

**CRISTIANE QUEIROGA NETTO**

**ANÁLISE DE UM PEQUENO SISTEMA DE AQUECIMENTO  
SOLAR INSTALADO NO INTERIOR DO ESTADO DE MINAS  
GERAIS**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Formas Alternativas de Energia, para a obtenção do título de especialista em Energia Alternativa.

Orientador

Prof. Carlos Alberto Alvarenga

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2006

**CRISTIANE QUEIROGA NETTO**

**ANÁLISE DE UM PEQUENO SISTEMA DE AQUECIMENTO  
SOLAR INSTALADO NO INTERIOR DO ESTADO DE MINAS  
GERAIS**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Formas Alternativas de Energia, para a obtenção do título de especialista em Energia Alternativa.

APROVADA em \_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

Prof. \_\_\_\_\_

Prof. \_\_\_\_\_

Prof. \_\_\_\_\_

UFLA  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL

A Deus,  
sem Ele, nada disso teria sido possível.

À família querida,  
que sempre me ensinou a não abandonar projetos, desejos e sonhos, pois cada  
coisa tem seu tempo; para viver o amanhã é preciso viver o hoje.

À minha irmã Luciana,  
que tanto me ajudou nesse projeto.

Ao professor Carlos Alberto Alvarenga,  
que com muita tranquilidade me ouviu, orientou e respeitou meu ritmo.

À "Tucha",  
que me ajudou na correção do trabalho.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	04
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	05
2.1 Fontes alternativas de energia .....	06
2.1.1 Reservas de energia .....	06
2.1.2 Energias renováveis .....	07
2.2. Energia solar .....	08
2.2.1 O sol .....	08
2.2.2 Radiação solar .....	09
2.2.3 Nível solarimétrico de Minas Gerais .....	10
2.3. Coletores solares planos para aquecimento de água .....	11
2.3.1 Características construtivas .....	12
2.3.2 Reservatório térmico .....	13
2.3.3 Instalação termossolar de pequeno porte com circulação natural .....	13
2.3.4 Dimensionamento do sistema de aquecimento solar .....	14
2.3.5 Instalação dos coletores .....	15
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	17
3.1 Caracterização do cenário do estudo .....	17
3.1.1 Especificação do sistema .....	17
3.1.2 Material Utilizado .....	21
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	23
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	33
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	35
<b>ANEXO</b> .....	36

## **1 INTRODUÇÃO**

Neste trabalho, analisa-se um sistema de aquecimento solar instalado no interior do estado de Minas Gerais.

A energia solar é abundante, permanente, renovável, não polui e nem prejudica o meio ambiente. É uma das mais promissoras fontes alternativas de energia para enfrentarmos o novo milênio. A utilização dessa forma de energia implica em saber captá-la e armazená-la. Os coletores solares são equipamentos que têm como objetivo utilizar a energia solar fototérmica. Eles são largamente utilizados em residências em razão do conforto proporcionado e da redução do consumo de energia elétrica.

Neste trabalho fez-se a análise do funcionamento do pequeno sistema com reservatório reduzido, já instalado pelo próprio usuário. Estimou-se a economia de eletricidade proporcionada pela substituição do chuveiro elétrico e a economia de gás de cozinha utilizando água pré-aquecida pelo aquecedor solar para cozimento de alimentos.

Esta pesquisa foi realizada com intuito de proporcionar fácil acesso aos dados sobre o tema, bem como verificar se o sistema supre as necessidades diárias de consumo de água quente.

O trabalho foi organizado em capítulos para facilitar o acesso às informações.

A perspectiva não é esgotar o assunto, mas, na medida do possível, preencher lacunas referentes ao funcionamento e à instalação de um pequeno sistema de aquecimento solar.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

A energia solar recebida pela Terra a cada ano é dez vezes superior à contida em toda a sua reserva de combustíveis fósseis, no entanto, a maior parte da energia utilizada pela humanidade provém de combustíveis fósseis como petróleo, carvão mineral, xisto, dentre outros. E, na busca por soluções limpas e ambientalmente corretas para substituí-los, a energia renovável, como a solar, é uma direção viável e vantajosa. Além de ser inesgotável, apresenta baixo impacto ambiental e não afeta o balanço térmico ou composição atmosférica do planeta (PALZ, 1981).

A aplicação mais simples da energia solar é a produção de calor a baixas temperaturas. O aquecimento de água por meio do emprego de coletores é de ampla aplicação nos mais diversos setores, destacando-se o residencial, industrial, agropecuário e o de serviços (hospitais, hotéis, etc.). O uso dos coletores planos em substituição aos chuveiros elétricos demonstra ser uma excelente alternativa, já que os investimentos totais necessários são normalmente inferiores aos despendidos para o aquecimento elétrico da água (ALVARENGA, 2001).

Segundo Bezerra (2004), o funcionamento dos aquecedores solares de água é muito simples. Basicamente, é o mesmo que se verifica quando deixamos, sob a ação do sol, um veículo fechado por algumas horas. A radiação solar se faz cada vez mais presente à medida que a pintura do veículo se aproxima da cor preta, ocorrendo o mesmo no seu interior.

No balanço energético nacional, o aquecimento de água é de 6,2% de toda energia elétrica consumida no Brasil e se destina, principalmente ao hábito do banho diário (PEREIRA, 2002).

A crescente demanda mundial de energia, o progressivo esgotamento das fontes de energia não renováveis e problema ambiental, que se apresenta como

uma questão cada vez mais importante para o futuro da humanidade, colocam a energia solar como uma alternativa promissora e que, seguramente ocupará um lugar de destaque este milênio (ALVARENGA, 2001).

## **2.1 FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA**

### **2.1.1 Reservas de energia**

As reservas de energia como o petróleo e o gás natural vão acabar. Só resta saber quando. As previsões variam. Fala-se em 40 ou 60 anos. De qualquer modo, a previsão é de que em algum momento do século XXI o mundo se encontrará sem gás natural e petróleo. Por isso, se essa previsão se confirmar, as conseqüências econômicas e políticas serão terríveis para todo o mundo. Estima-se que 80% da energia consumida pela humanidade provém de combustíveis fósseis como o petróleo, o carvão mineral e o gás natural.

