

**ROBERTO LEVI SPRENGER**

**APLICAÇÃO DO SISTEMA FECHADO NO AQUECEDOR SOLAR DE  
ÁGUA DE BAIXO CUSTO PARA RESERVATÓRIOS RESIDENCIAIS  
ISOLADOS TERMICAMENTE: CONCEPÇÃO E COMISSONAMENTO  
DE UM SISTEMA-PILOTO DE TESTES**

Dissertação apresentada como requisito parcial à  
obtenção do grau Mestre em Construção Civil, do  
Programa de Pós-graduação em Construção Civil,  
Setor de Tecnologia da Universidade Federal do  
Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid

**CURITIBA  
Março de 2007**

## TERMO DE APROVAÇÃO

ROBERTO LEVI SPRENGER

APLICAÇÃO DO SISTEMA FECHADO NO AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA DE BAIXO CUSTO PARA RESERVATÓRIOS RESIDENCIAIS ISOLADOS TERMICAMENTE: CONCEPÇÃO E COMISSIONAMENTO DE UM SISTEMA-PILOTO DE TESTES

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau Mestre em Construção Civil, do Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid  
Doutorado Universität Karlsruhe - Alemanha, 1996.  
Professor do Programa de Pós Graduação em Construção Civil, UFPR.

Prof. Dr. Marcelo Risso Errera  
Doutorado Universidade de Duke – EUA, 1999.  
Professor do Programa de Pós Graduação em Eng. Ambiental, UFPR.

Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares  
Doutorado UFSC, 2006  
Professor do CEFET-RJ

Curitiba, 28 de março de 2007

A minha esposa Raquel e a meus filhos Sthephany, Melanye e Bryan.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus filhos que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e incentivando.

A minha esposa Raquel pela sua compreensão e estímulo.

Ao meu orientador Professor Dr. Aloísio Leoni Schmid, que com sua dedicação incansável, acreditou no meu trabalho apesar das minhas dificuldades e limitações.

Ao professor Dr. Aguinaldo Santos por ter incentivado e propiciado o uso da casa 1.0 para a realização do experimento.

A empresa Aquamec por gentilmente ter cedido o painel solar para a realização do experimento.

A Deus por ter me deixado experimentar mais esta realização.

## SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	VII
RESUMO.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
CAPÍTULO I.....	1
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 PROBLEMA DA PESQUISA.....	1
1.2 DEFINIÇÃO DA PESQUISA.....	1
1.3 OBJETIVO.....	3
1.3.1 <i>Objetivo Principal</i> .....	3
1.3.2 <i>Objetivo Secundário</i> .....	3
1.4 <i>DEFINIÇÃO DO PROTÓTIPO</i> .....	4
1.5 HIPÓTESE.....	5
1.5.1 <i>Hipótese Principal</i> .....	5
1.5.2 <i>Hipótese Secundária</i> .....	5
1.6 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA.....	5
1.6.1 <i>Contribuição e aspectos tecnológicos</i> .....	5
1.6.2 <i>Contribuição e aspectos econômicos</i> .....	7
1.6.3 <i>Contribuição e aspectos sociais</i> .....	8
1.6.4 <i>Contribuição e aspectos ambientais</i> .....	9
1.7 MÉTODO DE PESQUISA.....	12
1.7.1 <i>Caracterização do problema</i> .....	12
1.7.2 <i>Tendências da pesquisa</i> .....	12
1.7.3 <i>Definição do método</i> .....	14
1.8 DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DA PESQUISA.....	16
1.9 UNIDADE DE ANÁLISE.....	19
1.10 LIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	20
1.11 DEFINIÇÃO DO PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS.....	20
1.11.1 <i>Procedimentos e técnicas de coleta dados</i> .....	21
1.11.2 <i>Questões de estudo</i> .....	21
1.11.3 <i>Apresentação da análise e relatórios</i> .....	21
1.12 MÉTODO DE ANÁLISE.....	22
1.12.1 <i>Definição da estratégia de análise</i> .....	22
1.12.2 <i>Definição da Estratégia de Validação</i> .....	22
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>24</b>
<b>2 ENERGIA SOLAR PARA O AQUECIMENTO DE ÁGUA.....</b>	<b>24</b>
2.1 O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.....	24
2.2 ENERGIA SOLAR.....	27
2.3 AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA.....	31
2.3.1 <i>O reservatório térmico (boiler)</i> .....	32
2.3.2 <i>O coletor solar plano</i> .....	33
2.4 AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA DE BAIXO CUSTO.....	37
2.5 ISOLANTES TERMICOS.....	40
2.6 CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA NO SISTEMA DE AQUECIMENTO.....	42
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>45</b>
<b>3. DESCRIÇÃO DA PESQUISA.....</b>	<b>45</b>
3.1 O LOCAL DA PESQUISA.....	45

