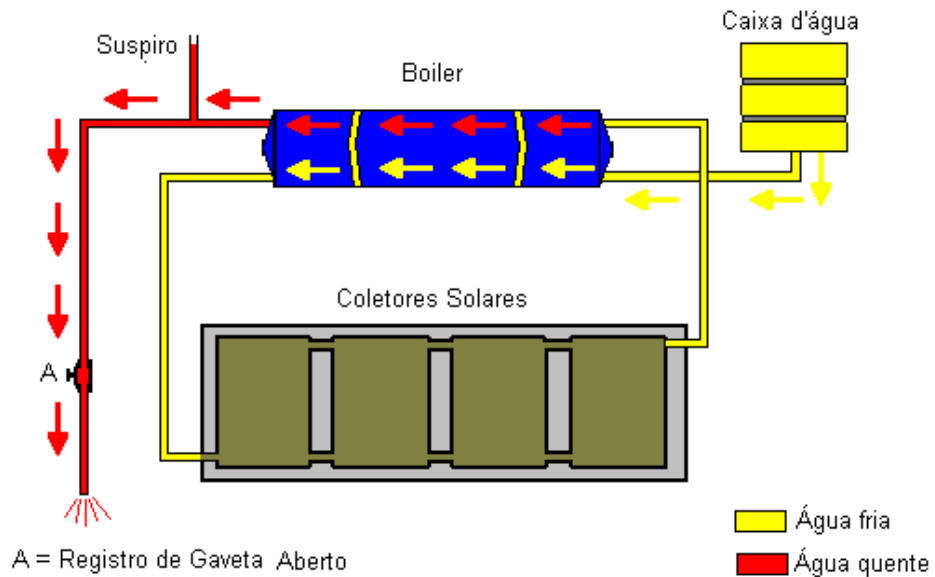
Não há circulação de água no sistema, devido a não existência do efeito termosifão (**Figura 4.4**).



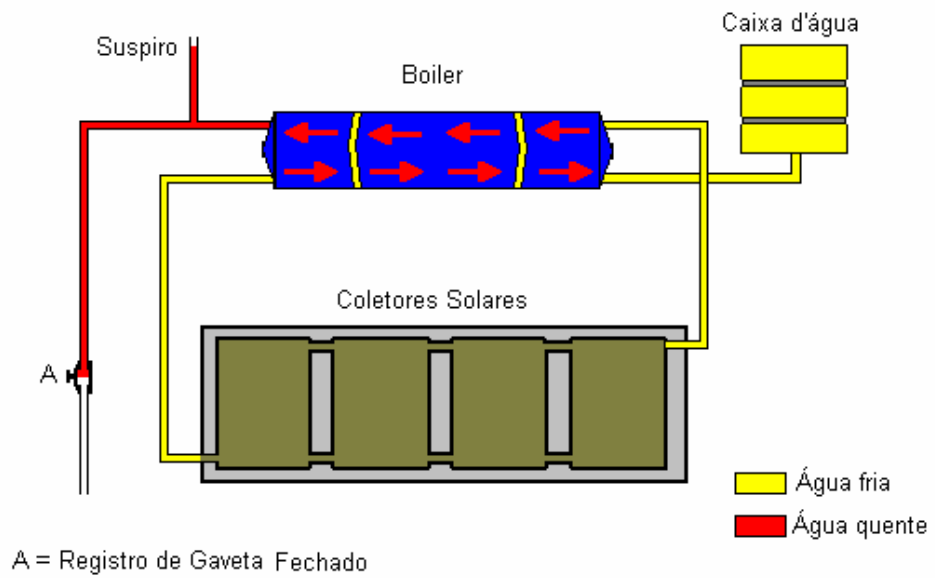
**Figura 4.1 – Sistema de aquecimento fase I diurno registro aberto**



**Figura 4.2 – Sistema de aquecimento fase I diurno registro fechado**



**Figura 4.3 – Sistema de aquecimento fase I noturno registro aberto**



**Figura 4.4 – Sistema de aquecimento fase I noturno registro fechado**

### **4.2.3 Fase II Diurno**

#### **4.2.3.1 Registro Aberto**

A água sai da caixa d'água, passa pela válvula solenóide (B) (**Foto 4.1**) que durante o período de 9h às 17h está aberta pelo acionamento do timer (**Foto 4.3**), entra no *boiler* passando pela saída inferior em direção aos coletores solares, onde é aquecida, retornando ao *boiler* pela entrada superior, sendo liberada para o consumo. A válvula solenóide (C) está fechada no período de 9h às 17h (**Figura 4.5**).