O contínuo uso dos combustíveis fósseis representa uma grave ameaça à atmosfera e ao ambiente. A queima desses combustíveis pelos automóveis e pelas indústrias lança no ar grandes quantidades de gases poluentes. Outra conseqüência dessa queima é a grande produção de gás carbônico, que pode elevar a temperatura do planeta e afetar o clima do mundo de tal forma que regiões inteiras podem se transformar em desertos.

Então, seja pela previsão de esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, seja pela deterioração do meio ambiente, a necessidade de desenvolver outras formas de energia menos prejudiciais ao ambiente e ao mesmo tempo renováveis, isto é, que não se esgotem, é vital.

As fontes de energia mais utilizadas atualmente, como o petróleo, carvão mineral e grandes hidrelétricas, são chamadas de *convencionais*. As outras

formas de aproveitamento dos recursos energéticos naturais são fontes *alternativas*.

Entre as fontes alternativas de energia propostas atualmente há algumas que, na realidade, são bastante antigas, como o uso dos ventos (energia eólica) nos moinhos e barcos a vela; de pequenas quedas d'água no acionamento de rodas d'água e carneiro hidráulico e o uso direto de energia solar nas atividades domésticas - secagem de roupa e preparação de carne de sol, e em indústrias - secagem do sal da água do mar nas salinas<sup>1</sup>

### **2.1.2 Energias renováveis**

As energias renováveis são provenientes de ciclos naturais de conversão da radiação solar, que é a fonte primária de quase toda energia disponível na Terra, por isso são praticamente inesgotáveis e não alteram o balanço térmico do planeta. As formas ou manifestações mais conhecidas são: energia solar, energia eólica, biomassa e hidroenergia.

A energia solar é a energia da radiação solar direta, que pode ser aproveitada de diversas formas mediante diversos tipos de conversão, permitindo seu uso em aplicações térmicas em geral, obtenção de força motriz diversa, obtenção de eletricidade e de energia química.

A energia eólica é a energia cinética das massas de ar provocadas pelo aquecimento desigual na superfície do planeta. Além da radiação solar, também têm participação na sua formação fenômenos geofísicos como: rotação da terra, as marés atmosféricas dentre outros.

A biomassa é a energia química produzida pelas plantas na forma de hidratos de carbono através da fotossíntese - processo que utiliza a radiação solar

---

<sup>1</sup> Disponível em [www.bibvirt.futuro.usp.br](http://www.bibvirt.futuro.usp.br).



como fonte energética. É distribuída e armazenada nos corpos dos seres vivos graças à grande cadeia alimentar, na qual a base primária são os vegetais, plantas, animais e seus derivados são biomassa. Sua utilização como combustível pode ser feita das suas formas primárias ou de seus derivados: madeira bruta, resíduos florestais, excrementos animais, carvão vegetal, álcool, óleos animal ou vegetal, gaseificação de madeira, biogás, dentre outros.

A hidroenergia é a energia cinética das massas de água dos rios que fluem de altitudes elevadas para os mares e oceanos graças à força gravitacional. Esse fluxo é alimentado em ciclo reverso em decorrência da evaporação da água, elevação e transporte do vapor em forma de nuvens, naturalmente realizado pela radiação solar e pelos ventos. A fase se completa com a precipitação das chuvas nos locais de maior altitude. Sua utilização é bastante antiga, e uma das formas mais primitivas é o monjolo e a roda d'água. A hidroenergia também pode ser vista como forma de energia potencial - volume de água armazenada nas barragens rio acima. As grandes hidrelétricas se valem das barragens para compensar as variações sazonais do fluxo dos rios e, por meio de controle por comportas, permitir modulação da potência instantânea gerada nas turbinas.<sup>2</sup>

## **2.2. ENERGIA SOLAR**

### **2.2.1 O sol**

O Sol, além de fonte de vida, é a origem de toda as formas de energia que o homem vem utilizado durante sua história e pode ser a resposta para a questão do abastecimento energético futuro, com o aproveitamento, de maneira racional, da luz que ele derrama constantemente sobre nosso planeta. Brilhando

---

<sup>2</sup> Disponível em [www.aondevamos.eng.br/textos/texto08.htm](http://www.aondevamos.eng.br/textos/texto08.htm).

há mais de cinco bilhões de anos, calcula-se que o Sol ainda nos privilegiará por outros seis bilhões de anos. Diante dessa realidade, seria irracional não buscar, por todos os meios tecnicamente possíveis, aproveitar esta fonte de energia, limpa, inesgotável e gratuita (FERNANDES; GUARONGHI, 2005).

A Terra recebe energia radiante do Sol a um regime de  $173 \times 10^{15} \text{ W}^3$ , emitindo uma quantidade idêntica. Esta é uma condição do equilíbrio. A emissão depende da temperatura da Terra, ou seja, a temperatura do planeta tal qual o conhecemos é a temperatura de equilíbrio na qual a admissão é igual à emissão de radiação. Então, se a temperatura mudasse por qualquer razão, a condição de equilíbrio também se modifica.<sup>4</sup>

### 2.2.2 Radiação solar

A radiação proveniente do Sol que atinge o planeta Terra é decorrente da variação entre a Terra e o Sol ao longo do ano e tem intensidade média bem definida. A constante solar é definida como a potência da radiação recebida do Sol, em uma superfície de  $1 \text{ m}^2$  perpendicular à direção de propagação, medida no limite da atmosfera da Terra. Seu valor médio é  $1353 \text{ W/m}^2$ . A variação máxima de aproximadamente 1,7% na distância entre a Terra e o Sol acarreta uma oscilação na constante solar da ordem de mais ou menos 3%. Mas, nem toda essa radiação chega à superfície, a maior parte dela é refletida de volta ao espaço, absorvida pelas moléculas triatômicas ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , etc) presentes no ar. Uma parte muito pequena é absorvida pelas plantas. Em um dia claro e sem

---

<sup>3</sup> Área projetada da terra =  $(6,3 \times 10^5)^2 \times 3,14 = 124 \times 10^{12} \text{ m}^2$

Constante solar =  $1395 \text{ W/m}^2$

Energia recebida =  $124 \times 10^{12} \times 1395 = 173 \times 10^5 \text{ W}$ .