3.2	DESCRIÇÃO DA CASA POPULAR - OBJETO DE ESTUDO.....	46
3.3	O SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA PROPOSTO.....	46
3.3.1	<i>Sistema direto</i> .....	47
3.3.2	<i>Sistema indireto</i> .....	47
3.3.3	<i>Sistema passivo</i> .....	48
3.3.4	<i>Reservatório térmico misto</i> .....	48
3.3.5	<i>Pré-aquecedor de água para o chuveiro elétrico</i> .....	49
3.3.6	<i>Montagem feita pelo usuário</i> .....	50
3.4	MONTAGEM DO EXPERIMENTO.....	54
3.5	MONTAGEM DO ISOLAMENTO TÉRMICO DO RESERVATÓRIO.....	57
3.5.1	DIMENSIONAMENTO DO ISOLAMENTO TÉRMICO.....	58
3.6	CARACTERÍSTICAS DO COLETOR SOLAR E SUA FIXAÇÃO SOBRE O TELHADO.....	61
3.7	CARACTERÍSTICAS DA SERPENTINA E TUBULAÇÕES.....	64
3.8	CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO.....	65
3.9	PROBLEMAS DE MONTAGEM E INSTALAÇÃO.....	66
3.10	O SISTEMA DE AQUECIMENTO COMO UM PRODUTO.....	71
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>75</b>
<b>4. COLETA DE DADOS.....</b>		<b>75</b>
4.1	SISTEMA DE COLETA DE DADOS.....	75
4.2	ANÁLISE DOS DADOS.....	81
4.3	MODELO FÍSICO DO SISTEMA COLETOR- RESERVATÓRIO.....	82
4.4	ESTIMATIVA DA EFETIVIDADE DO TROCADOR DE CALOR.....	86
4.5	ESTIMATIVA DE RENDIMENTO GERAL DO SISTEMA.....	87
4.5	EXEMPLO DE SÉRIES DE DADOS OBTIDOS.....	90
<b>CAPÍTULO V.....</b>		<b>92</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>		<b>92</b>
5.1	CONCLUSÕES SOBRE OS DADOS.....	92
5.2	CONCLUSÃO SOBRE O SISTEMA.....	93
5.3	INDICAÇÃO PARA OUTRAS PESQUISAS NA ÁREA.....	94
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>95</b>
<b>APÊNDICE.....</b>		<b>99</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<i>Ilustração 1 - Energia Elétrica: Estrutura da Oferta Interna Brasil - 2005</i>	10
<i>Ilustração 2 - Sistema convencional – caixa de água sem isolamento térmico</i>	16
<i>Ilustração 3 - Sistema com aquecimento solar – reservatório com isolamento térmico.</i>	17
<i>Ilustração 4 - Abastecimento convencional da caixa d'água</i>	18
<i>Ilustração 5 - Abastecimento da caixa evitando a mistura da água quente com a fria.</i>	18
<i>Ilustração 6 – Oferta Interna de Energia no Brasil em 2006</i>	24
<i>Ilustração 7 - Gráfico do Consumo final no setor residencial</i>	26
<i>Ilustração 8 - Iluminação da Terra em 21 de junho.</i>	29
<i>Ilustração 9 - Reservatório Térmico (Boiler)</i>	33
<i>Ilustração 10 - Construção de um Coletor Solar Plano.</i>	34
<i>Ilustração 11 - Instalação do boiler em nível com a caixa d'água.</i>	36
<i>Ilustração 12 – Casas construídas para pesquisas - Centro Politécnico da UFPR</i>	45
<i>Ilustração 13 - Casa aonde foi realizado o experimento - Centro Politécnico da UFPR</i>	46
<i>Ilustração 14 - Serpentina colocada dentro do reservatório.</i>	51
<i>Ilustração 15 - Mangueira automotiva fixa a serpentina na tubulação de CPVC</i>	52
<i>Ilustração 16 - Cachimbo para a colocação do líquido de transferência.</i>	53
<i>Ilustração 17 – Reservatório isolado termicamente e outro sem isolamento.</i>	54
<i>Ilustração 18 – Entrada do barrilete de alimentação do chuveiro adaptado o dispositivo pescador.</i>	55
<i>Ilustração 19 – Redutor de mistura - Faz a água fria entrar por baixo evitando a mistura.</i>	56
<i>Ilustração 20 - Esquema de montagem do Sistema de aquecimento solar com isolamento do reservatório.</i>	57
<i>Ilustração 21 -Espaço limitado sob o telhado e dificuldades para entrada de materiais entre as ripas das telhas.</i>	58
<i>Ilustração 22-Gráfico simulando o aquecimento da água dentro do reservatório</i>	60
<i>Ilustração 23 – Esquema do formato cônico e arredondado do reservatório</i>	60
<i>Ilustração 24 - Reservatório de 500 litros utilizado no experimento.</i>	61
<i>Ilustração 25 – Detalhe da fixação do coletor solar sobre o telhado</i>	62
<i>Ilustração 26 – Angulo de inclinação da placa acompanhado o telhado</i>	63
<i>Ilustração 27 – Detalhe do datalogger posicionado na estrutura de madeira do telhado,</i>	65
<i>Ilustração 28 – Termômetro digital usado como apoio nas leituras complementares.</i>	66
<i>Ilustração 29– Braçadeira metálica apresentando sinais de oxidação</i>	67
<i>Ilustração 30 – Tubulação da serpentina apresentando camada de zinabre.</i>	68
<i>Ilustração 31 - Revestimento de EPS do reservatório – a cinta metálica prende as placas</i>	69
<i>Ilustração 32 - Referente às medições do dia 27 a 29 de setembro de 2006.</i>	76
<i>Ilustração 33 - Referente as medições dos dias 13 a 19 de dezembro de 2006.</i>	79
<i>Ilustração 34 - Referente as medições dos dias 27 de dezembro de 2006 a 08 de janeiro de 2007.</i>	80
<i>Ilustração 35 -Gráfico de dados sobre o experimento do dia 24/02/2007</i>	91
<i>Ilustração 36 - Esquema de corte e detalhamento dos encaixes das chapas de EPS.</i>	103
<i>Ilustração 37 - Esquema de corte das chapas de EPS e detalhamento dos encaixes para as laterais do reservatório.</i>	104
<i>Ilustração 38 - Esquema de corte das chapas de EPS para a tampa do reservatório.</i>	105