#### **4.2.3.2 Registro Fechado**

A água sai do *boiler* pela parte inferior, percorre os coletores solares onde é aquecida e retorna ao *boiler* pela parte superior, permanecendo neste ciclo até que ocorra um equilíbrio térmico entre a água contida no boiler e nos coletores solares. A válvula solenóide (B) está aberta no período de 9h às 17h. A válvula solenóide (C) está fechada no período de 9h às 17h (**Figura 4.6**).

### **4.2.4 Fase II Noturno**

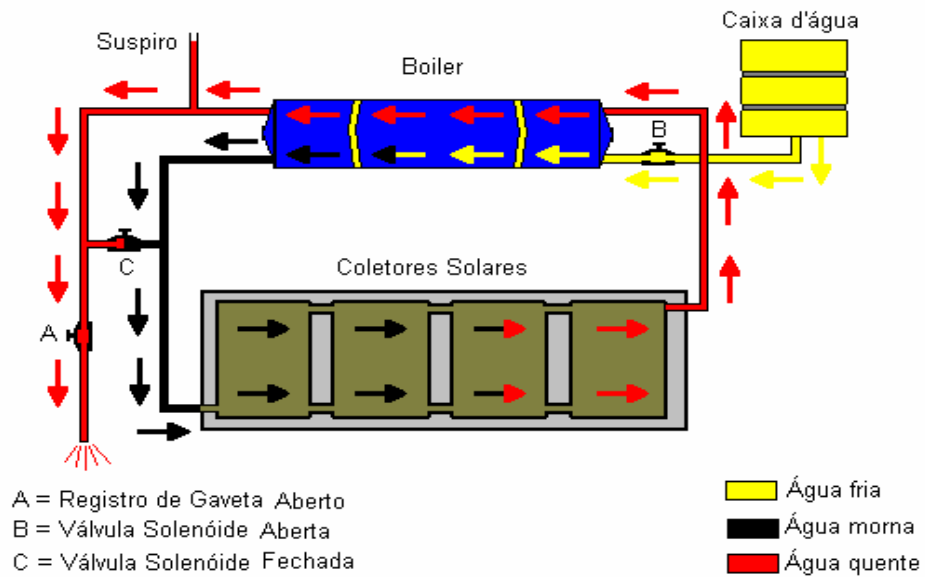
#### **4.2.4.1 Registro Aberto**

A água sai do *boiler* pela saída superior e inferior, onde é liberada para o consumo. Na saída inferior, passa por uma válvula solenóide (C), que está aberta no período de 17h01 às 8h59min. A água que está na caixa d'água, não passa na válvula solenóide (B) (**Foto 4.2**) que durante o período de 17h01min às 8h59min está fechada (**Figura 4.7**).

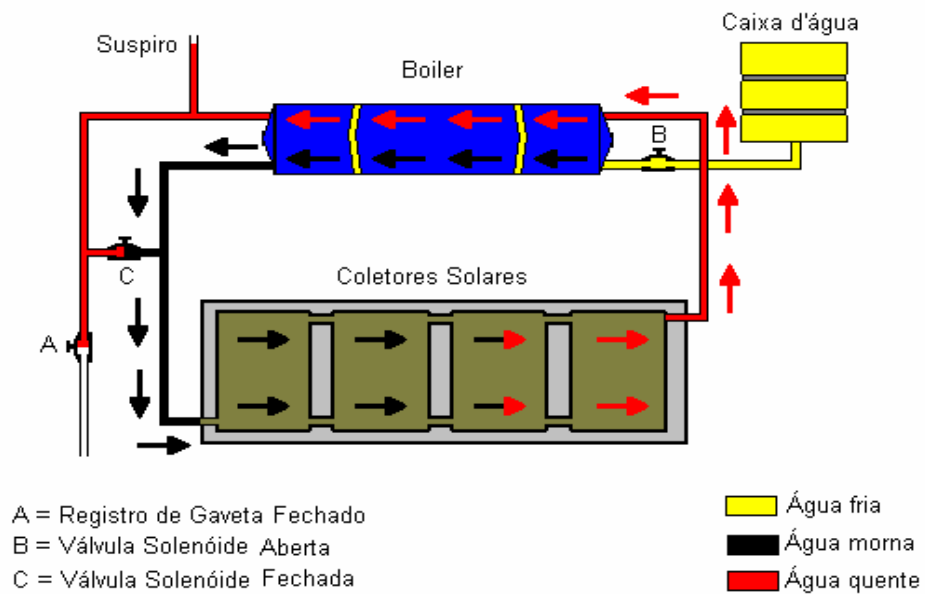
#### **4.2.4.2 Registro Fechado**

Não há circulação de água no sistema, devido a não existência do efeito termosifão (**Figura 4.8**)