<sup>4</sup>Disponível em [www.aondevamos.eng.br](http://www.aondevamos.eng.br)

nuvens, a energia solar que atinge uma superfície horizontal de 1 m<sup>2</sup> próxima ao solo é de cerca de 1000 W. À medida que o Sol fica mais baixo no horizonte, a crescente massa de ar que se interpõe no caminho dos raios solares reduz a intensidade com que eles alcançam essa superfície perpendicular de 1 m<sup>2</sup>. Nos projetos de aproveitamento solar, é importante o conhecimento das variações anuais, sazonal e diárias da radiação solar para sua otimização (ALVARENGA, 2001).

### **2.2.3 Nível solarimétrico de Minas Gerais**

Conforme levantamento da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) o Estado de Minas Gerais apresenta níveis relativamente elevados de radiação solar, em média, entre 4 e 6 kWh/m<sup>2</sup>/dia próximos aos encontrados nas regiões mais favoráveis do mundo (cinco a sete kWh/m<sup>2</sup>/dia). As regiões do Triângulo Mineiro, noroeste e Norte do Estado se destacam pelas baixas latitudes e menores nebulosidades. Minas Gerais caracteriza-se por verões nublados, com altos níveis de precipitação pluviométrica e invernos secos e de céu claro (radiação diária praticamente constante todo mês). Isto faz com que os níveis médios de radiação solar apresentem boa regularidade sazonal com pequena oblação durante o ano. No inverno, com a correta inclinação das superfícies de aproveitamento, pode-se até conseguir maior captação de energia do que no verão (ALVARENGA, 2001).

### **2.3. COLETORES SOLARES PLANOS PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA**

O coletor solar plano é uma das formas mais comuns de captação de energia, pois convertem a energia solar em térmica com baixo custo e de forma conveniente. O processo empregado é o de efeito estufa. Assim como as cores claras refletem a radiação, as cores escuras as absorvem e essa absorção é tanto maior quanto mais próximas estiverem da cor negra. Com base nessa propriedade é que as placas absorvedoras dos captadores planos são pintadas de preto fosco. A propriedade da superfície negra, aliada à propriedade que o vidro tem de recuperar grande parte da radiação emitida pela superfície negra quando a lâmina de vidro está colocada acima da placa absorvedora, é aproveitada para a conversão de energia radiante em energia térmica no coletor.

O coletor solar plano tem sido empregado com sucesso para obtenção de temperaturas de até 80°C, mas em temperaturas mais baixas apresenta maior eficiência. Um coletor, para ser viável economicamente, deve ter vida útil longa e poucos problemas de manutenção. Então, não se deve, pela simplicidade da tecnologia, tentar construir coletores usando qualquer tipo de material disponível.

A estimativa da eficiência térmica do coletor solar é complexa porque envolve um número muito grande de variáveis. Podem ser citados os materiais utilizados na fabricação, o tipo de superfície absorvedora, a intensidade da radiação solar, o número de coberturas transparentes, o tipo e espessura do isolamento térmico, as temperaturas de trabalho, dentre outros. A eficiência se reduz à medida que existirem maiores diferenças de temperaturas entre o coletor e o ambiente (ALVARENGA, 2001).

### 2.3.1 Características construtivas

Basicamente, um coletor plano é constituído por:

- Caixa externa: em alumínio, chapa dobrada ou material plástico que suporta todo o sistema. O fundo da caixa pode ser de chapa de aço galvanizado ou madeira.
- Isolamento térmico: o isolamento térmico é fundamental, pois o sistema funciona em temperaturas superiores às do ambiente. Ele reveste a caixa externa e minimiza as perdas de calor para o meio. O material mais utilizado é a lã de vidro em mantas de 5 cm de espessura ou lã de rocha e espuma de poliuretano.
- Tubos: tubos interconectados, por meio dos quais o fluido circula no interior do coletor. Normalmente, são feitos de cobre dada sua alta condutividade térmica e resistência à corrosão.
- Placa absorvedora: responsável pela absorção e transferência da energia solar para o fluido de trabalho. Local onde se processa a conversão da radiação em calor, podem ser utilizados materiais como alumínio e cobre, pintadas de preto fosco para melhor absorção de energia solar.
- Cobertura transparente: geralmente vidro plano de 3 ou 4 mm de espessura (efeito estufa), que é mais durável que a cobertura plástica. Para temperaturas mais elevadas, recomenda-se o uso de dupla camada de vidro o que diminui as perdas térmicas permitindo a passagem de radiação solar e reduzindo a perda de calor e radiação para o meio por convecção.

(ALVARENGA, 2001; PEREIRA, 2002).

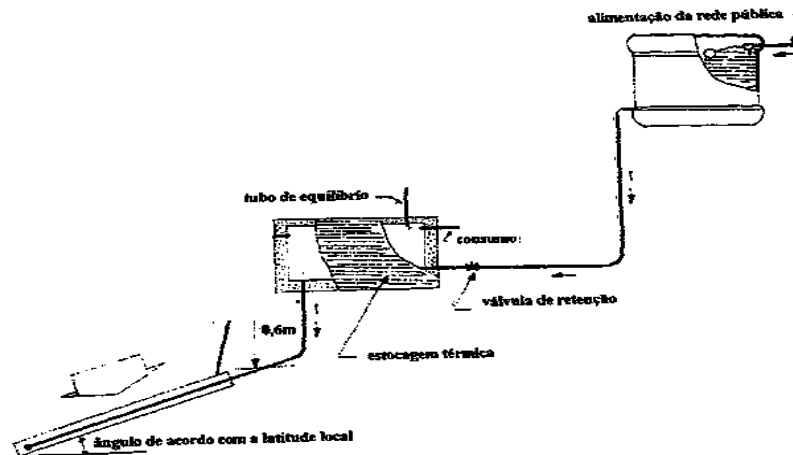
### **2.3.2 Reservatório térmico**

Os reservatórios térmicos são tanques utilizados para armazenar a água quente, proveniente do coletor solar. São indispensáveis por causa das características de inconstância da radiação solar. São constituídos por um corpo interno cilíndrico, geralmente em aço inoxidável ou cobre. Devem ser termicamente isolados para minimizar as perdas de calor para o ambiente.

O dimensionamento da área de coletores e do volume do reservatório está vinculado ao nível de participação que se deseja para a produção de calor do sistema (PEREIRA, 2002).