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Dados Mundias de eletricidade.....</i>	11
<i>Tabela 2 – Balanço Energético Nacional – BEN 2006.....</i>	25
<i>Tabela 3 - Consumo Elétrico dos aparelhos domésticos.....</i>	27
<i>Tabela 4 -Relação de Material utilizado na montagem do experimento.....</i>	74
<i>Tabela 5 – Rendimento do trocador de calor.....</i>	86
<i>Tabela 6 - Tabela de dados sobre o experimento do dia 24/02/2007.....</i>	90
<i>Tabela 7- Exemplos das leituras feitas no experimento do dia 24/02/2007.....</i>	100

## RESUMO

Dos sistemas de aquecimento de água utilizados no Brasil, os chuveiros elétricos são considerados os mais populares e os que apresentam menores dificuldades de instalação. Porém, são os equipamentos que têm o maior peso no consumo de energia elétrica nas residências populares, sendo considerados um dos principais responsáveis pelo pico de demanda de energia no horário de ponta das 18 às 20 horas. Os aquecedores solares de água de baixo custo (ASBC) vêm sendo utilizados junto ao chuveiro elétrico como uma alternativa para reduzir este consumo. Para que o seu uso seja mais intenso, entende-se que seja necessário popularizar estes sistemas, deixando-os mais atrativos para os usuários. Esta pesquisa mostra uma alternativa para os ASBC com o emprego do sistema fechado na transmissão de calor entre o coletor e o reservatório. Usa a própria caixa de água para reservar a água quente e a água fria em um reservatório único. Utiliza o isolamento térmico ao redor do reservatório e mostra dispositivos que facilitam a montagem do sistema pelo usuário, buscado a concepção de um protótipo do tipo “faça você mesmo”. Apresenta as modificações que foram analisadas com auxílio de simulação para verificar o seu desempenho, além de relatar as peculiaridades do sistema e os problemas e soluções encontradas na sua utilização.