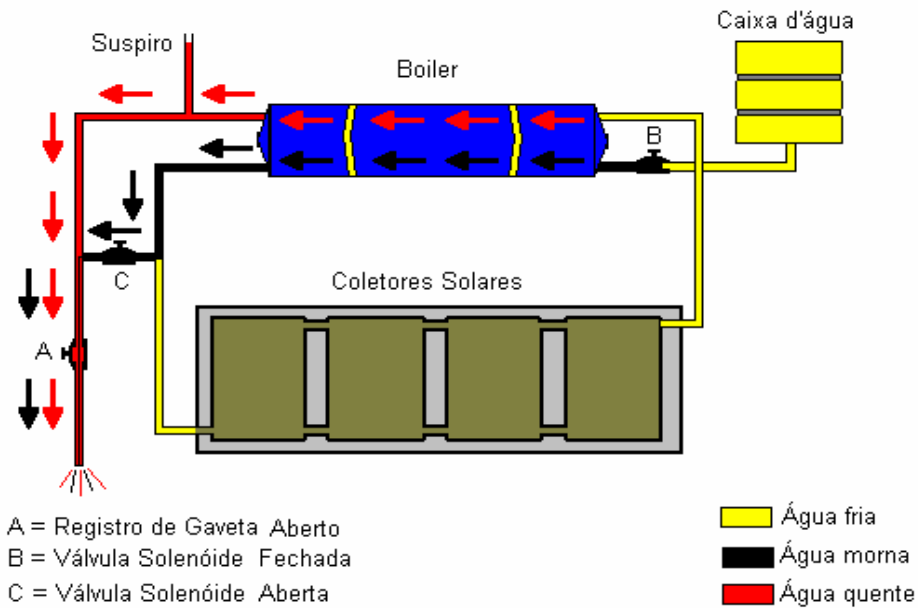




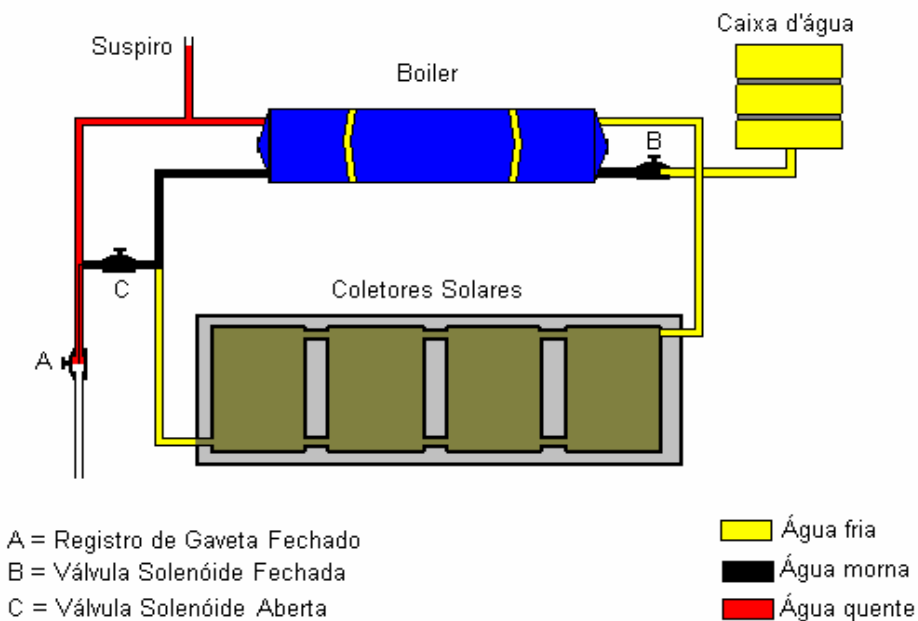
**Figura 4.5 – Sistema de aquecimento fase II diurno aberto**



**Figura 4.6 – Sistema de aquecimento fase II diurno fechado**



**Figura 4.7 – Sistema de aquecimento fase II noturno aberto**



**Figura 4.8 – Sistema de aquecimento fase II noturno fechado**



Foto 4.1 – Válvula solenóide.



Foto 4.2– Válvula solenóide instalada



Foto 4.3– Timer digital duplo

Depois do último banho noturno é adicionado aproximadamente 221 l de água fria no *boiler*, sendo ligada automaticamente a sua resistência (**Tabela 4.3**).

Durante o experimento, coletou-se dados de consumo médio mensal em KWh (**Tabela 4.4**), levando em consideração que a vazão do chuveiro é de 8,5 l/min e necessita de pressão mínimo de funcionamento de 2 m.c.a.