### **2.3.3 Instalação termossolar de pequeno porte com circulação natural**

O sistema com circulação natural (FIG. 1) é o mais utilizado em pequenas instalações. Esse sistema, também chamado termo-sifão, baseia-se na diferença da densidade da água em diferentes temperaturas. A água circula dos pontos mais quentes para os mais frios. No sistema em circuito aberto utiliza-se como fluido de trabalho a própria água de consumo. Em sistemas termo-sifão, deverá haver 60 cm entre o nível inferior do reservatório e a saída de água quente do coletor para que o efeito termo-sifão aconteça efetivamente (ALVARENGA, 2001).



**Figura 1: Sistema Solar De Aquecimento D'água Com Circulação Natural**

(Fonte: Energia Solar. UFLA, 2001).

### 2.3.4 Dimensionamento do sistema de aquecimento solar

O dimensionamento do sistema deve levar em conta as características desejadas de consumo de água quente, como volumes, temperaturas, distribuição ao longo do dia e do ano, confiabilidade desejada, o nível e as características da radiação solar local, as características do coletor solar a ser usado, as alternativas e custo do energético complementar, dentre outros. É um estudo complexo, normalmente realizado para grandes instalações.

Para o setor residencial leva-se em conta o número de pessoas na residência, os pontos em que a água quente será utilizada, os hábitos familiares de banho, de uso de água quente na cozinha.

Primeiramente, deve ser realizado um levantamento criterioso das características do consumo de água quente. Devem ser relacionados todos os equipamentos que consomem água quente, com os volumes previstos, a

temperatura desejada, os períodos de uso, a variação sazonal. Com isso, se consegue o volume diário que será consumido.

Para um rendimento energético maior, é importante trabalhar com temperaturas mais baixas. Numa região com níveis solarmétricos entre 4 e 5 kWh/m<sup>2</sup>/dia recomenda-se que a cada metro quadrado de coletor corresponda um volume de reservatório térmico de 100 litros. O resistor utilizado para complementação energética deve ter uma resistência elétrica na faixa entre 100 e 180 Watts para cada 100 litros de reservatório.

Por ser relativamente elevado o investimento inicial para se instalar um coletor solar, não se recomenda dimensionar o sistema para suprir toda a água quente consumida, principalmente no inverno. Um percentual de contribuição de 60% a 80% do sistema solar e de 20% a 40% do sistema elétrico é recomendado (ALVARENGA, 2001).

### **2.3.5 Instalação dos coletores**

O ideal para o processo de aquisição e instalação dos sistemas é que a instalação dos coletores já fosse prevista no início de um projeto residencial, o que reduz investimentos, principalmente no sistema elétrico.

A princípio, deve-se verificar a qualidade dos equipamentos, como: vidro, tubos de cobre, aletas de alumínio ou cobre, caixa em alumínio, isolamentos térmicos de poliuretano ou lã de vidro com espessuras adequadas, reservatórios térmicos de cobre ou aço inoxidável ou outros materiais de qualidade. Deve-se analisar também a qualidade das bombas e termostatos. Pode-se, com estas verificações, conseguir uma vida útil longa para os equipamentos.



No Brasil, os coletores deverão ser instalados com sua superfície voltada para o Norte, permitindo um desempenho mais uniforme durante o ano. Pequenas variações são permitidas para o Nordeste ou para o Noroeste. Este é um ponto crítico, pois muitas vezes os coletores são instalados sobre telhados já construídos.

A inclinação dos coletores deverá ser estabelecida a fim de aproveitar com máxima eficiência a radiação local. A inclinação do coletor com ângulo igual à latitude local é a mais eficiente. No Sudeste brasileiro, costuma-se colocar inclinações maiores que a latitude visando à maior de calor no inverno. Para aproveitar o efeito de limpeza da chuva, ângulos muito pequenos devem ser evitados.

No sistema de circulação natural, deve-se tomar precaução especial na verificação do desnível entre coletor e reservatório de água quente (mínimo 0,20 m e máximo 4,00 m) e deste ao reservatório de água fria (0,15 m) que não devem ser menores que os valores recomendados.

As tubulações que levam água quente aos pontos de consumo devem ser construídas com tubos resistentes ao calor como: aço galvanizado, cobre, PVC e polipropileno. Deverão ter menor diâmetro, porque a água que fica armazenada nelas, quando não está sendo utilizada se esfria (ALVARENGA, 2001).

### **3. MATERIAL E MÉTODO**

#### **3.1 CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO DO ESTUDO**

A pesquisa foi realizada em um sistema de aquecimento solar instalado em setembro de 2001 em um domicílio na cidade de Poté, Nordeste do estado de Minas Gerais, no Vale do Mucuri, situada a 17°49'00" de latitude e 41°48'15" de longitude, com temperaturas média anual de 21°C, média máxima anual 28°C e média mínima anual 15,1°C.

Como a instalação do sistema de aquecimento solar é simples, a instalação do equipamento usado no estudo foi feita pelo próprio usuário, com orientações do fabricante fornecidas junto com o equipamento, e com o auxílio de engenheiro, que tirou algumas dúvidas. Foram feitas algumas modificações para melhor captação do sol - o sistema foi suspenso por um andaime para que o telhado da casa não provocasse sombra na placa à tarde. Para menor custo do sistema, o reservatório de água quente foi feito com um quarto do valor que normalmente é indicado (200 litros) para uma placa de 1,6 m<sup>2</sup>, ou seja, 50 litros.

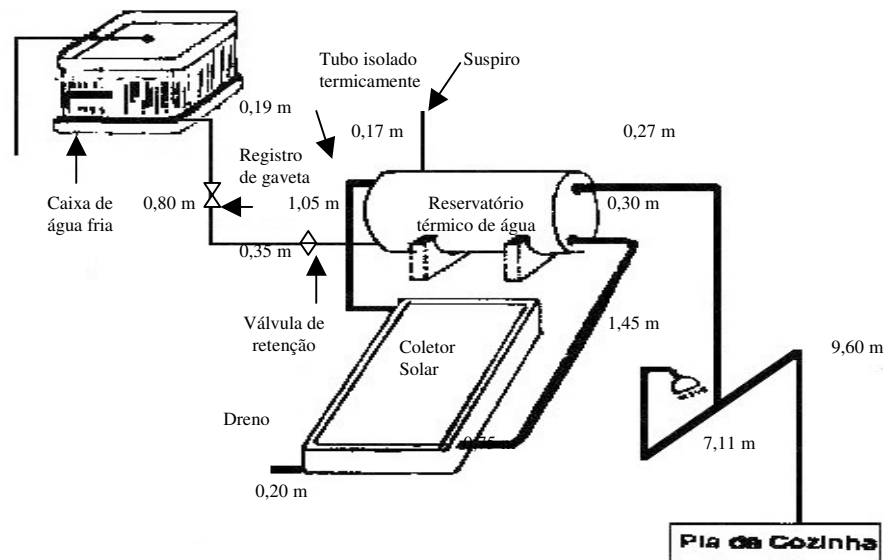
##### **3.1.1 Especificação do sistema**

- Coletor solar: placa de 1,6 m<sup>2</sup> de área instalada a 5,68 m do chão, inclinação de 25°C, apontado para o Norte, Com as seguintes características: vidro de 3 mm, aleta de alumínio, tubos de cobre, isolamento térmico de lã de vidro (50 mm), chapa de alumínio, rebite, borracha de vedação, pintura da superfície em preto fosco e vedação em silicone.