Palavras chaves: Aquecimento solar de água, aquecedor solar de baixo custo, sistema fechado em aquecedores solares, isolamento térmico de reservatórios.



## ABSTRACT

Of the systems used for water heating in Brazil, the electric shower is considered the most popular and the one that presents the least installation difficulties. However, it is the equipment with the biggest weight in the consumption of electric energy in the popular residences, being considered one of main causes of the power demand to peak between 6 PM and 8 PM. The low-cost solar water heaters (ASBC) being used close to the electric showers present an alternative to reduce this consumption. In order to make its use more intensive, it is necessary to popularize that system, making it more attractive for the users. This research shows an alternative to the ASBC with the application of a closed-loop system in the heat transfer between the collector and the reservoir. It uses the conventional cold water reservoir to store both hot water and cold water. It uses the thermal isolation around of the reservoir and shows devices that support the assembly of the system for the user, as a do-it-yourself concept was pursued. Some variations proposed to enhance efficiency are analyzed by means of computer modeling. The peculiarities of the system and the problems and solutions found in its development are reported, too.

**Keys words:** Solar water heating, low cost solar water heater, closed-loop solar heaters, thermal insulation of reservoirs.

## CAPÍTULO I

### 1. INTRODUÇÃO

#### 1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

*Como diminuir o consumo de energia elétrica residencial mantendo o conforto de banho para os usuários dos chuveiros elétricos?*

Reduzir o consumo de energia elétrica das residências é uma maneira de ajudar no desenvolvimento do país, pois a energia poupada pode ser empregada na indústria aumentando a produção e conseqüentemente gerando mais empregos e renda para os trabalhadores. Também é possível, com esta ação, adiar os gastos com a construção de novas usinas geradoras de energia, além de deixar o sistema elétrico menos vulnerável a panes.

Porém, para resolver este problema, entende-se que não é suficiente apenas reduzir o consumo de energia do chuveiro elétrico, pois se fosse desta maneira bastaria colocá-lo no modo desligado. É necessário, para o usuário, que o desempenho deste tipo de instalação proporcione o melhor conforto possível com o mínimo consumo de energia. A economia conseguida na conta de energia elétrica não pode prejudicar a qualidade de banho do usuário do sistema elétrico.

#### 1.2 DEFINIÇÃO DA PESQUISA

Buscando resolver o problema proposto, dois fatores foram levados em conta. O primeiro é que a economia energética conseguida individualmente, em cada residência, não é significativa quando comparada à demanda global de energia do país. Logo, para se conseguir uma economia realmente significativa é necessário implantar esta solução em uma grande quantidade de residências. O segundo fator é que o chuveiro elétrico é um aquecedor de água de ampla utilização no Brasil, estando presente principalmente nas residências da população de baixa renda. É esta faixa da sociedade a que mais se beneficiaria com a redução do consumo desta

energia. Estes dois fatores levaram a uma mesma conclusão: qualquer solução proposta deve ter uma característica popular que seja atrativa para a sociedade. Desta forma, procurou-se um sistema que tivesse a facilidade de instalação similar a de um chuveiro elétrico comum, e que também não se distanciasse muito em relação ao seu custo.

Para iniciar a pesquisa, diversas soluções foram cogitadas. Desde melhorias qualitativas nos chuveiros elétricos até a sua substituição por outros tipos de sistemas de aquecimento, com o emprego de outras fontes da energia. Porém, no direcionamento da pesquisa, optou-se pelo uso da energia solar considerando que esta é uma energia abundante, apesar de apresentar diversos custos de implantação principalmente em relação aos dispositivos de captação, transporte e armazenamento da energia obtida. No sentido de reduzir estes custos, procurou-se usar o Aquecedor Solar de Água de Baixo Custo (ASBC). Substituir materiais ou equipamentos por outros mais baratos é a principal característica do ASBC, sendo o modo pelo qual se consegue reduzir o custo do sistema tradicional de aquecimento solar de água. Oliva (1999) define que os ASBC são todos os sistemas de baixo investimento inicial, quando comparados aos aquecedores solares tradicionais. “*Baixo custo*” não significando necessariamente “*baixa eficiência*”, apesar de, em muitos casos, haver redução relativa do rendimento térmico ou da vida útil.