**Tabela 4.3 – Consumo diário de água quente**

Usuário	Qtde de banho diurno	Qtde de banho noturno	Tempo (min)	Banho noturno (litros)	Total diário (litros)
Masculino (1)	1	1	5	42,5	85
Masculino (2)	1	1	5	42,5	85
Feminino (1)	1	1	8	68,0	136
Feminino (2)	1	1	8	68,0	136
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>26</b>	<b>221,0</b>	<b>442</b>

**Tabela 4.4 – Consumo médio mensal**

Equipamento	Qtde	Potencia (Watts)	Dias de uso (mês)	Media utilizada (dia)	Consumo médio mensal (KW)
Boiler	1	3500	30	6	630,00
Lâmpada	5	15	30	5	11,25
Solenóide	2	11	30	8	5,28
Timer	1	8	30	24	5,76

## 5. RESULTADOS

Obtiveram-se os seguintes resultados na Fase I (**Tabela 5.1**).

**Tabela 5.1 – Consumo no ano 2004 com 1 KWh = R\$ 0,32407**

Mês (2004)	Consumo (KW) Boiler e Lâmpada	Consumo (R\$)	Iluminação pública (R\$)	Capacidade emergencial (R\$)	Total (R\$)
Fevereiro	598,50	193,95	4,27	1,43	199,65
Março	662,62	214,73	4,27	1,43	220,43
Abril	641,25	207,81	4,27	1,43	213,51
Maiο	659,12	213,60	4,27	1,43	219,30
Junho	642,08	208,07	4,27	1,43	213,77
Julho	661,32	214,31	4,27	1,43	220,01
<b>Total</b>	3864,89	<b>1252,47</b>	<b>25,62</b>	<b>8,58</b>	<b>1286,67</b>

Na Fase II (**Tabela 5.2**), obtiveram-se os seguintes resultados.

**Tabela 5.2 – Consumo no ano 2005 com 1 KWh = R\$ 0,35908**

Mês (2004)	Consumo (KW) Solenóide, Timer e Lâmpada	Consumo (R\$)	Iluminação pública (R\$)	Capacidade emergencial (R\$)	Total (R\$)
Fevereiro	24,93	8,95	4,35	2,54	15,84
Março	25,42	9,12	4,35	2,54	16,01
Abril	25,03	8,98	4,35	2,54	15,87
Maiο	25,67	9,21	4,35	2,54	16,10
Junho	25,21	9,05	4,35	2,54	15,94
Julho	25,86	9,28	4,35	2,54	16,17
<b>Total</b>	152,12	<b>54,59</b>	<b>26,10</b>	<b>15,24</b>	<b>95,93</b>

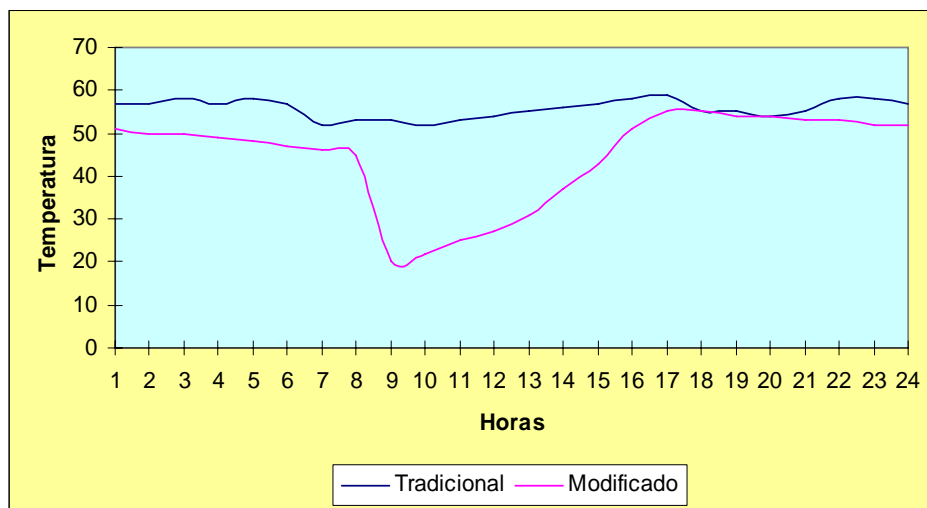
## 6. DISCUSSÃO

De acordo com a análise da temperatura do *boiler* durante 24h de um dia ensolarado (**Figura 6.1**) e dados do experimento, observou-se que na Fase I a temperatura do *boiler* se manteve constante, pois quando entra água fria, a resistência elétrica do *boiler* é acionada automaticamente.