- Reservatório térmico: tanque interno com capacidade para cinquenta litros, feito em aço inoxidável ASI 304 revestido de lã de vidro envolto por uma caixa de madeira e alumínio.
- Caixa de água fria de alimentação: em amianto, com capacidade de 200 litros e pintura em preto fosco para absorver o calor do sol, instalada acima do reservatório.
- Tubulações: entrada de água no reservatório, retorno do coletor, abastecimento do coletor em PVC 3/4". A tubulação de água quente em tubo PVC 22 mm aquatherm, que suporta até 80°C e suspiro de tubo galvanizado 1/2".

O sistema alimenta um chuveiro com vazão de 2,2 litros por minuto de água e uma torneira para pia da cozinha. Não existe sistema auxiliar de aquecimento. Em dias nublados ou chuvosos, utiliza-se chuveiro elétrico instalado em outro banheiro. Segundo o usuário o sistema é bastante confiável, sendo necessário o uso do chuveiro elétrico somente quando não há nenhuma claridade durante o dia ou quando há dias chuvosos seguidos.

O sistema estudado poderá ser visto na figura 2 e na imagem 1, 2 e 3 (Anexo).



**Figura 2: Esquema do sistema instalado no domicílio do estudo**

Na primeira parte da pesquisa, foi avaliada a economia de energia elétrica obtida com a instalação do sistema para utilização no banheiro. Foi analisado o consumo de energia elétrica constante das contas de energia do ano anterior e posterior à instalação do sistema, com base nas informações de que os hábitos dos moradores não tinham sofrido grandes alterações. Com estes valores, foi possível calcular o valor médio da economia elétrica conseguida com a instalação.

A segunda parte da pesquisa consta de uma série de medições para verificar a temperatura e a quantidade de água consumida do reservatório vinda do coletor solar, visando observar se o sistema instalado supre as necessidades diárias da residência e se a instalação da água aquecida na cozinha ajudaria na economia de gás.

Os dados foram coletados no período de 22 de dezembro de 2005 a 7 de março de 2006.

Foram coletados e observados os seguintes dados:

- temperatura ambiente do dia, (manhã: 10h; tarde: 15h e noite: 21h);
- temperatura da água do aquecedor (manhã: 10h; tarde: 15h e noite: 21h);
- quantidade de água gasta no banho;
- horário dos banhos;
- tempo gasto nos banhos;
- temperatura da água quente no horário do banho;
- temperatura ambiente no horário do banho;
- quantidade de água quente gasta na cozinha;
- temperatura da água no horário de utilização na cozinha;
- tempo para água em temperatura ambiente e pré-aquecida ferver.

Para a segunda parte do trabalho, foi cronometrado o tempo de banho das duas pessoas da casa que utilizam água do reservatório térmico, bem como a temperatura da água no horário de cada banho. Multiplicando o tempo pela vazão do chuveiro, tem-se a quantidade de água gasta por banho. Com essas medições pôde-se verificar que a quantidade de água quente do sistema era suficiente para ser utilizada no banheiro.

Quanto à água gasta na cozinha, foram medidas as quantidades de água utilizada e suas respectivas temperaturas, em seguida foram cronometrados o tempo que a água aquecida (utilizando a temperatura média das águas utilizadas no dia) levaria para ferver (100°C) e o tempo que a água não aquecida levaria para ferver. Com esses dados, obteve-se a média da economia de gás durante o mês com a utilização da água pré-aquecida. Analisou-se também se a água gasta na cozinha juntamente com a do banheiro são supridas pelo sistema de aquecimento solar instalado.

### 3.1.2 Material Utilizado

Cronômetro Kenko (FIG. 3) com largura de 5 cm, altura de 7 cm e espessura de 2 cm. Marcação mínima de centésimos de segundos. Contagem progressiva, relógio digital, calendário, alarme.



**Figura 3: (Cronômetro)**

Termômetro ambiental (FIG. 4) com dimensões de 135x35x10mm, escala de 10+50°C, divisão de 1°C, precisão de  $\pm 1^\circ\text{C}$ , em MDF com enchimento em líquido vermelho e peso de 30g.



**Figura 4: (Termômetro)**

Termômetro refrigeração e laticínios (FIG. 5) com comprimento de  $220\pm 5$ , proteção plástica, escala interna, capilar transparente, imersão total, enchimento a líquido, diâmetro  $26,5\pm 1$ , fechamento redondo, com escala de  $-10+110:1^{\circ}\text{C}$ , divisão de  $1^{\circ}\text{C}$  e limite de erro de  $\pm 2$ .



**Figura 5: (Termômetro)**

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na TAB. 1 estão apresentados os valores de consumo de energia elétrica (kWh) constantes das contas de energia no período de um ano (antes e após a instalação do sistema de aquecimento solar). Nas TAB. de 2 a 6 foram apresentados os valores colhidos na pesquisa e seus respectivos resultados.

**Tabela 1: Valores de consumo de energia elétrica (kWh) constantes das contas de energia**

Antes da instalação do sistema	Valor em Kw	Depois da instalação do sistema	Valor em Kw
<b>Ano 2000</b>		<b>Ano 2001</b>	
Setembro	115	Setembro	125
Outubro	151	Outubro	97
Novembro	155	Novembro	90
Dezembro	187	Dezembro	91
<b>Ano 2001</b>		<b>Ano 2002</b>	
Janeiro	200	Janeiro	146
Fevereiro	161	Fevereiro	139
Março	178	Março	100
Abril	157	Abril	129
Maio	159	Maio	128
Junho	131	Junho	105
Julho	123	Julho	97
Agosto	133	Agosto	126
Total	154,17	Total	114,42

(Fonte: CEMIG, 2000, 2001 e 2002).