Segundo Oliva (1994) a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) foi a responsável pela criação do projeto Aquecedor Solar de Baixo Custo, graças às pesquisas realizadas desde 1989, visando o aproveitamento da energia solar para aquecimento de água doméstico. Deste projeto, surgiu a idéia de um chuveiro elétrico de baixa potência, auxiliado por um aquecedor solar de baixo custo. A tecnologia foi denominada de Pré-Aquecedor Solar de Água para Chuveiros Elétricos de Potência Reduzida. Este sistema foi aprimorado e difundido com as pesquisas de Woelz (2006) da Sociedade do Sol (Sosol) e de Rispoli (2001), sendo conhecido hoje apenas como ASBC.

Este sistema de aquecimento consiste em pré-aquecer a água do reservatório, antes de passar no chuveiro elétrico. Neste caso apenas uma parte da energia elétrica gasta no chuveiro é substituída pela energia solar. O usuário do sistema pode obter uma maior ou menor redução do consumo de energia elétrica dependendo da maneira como use este aquecedor. Como a água chega pré-aquecida ao chuveiro o usuário pode:

- nos dias muito frios, quando se necessita a máxima potência do chuveiro, conseguir uma temperatura de banho ainda maior, porém mantendo o mesmo consumo de energia elétrica;
- nos dias temperados, buscar a posição de menor consumo do chuveiro (modo verão), mesmo que estes dias não estejam muito quentes, pois a temperatura da água que sairá do chuveiro estará mais aquecida, como se estivesse ligado na posição de maior consumo (modo inverno);
- nos dias muito quentes, usar somente a água pré-aquecida desligando totalmente o chuveiro elétrico.
- se o chuveiro estiver associado a um regulador de potência, ter uma economia ainda maior simplesmente ajustando a temperatura de banho por este equipamento.

Quando se usa o ASBC não é necessário instalar um aquecedor auxiliar, sendo que o próprio chuveiro elétrico pode substituir este aquecedor. Já no aquecedor solar tradicional, este é um item obrigatório para se obter água quente nos períodos longos em que não se tenha a energia do Sol.

Nesta pesquisa partiu-se do conhecimento pré-existente sobre o ASBC e foram desenvolvidos novos conceitos com a intenção de diminuir ainda mais o seu custo, aumentar a sua eficiência e também tornar mais fácil a sua instalação pelo usuário.

### 1.3 OBJETIVO

#### 1.3.1 Objetivo principal

*Verificar experimentalmente o funcionamento, a aplicabilidade e a capacidade de redução do gasto de energia elétrica residencial de um protótipo modificado do aquecedor solar de água de baixo custo.*

#### 1.3.2 Objetivo secundário:

*Iniciar o estudo da industrialização do protótipo pesquisado prevendo a sua futura implantação, caracterizando-o de modo a facilitar o seu emprego em um grande número de moradias, inclusive tornando-o acessível à população de baixa renda.*

## 1.4 DEFINIÇÃO DO PROTÓTIPO

Para contemplar estes dois objetivos, partiu-se para o estudo das mudanças necessárias no ASBC com a intenção de formar um novo sistema. Na elaboração deste protótipo os seguintes pontos foram definidos como importantes:

Para reduzir o custo de fabricação do sistema:

- retirar o reservatório de acumulação (*boiler*);
- substituí-lo pelo uso de apenas um reservatório comum servindo tanto para água fria como para a água quente;
- usar isolamento térmico no reservatório comum para evitar a perda de calor (para manter a temperatura constante por um período prolongado);
- substituir o coletor solar por alternativos (fora do escopo desta pesquisa);
- produzir em escala os componentes (fora do escopo desta pesquisa).