Entre 9h e 17h entra água fria no *boiler*, porque a válvula solenóide (B) é aberta pelo timer. Neste intervalo não há consumo de água quente na casa.

Há circulação da água pelos coletores solares, fazendo com que aqueça a água do *boiler*.

Na Fase II noturna que ocorre das 17h01min até às 8h59min não entra água fria no *boiler*, porque a válvula solenóide (B) está fechada pelo timer.



**Figura 6.1 – Variação da temperatura do boiler em função do tempo**

O timer deve ser ajustado levando em consideração a região e a necessidade diária de cada família.

O resultado foi bastante significativo. Nos aspectos econômicos, durante 6 meses, houve uma economia de R\$ 1.190,74 em energia elétrica e gastou-se R\$

984,07 em equipamento que modificou o sistema tradicional de aquecimento de água. Isso mostra que em 5 meses de uso, o valor do investimento foi recuperado (**Tabela 6.1**).

**Tabela 6.1 – Resumo dos gastos**

Descrição	Convencional (R\$)	Modificado (R\$)	Saldo
Energia	1286,67	95,93	1190,74
Equipamento	3447,53	4431,60	(-) 984,07
Saldo			206,67

## 7. CONCLUSÃO

O presente trabalho conseguiu reduzir o consumo de energia elétrica da residência e proporcionando, mesmo que nos dias mais frios e nublados, um banho morno ou até quente nos dias ensolarados sem a utilização da resistência elétrica do *boiler*.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento. São Paulo. Disponível em: < <http://www.portalabrava.com.br> >. Acesso em: 13 jun. 2005.

ALMANZA, R.; LENTZ, A.; JIMÉNEZ, G. **Receiver Behavior In Direct Steam Generation With Parabolic Troughs**. Solar Energy, v. 61, n. 4, p. 275-8, 1997.

ASHRAE – **Handbook: Fundamentals**. Atlanta: ASHRAE, 1997. p. 26.1-26.4.

BEZERRA, A. M. **Aplicações Térmicas da Energia Solar**. 3 ed. João Pessoa: Ed Universitária, 1998. 242 p.

BORGES, T. P. F. **Síntese Otimizada de Sistemas de Aquecimento Solar de Água**. Campinas, 2000. 128 p. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas.

CRESESB – Centro de Referência para **energia Solar** e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Disponível em: < <http://www.cresesb.cepel.br/faq-solar.htm#p1> >. Acesso em: 31 mar. 2005.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 2 ed. New York: John Willy & Sons, 1991. 219 p.

**ENERGIA SOLAR**. Disponível em: <<http://www.fabioenergia.hpg.ig.com.br/index.htm>>. Acesso em: 23 ago. 2005.

FISH, M. M.; GUIGAS, M.; DALENBACK, J. O. **A Review of Large-Scale Solar Heating Systems in Europe**. Solar Energy, v. 63, n. 6, p. 355-66, 1998.

HEALEY, H. M. **Cost-effective Solar Applications For Commercial And Industrial Facilities**. Energy Engineering, v. 94, n. 4, p. 34-45, 1997.

JUNIOR, J. L., 2000. "Estudo de um sistema de aquecimento de água híbrido gás – solar", dissertação de mestrado, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre, Brasil.



KYOCERA – Solar do Brasil. Rio de Janeiro. Disponível em:  
<<http://www.kyocerasolar.com.br/>> Acesso em: 21 fev. 2005.

PORTAL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS Portugal. Disponível em:  
<<http://www.energiasrenovaveis.com/html> >. Acesso em: 07 mar. 2005.

PRADO, R. T. A. **Gerenciamento de Demanda e Consumo de Energia para Aquecimento de Água em Habitações de Interesse Social**. São Paulo SP, 1991. 261p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SHARIAH, A. M.; LOF, G. O. G. **Effects Of Auxiliary Heater On Annual Performance Of Thermosyphon Solar Water Heater Simulated Under Variable Operating Conditions**. Solar Energy, v. 60, n. 2, p. 119-26, 1997.

THOREY TECNOLOGIA. Rio de Janeiro. Disponível em:  
<[http://www.thorey.com.br/energia\\_solar/applications.htm](http://www.thorey.com.br/energia_solar/applications.htm) >. Acesso em: 21 jun. 2005.

VIEIRA, L. R. **Estratégias para Minimizar o Consumo de Energia Elétrica no Apoio a Sistemas Solares de Aquecimento de Água**. Porto Alegre, Rio Grande do Sul RS. 2001. 81 p. Dissertação (Mestrado). UFRGS/PROMEC.