Como se pode observar, houve uma redução direta de 26% de consumo de energia elétrica após a instalação do sistema de aquecimento solar no domicílio, que equivale a 39,75 kWh de economia média-mensal.



**Tabela 2: Temperatura ambiente e da água aquecida nos dias de medição**

Dias	Horário	Temperatura ambiente °C	Temperatura da água aquecida °C	Média da temperatura da água °C
22-DEZ-05	manhã (10 h)	26	45	49,6
	tarde (15 h)	31	56	
	noite (21 h)	25	48	
23-DEZ-05	manhã (10 h)	25	46	47,6
	tarde (15 h)	29	57	
	noite (21 h)	25	40	
24-DEZ-05	manhã (10 h)	25	38	46
	tarde (15 h)	31	58	
	noite (21 h)	25	42	
25-DEZ-05	manhã (10 h)	25	40	46,6
	tarde (15 h)	31	55	
	noite (21 h)	26	45	
26-DEZ-05	manhã (10 h)	26	48	46,6
	tarde (15 h)	30	52	
	noite (21 h)	25	40	
27-DEZ-05	manhã (10 h)	23	38	43,6
	tarde (15 h)	28	53	
	noite (21 h)	23	40	
28-DEZ-05	manhã (10 h)	24	37	46,6
	tarde (15 h)	27	53	
	noite (21 h)	25	50	
29-DEZ-05	manhã (10 h)	23	31	33,6
	tarde (15 h)	25	40	
	noite (21 h)	23	30	
30-DEZ-05	manhã (10 h)	22	31	35,6
	tarde (15 h)	25	45	
	noite (21 h)	22	31	
31-DEZ-05	manhã (10 h)	24	27	33
	tarde (15 h)	28	45	
	noite (21 h)	23	27	
1-JAN-06	manhã (10 h)	25	45	47,3
	tarde (15 h)	29	52	
	noite (21 h)	25	45	
2-JAN-06	manhã (10 h)	25	48	54,3
	tarde (15 h)	30	60	
	noite (21 h)	26	55	

**Tabela 2: Temperatura ambiente e da água aquecida nos dias de medição  
(continua)**

3-JAN-06	manhã (10 h)	26	43	48
	tarde (15 h)	30	56	
	noite (21 h)	27	45	
4-JAN-06	manhã (10 h)	26	45	51
	tarde (15 h)	30	63	
	noite (21 h)	26	45	
5-JAN-06	manhã (10 h)	26	45	50
	tarde (15 h)	30	60	
	noite (21 h)	26	45	
21-FEV-06	manhã (10 h)	25	45	52,3
	tarde (15 h)	32	57	
	noite (21 h)	26	55	
22-FEV-06	manhã (10 h)	25	50	54
	tarde (15 h)	30	57	
	noite (21 h)	27	55	
23-FEV-06	manhã (10 h)	24	55	57,3
	tarde (15 h)	33	60	
	noite (21 h)	27	57	
24-FEV-06	manhã (10 h)	24	45	51,6
	tarde (15 h)	33	60	
	noite (21 h)	27	50	
25-FEV-06	manhã (10 h)	25	45	53,3
	tarde (15 h)	34	60	
	noite (21 h)	29	55	
26-FEV-06	manhã (10 h)	26	48	51
	tarde (15 h)	34	50	
	noite (21 h)	29	55	
27-FEV-06	manhã (10 h)	26	45	52,3
	tarde (15 h)	34	55	
	noite (21 h)	29	57	
28-FEV-06	manhã (10 h)	27	45	51,6
	tarde (15 h)	34	60	
	noite (21 h)	29	50	

**Tabela 2: Temperatura ambiente e da água aquecida nos dias de medição (continua)**

1-MAR-06	manhã (10 h)	26	55	57,3
	tarde (15 h)	32	60	
	noite (21 h)	29	57	
2-MAR-06	manhã (10 h)	26	42	49
	tarde (15 h)	32	55	
	noite (21 h)	29	50	
3-MAR-06	manhã (10 h)	27	48	51
	tarde (15 h)	33	55	
	noite (21 h)	29	50	
4-MAR-06	manhã (10 h)	27	55	57,3
	tarde (15 h)	34	60	
	noite (21 h)	28	57	
5-MAR-06	manhã (10 h)	27	56	58
	tarde (15 h)	32	60	
	noite (21 h)	29	58	
6-MAR-06	manhã (10 h)	27	45	52,3
	tarde (15 h)	33	57	
	noite (21 h)	28	55	
7-MAR-06	manhã (10 h)	26	48	51
	tarde (15 h)	32	55	
	noite (21 h)	28	50	

**Tabela 3: Média das temperaturas ambiente e da água aquecida nos dias de medição**

	Média da temperatura ambiente °C	Média da temperatura da água aquecida °C
manhã (10 h)	25,3	44,5
tarde (15 h)	30,9	55,5
noite (21 h)	26,5	48

Foi observado uma temperatura ambiente média de 25,3°C pela manhã, 30,9°C à tarde e 26,5°C à noite, no período do estudo, seguida de temperatura da água aquecida nos mesmos horários, sendo 44,5°C pela manhã, 55,5°C à tarde e 48°C à noite, mantendo uma temperatura média da água no período de 49,3°C.