Para facilitar a instalação e a montagem do sistema:

- usar pré-montagens como um kit de instalação.
- empregar materiais que são rapidamente montados, com substituição da tubulação de cobre pelo plástico.
- usar elementos de ligação que possam ser instalados pelo próprio usuário, de modo a não ser necessário o uso de mão de obra especializada;
- substituir o sistema direto pelo sistema indireto na transmissão do calor entre o coletor solar e o reservatório, possibilitando que o *kit* de instalação seja inserido no reservatório sem a necessidade de furos ou conexões.

Levantados estes pontos, foi possível elaborar as hipóteses que fundamentam esta pesquisa.

## 1.5 HIPÓTESE

### 1.5.1 Hipótese principal

*Um sistema empregando um ASBC associado a um reservatório comum termicamente isolado e com a transmissão de calor (entre o coletor o reservatório) feita indiretamente é funcional e permite a redução do consumo de energia elétrica do chuveiro.*

### 1.5.2 Hipótese secundária

*É possível desenvolver um sistema de aquecimento de água que use um ASBC pré-montado aonde o próprio usuário possa fazer a instalação.*

## 1.6 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

### 1.6.1 Contribuição e aspectos tecnológicos

Dos sistemas de aquecimento de água utilizados no Brasil, o chuveiro elétrico é o que apresenta maior facilidade de instalação. Pode utilizar apenas tubulações de água fria usando tubos e conexões de PVC (cloreto de polivinila) que são facilmente emendados, um registro de pressão e um braço de chuveiro (tubo terminal em alumínio ou PVC). Seu custo de instalação é normalmente o menor de todos os sistemas de aquecimento. Segundo Prado & Gonçalves (1998), nos últimos 30 anos tem aumentado o uso de chuveiros elétricos nas habitações brasileiras devido às vantagens de serem adquiridos em qualquer parte do país e terem um baixo custo inicial de instalação. Acrescenta-se ainda a facilidade de instalação dos mesmos. Todos esses fatores contribuíram para popularizar o conforto do banho quente.

Segundo Rodel et al. (2006), o chuveiro elétrico é, do ponto de vista estritamente energético, extremamente eficiente, com uma alta taxa de conversão de energia elétrica em calor e baixo desperdício, visto que é aquecida apenas a água a ser imediatamente utilizada.

De acordo com a pesquisa de posse de eletrodomésticos e hábitos de consumo (ano base 2005), realizada pelo Procel (2006), o chuveiro elétrico está presente em 73,1% das residências do país. Segundo Cardoso (2005) além dos chuveiros elétricos, os outros tipos de aquecimento de água têm pequena participação, sendo bastante comum, em residências da região Norte e Nordeste, não se encontrar nenhum tipo de aquecimento de água. Entretanto, nas regiões mais frias e populosas do país, sua utilização atinge praticamente 100% das residências. Pesquisa feita na área da Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL (1997) mostrou que a quase totalidade (98,3%) das residências opta pelo uso de chuveiros elétricos para banho, existindo em média 1,05 chuveiros elétricos por domicílio, com predominância de uso no horário de ponta.

O grande número de chuveiros elétricos já instalados no Brasil, os custos mais elevados de implantação de outros sistemas de aquecimento e a dificuldades de instalação destes sistemas dificultam a substituição dos chuveiros elétricos por outros tipos de aquecedores de água, que utilizem outras fontes de energia. Uma das alternativas que pode ser empregada é o uso de aquecedores solares de água de baixo custo. Este tipo de aquecedor solar foi o ponto de partida desta pesquisa, porém esta abrangeu ainda o isolamento térmico do reservatório comum, buscando uma otimização do sistema de pré-aquecimento da água em substituição total do boiler (reservatório para água quente feito em aço inoxidável e com isolamento térmico interno).