**Tabela 4: Água utilizada no banheiro**

Dias	Horário (H)		Tempo gasto no banho (min.)		Temperatura da água		Temperatura ambiente °C	Quantidade de água gasta (l)		
	Pessoa 1	Pessoa 2	Pessoa 1	Pessoa 2	Pessoa 1	Pessoa 2		Pessoa 1	Pessoa 2	Total (pes1+pes2+cano)
22/dez/05	18:05	18:14	2,03	5,22	55	55	29	4,47	11,48	17,62
23/dez/05	20:10	20:26	3,21	3,02	50	50	25	7,06	6,64	15,37
24/dez/05	19:20	19:30	6,08	5,15	60	60	28	13,37	11,33	26,37
25/dez/05	18:00	18:33	2,56	3,36	50	50	30	5,63	7,39	14,69
26/dez/05	19:30	19:50	2,57	5	45	45	26	5,65	11	18,32
27/dez/05	19:28	21:35	7,03	9,2	45	40	23	15,47	4,4	21,54
28/dez/05	17:50	20:47	3,04	2,53	55	43	28	6,69	5,56	13,92
29/dez/05	17:35	18:30	2,58	3,16	40	40	25	5,68	6,95	14,3
30/dez/05	19:17	20:40	3,43	7	45	40	25	7,55	15,4	24,62
31/dez/05	17:30	18:45	3,35	6,13	50	50	24	7,37	13,49	22,53
1/jan/06	18:55	19:10	4,27	3	53	53	25	9,4	6,6	17,67
2/jan/06	18:05	20:40	4,1	10	55	55	28	9,02	22	32,69
3/jan/06	18:04	19:00	3,36	5,4	50	50	29	7,39	11,88	20,94
4/jan/06	20:00	20:20	2	3,51	45	45	26	4,4	7,72	13,79
5/jan/06	19:20	19:30	2,28	3,1	45	45	26	5,02	6,82	13,51
21/fev/06	19:15	19:25	4,15	2,1	55	55	32	9,13	4,62	15,42
22/fev/06	18:40	18:50	5,2	2,5	60	60	30	11,44	5,5	18,61
23/fev/06	19:05	19:20	4,15	2,1	60	60	33	9,13	4,62	15,42
24/fev/06	18:50	19:10	7,15	2,1	55	55	33	15,73	4,62	22,02
25/fev/06	19:15	19:30	5,02	2,3	50	50	34	11,04	5,06	17,77
26/fev/06	17:10	17:23	4	2,05	63	53	34	8,8	4,51	14,98
27/fev/06	19:00	19:15	5	2,1	56	56	34	11	4,62	17,29
28/fev/06	18:30	18:41	3,5	2,15	60	60	33	7,7	4,73	14,1
1/mar/06	19:00	19:13	5,2	2	65	65	32	11,44	4,4	17,51
2/mar/06	18:30	18:38	4	2,05	50	50	32	8,8	4,51	14,98
3/mar/06	19:20	19:28	3,5	3	55	55	33	8,75	6,6	17,02
4/mar/06	18:50	19:10	5,1	2,15	68	68	34	11,22	4,73	17,62
5/mar/06	17:50	18:14	4,2	2	60	60	32	9,24	4,4	15,31
6/mar/06	19:00	19:12	3,3	2,03	57	57	33	7,26	5,06	14,09
7/mar/06	18:30	18:45	4,15	2	58	58	32	9,13	4,4	15,2

A média da temperatura ambiente foi de 29,6°C e da temperatura da água aquecida foi de 52,17°C.

Observar-se que a temperatura média ambiente dos dias de medição é de 29 °C e a temperatura média da água aquecida é de 52 °C. Isso quer dizer que a temperatura média da água no horário do banho, já que os banhos são praticamente seguidos, é de 52 °C. Ainda de acordo com a TAB. 4, a quantidade de água gasta em média nos banhos é de aproximadamente 18 litros, ou seja, se fosse gasta somente água aquecida sem a necessidade da mistura para deixá-la em temperatura agradável para o banho, seriam gastos diariamente, 36% do reservatório.

**Tabela 5: Água utilizada na cozinha**

Data	Horário (H)	Temperatura ambiente °C	Temperatura da água °C	Quantidade de água gasta (l) (gasta + cano)
22/DEZ/2005	10 às 11:15	27	40	3,97
23/DEZ/2005	10 às 11:10	28	39,8	4,02
24/DEZ/2005	9:45 às 11:30	27	34	4,22
25/DEZ/2005	11:10 às 12:00	30	45,3	3,87
26/DEZ/2005	10:45 às 11:20	28	45	2,87
27/DEZ/2005	10:00 às 11:15	23	36	4,97
28/DEZ/2005	10:00 às 11:15	24	31,6	5,07
29/DEZ/2005	10:20 às 11:30	23	27,8	5,43
30/DEZ/2005	10:55 às 12:00	25	31	3,32
31/DEZ/2005	10:00 às 11:20	24	27	4,37
1/JAN/2006	10:00 às 11:10	25	45	4,37
2/JAN/2006	10:00 às 11:00	25	43,5	3,07
3/JAN/2006	10:00 às 11:20	26	43	3,67
4/JAN/2006	10:00 às 11:00	26	45	3,77
5/JAN/2006	10:00 às 11:00	25	45	3,07
21/FEV/2006	10:00 às 11:05	25	55	3,47
22/FEV/2006	10:00 às 11:00	25	55	2,72
23/FEV/2006	10:00 às 11:00	24	60	2,8
24/FEV/2006	10:00 às 11:15	24	60	3,22
25/FEV/2006	10:00 às 11:00	25	60	3,22
26/FEV/2006	10:00 às 11:15	26	55	2,92
27/FEV/2006	10:00 às 11:00	26	55	3,12
28/FEV/2006	10:00 às 11:15	27	60	3,67
1/MAR/2006	10:00 às 11:00	26	60	2,97
2/MAR/2006	10:00 às 11:50	26	55	2,72
3/MAR/2006	10:00 às 11:00	27	55	3,02
4/MAR/2006	10:00 às 11:15	27	60	2,62
5/MAR/2006	10:00 às 11:50	27	60	2,92
6/MAR/2006	10:00 às 11:00	27	55	2,82
7/MAR/2006	10:00 às 11:15	26	55	2,88

*A média da quantidade de água gasta 3,5 litros/ dia, da temperatura da água 48°C e da temperatura ambiente 25,8°C.*

A TAB. 5 mostra que a temperatura média da água aquecida utilizada no horário do almoço é de aproximadamente 48°C e a temperatura ambiente é 26 °C. São utilizados aproximadamente 3,5 litros de água aquecida no almoço diariamente, ou seja, 7% do total do reservatório. Então, diariamente, são gastos aproximadamente 43% do reservatório de água aquecida.

**Tabela 6: Tempo para fervura das águas**

Dia	Quantidade	Temperatura ambiente °C	Temperatura água aquecida	Tempo para água aquecida ferver (90°C)	Temperatura água não aquecida	Tempo para água não aquecida ferver (100°C)	Economia em minutos
22/DEZ/2005	3,97	27	40	8,03	27	12	3,97
23/DEZ/2005	4,02	28	39,8	7,43	28	9,41	1,98
24/DEZ/2005	4,22	27	34	9,28	27	11,1	1,82
25/DEZ/2005	3,87	30	45,3	5,41	30	9,25	3,84
26/DEZ/2005	2,87	28	45	6,39	28	9,18	2,79
27/DEZ/2005	4,97	23	36	10,55	23	12,18	1,63
28/DEZ/2005	5,07	24	31,6	9,05	24	11,01	1,96
29/DEZ/2005	5,43	23	27,8	9,02	23	10,1	1,08
30/DEZ/2005	3,32	25	31	9,03	25	11	1,97
31/DEZ/2005	4,37	24	27	10,5	24	11,1	0,6
1/JAN/2006	4,37	25	45	6,56	25	9,11	2,55
2/JAN/2006	3,07	25	43,5	7,06	25	9,1	2,04
3/JAN/2006	3,67	26	43	7,07	26	9,09	2,02
4/JAN/2006	3,77	26	45	6,55	26	9,1	2,55
5/JAN/2006	3,07	25	45	6,56	25	9,11	2,55
21/FEV/2006	3,47	25	55	5,06	25	7,61	2,55
22/FEV/2006	2,72	25	55	5,05	25	7,63	2,58
23/FEV/2006	2,8	24	60	3,56	24	6,12	2,56
24/FEV/2006	3,22	24	60	3,57	24	6,11	2,54
25/FEV/2006	3,22	25	60	3,55	25	6,09	2,54
26/FEV/2006	2,92	26	55	5,04	26	7,5	2,46
27/FEV/2006	3,12	26	55	5,03	26	7,51	2,48
28/FEV/2006	3,67	27	60	3,25	27	6	2,75
1/MAR/2006	2,97	26	60	3,27	26	5,98	2,71
2/MAR/2006	2,72	26	55	4,9	26	7,51	2,61
3/MAR/2006	3,02	27	55	5,02	27	7,48	2,46
4/MAR/2006	2,62	27	60	3,24	27	5,97	2,73
5/MAR/2006	2,92	27	60	3,25	27	6,96	3,71
6/MAR/2006	2,82	27	55	5,03	27	7,48	2,45
7/MAR/2006	2,88	26	55	5,04	26	7,51	2,47

Há algumas diferenças nos tempos de fervura das águas devido a variáveis que não foram levadas em consideração, como a salinidade da água e outras. Pode-se notar que a economia de gás em minutos durante o período de



um mês foi de aproximadamente 73 minutos, ou seja, uma economia como se estivesse com o fogão ligado em chama alta durante uma hora e doze minutos.

## 5. CONCLUSÃO

Do exposto, conclui-se a economia de energia com a instalação do sistema foi de aproximadamente 26%. Segundo Pereira (2002) este é o valor do consumo de energia elétrica relativo ao aquecimento de água pra o banho no Brasil. Então, o sistema, apesar da pequena vazão do chuveiro e do curto tempo de banho, que para as pessoas que o utilizam, é satisfatório e atende ao que sua instalação propõe, que é a economia de energia elétrica.

Com relação à utilização da água aquecida na cozinha para cozimento de alimentos, foi comprovado que há uma pequena economia. O que não significaria muito na diminuição de gasto da renda familiar com o gás, mas, se o sistema está disponível e não interferirá nem prejudicará a quantidade de água gasta no banho, não há porque não utilizá-lo também na cozinha.

Com este trabalho foi possível comprovar que:

- a economia de energia elétrica proposta é facilmente percebida.
- o reservatório reduzido supre normalmente a quantidade de água utilizada tanto no banheiro quanto na cozinha.
- a economia de gás, apesar de pequena, é percebida quando o sistema é utilizado.

O sistema supre todas as condições de utilização sem precisar de nenhuma modificação. Anteriormente, o sistema era utilizado somente no banheiro. Com a pesquisa, pode-se comprovar que seu uso na cozinha também é viável. Como a utilização da água na cozinha e no banheiro consome apenas 43% do reservatório de água aquecida, há a possibilidade do uso da água quente para lavar vasilhas sem prejudicar os outros meios de utilização.

Apesar do reservatório ser muito pequeno para a área do coletor solar (o recomendado é entre 50 e 100 litros para cada  $m^2$ ) não se observou uma temperatura muito elevada da água na torneira (não foram feitas medições no

interior do reservatório), o que mostra que se pode trabalhar com relações menores que 50 litros/m<sup>2</sup>.

Aquecedores solares com apenas uma placa solar e um pequeno reservatório, de baixo custo, podem ser uma opção para o aquecimento de água da maior parte das casas brasileiras, pois oferece uma opção com bom custo-benefício para redução do consumo de energia elétrica.

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

ALVARENGA, C.A. Energia solar.Lavras: UFLA/FAEPE, 2001.123P.

BEZERRA, A. M. Como funciona um aquecedor solar.Igpromo eBooks, 2004.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Departamento de utilização de energia. Energia solar para aquecimento de água instruções para projetistas e instaladores. Belo Horizonte: editora CEMIG, 1995.

PEREIRA, E. M. D. Instalações solares de pequeno porte, parte A. 5 ed. Belo Horizonte: editora PUC-MG, 2002.

WOLFGANG. Palz. Energia solar e fontes alternativas de energia. São Paulo: editora Limitada, 1981.358P.

AULA 41. Fontes alternativas de energia. Acesso em: 10 jan. 2005.  
[www.bibvirt.futuro.usp.br/textos/biologicas/ciencias/tc2000/cir1g41pdf](http://www.bibvirt.futuro.usp.br/textos/biologicas/ciencias/tc2000/cir1g41pdf)

[www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/esolar/esolar.html](http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/esolar/esolar.html). Acesso em 16 dez. 2005

[www.potemg.hpg.ig.com.br](http://www.potemg.hpg.ig.com.br). Acesso em 20 maio. 2006

[www.aondevamos.eng.br/textos/texto08.htm](http://www.aondevamos.eng.br/textos/texto08.htm). Acesso em 16 dez. 2005.

## ANEXO



Imagem 1-Sistema de aquecimento solar instalado no domicílio (vista lateral)



Imagem 2 - Sistema de aquecimento solar instalado no domicílio



Imagem 3 - Sistema de aquecimento solar instalado no domicílio



Imagem 4 - Chuveiro que utiliza a água aquecida





Imagem 5 - Torneira da cozinha que utiliza a água aquecida