A intenção desta pesquisa em reduzir o consumo de energia elétrica residencial, mantendo o conforto do usuário, e contribuir para a diminuição do problema da demanda de potência no horário de ponta, é um exemplo de uma ação de eficiência energética pelo lado da demanda. Este tipo de ação tem impacto, para as companhias, no planejamento da distribuição e na comercialização de energia elétrica. Essa metodologia é conhecida por GLD - Gerenciamento pelo Lado da Demanda (do inglês "DSM - Demand-Side Management"). Segundo Oliva (1999) para se atuar no perfil de consumo da energia elétrica no aquecimento residencial de água, visando modular a curva de carga deste usuário final, deve-se alterar os hábitos dos consumidores e/ou substituir equipamentos. As atividades de GLD constituem ações pelo lado da demanda de energia, isto é, pelo lado do consumidor. São ações implementadas diretamente ou estimuladas indiretamente pela concessionária de energia, sobre o mercado no sentido de modificar e racionalizar a

forma com que a energia é utilizada pelos consumidores. Resultam em alteração na configuração da curva de carga, aumentando o fator de carga do sistema elétrico da concessionária e alterando as taxas de crescimento do consumo.

Ainda dentro do aspecto tecnológico, implementar mudanças em um sistema já existente, no caso o ASBC, requer o planejamento sob diversos aspectos. Nesta pesquisa procurou-se dar um encaminhamento no sentido de desenvolver um produto otimizado sob o ponto de vista econômico, envolvendo aspectos energéticos e de *design*. O desenvolvimento de *kits* do tipo “faça você mesmo” é uma forma de facilitar o acesso a este produto pela população de baixa renda. Outros projetos de pesquisa usando tais *kits* foram desenvolvidos no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da UFPR e também no Programa de Pós-Graduação em Design da UFPR, principalmente com o intuito de melhorar os aspectos diversos da habitação de interesse social. Destaca-se entre eles o projeto de pesquisa, coordenado pelo professor Dr. Aguinaldo Santos, intitulado *Kits do-it-yourself* para habitação de interesse social, desenvolvido a partir de 2005 com apoio do Programa Habitare da Finep, COHAPAR e FUNPAR.

#### 1.6.2 Contribuição e aspectos econômicos

Há duas justificativas desta pesquisa no aspecto econômico. Uma delas é um maior aproveitamento das instalações elétricas mediante nivelamento da curva de demanda. Se forem diminuídas as desigualdades de demanda ao longo de um dia, será postergado o investimento em maior estrutura de transmissão e distribuição.

Outra justificativa é devida à necessidade de se racionalizar o gasto de energia elétrica nos chuveiros residenciais. Segundo o Balanço Energético Nacional do Ministério das Minas e Energias (2006), o gasto com energia no setor residencial é da ordem de 11,1% de toda a energia produzida no país. Dentro deste setor, 32,8% corresponde a energia elétrica.

Segundo Oliva (1999), a curva de carga diária do sistema de distribuição de energia elétrica do sistema interligado então abrangendo o Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, apresenta aumento de demanda de potência no período entre 18 e 20 horas (horário de ponta). O pico de demanda ocorre em torno de 19 horas. O segmento de mercado residencial responde por significativa parcela desse pico. De acordo com a pesquisa do Procel (2006), o chuveiro elétrico é responsável por cerca de 60% da carga do sistema nas horas de pico de consumo. Apesar de ser um



dispositivo simples e barato para o consumidor, em função do seu horário de uso, que ocorre principalmente no período de ponta, acaba aumentando a demanda de energia do sistema. A causa deste aumento de demanda acontece pela sua elevada potência em um reduzido período de uso, apresentando baixo fator de carga.

Este baixo fator de carga do equipamento leva a uma pequena participação no faturamento das concessionárias, mas elevado investimento associado ao atendimento da demanda máxima. Segundo o Green Solar da PUC Minas (2003), os chuveiros elétricos têm uma ampla variação de preços e potências, podendo, nos modelos mais simples e de menor potência (4400W), custar cerca de US\$ 15,00 e, em modelos mais sofisticados com controle eletrônico e alta potência (8200W), atingir cifras superiores a US\$ 350,00. Segundo Cardoso et al. (2005) verifica-se que, apesar do baixo custo para o usuário final, para as concessionárias o uso de um chuveiro elétrico representa valores da ordem de US\$ 900,00 para cada chuveiro instalado, considerados apenas os investimentos na geração.

Além do aspecto energético, com esta pesquisa procura-se dar uma contribuição no estudo e aperfeiçoamento do sistema de aquecimento solar de baixo custo. Estes estudos podem gerar condições para incrementar a industrialização do setor de aquecedores solares no país.

### 1.6.3 Contribuição e aspectos sociais

Em habitações de interesse social, nas faixas de baixa renda, a despeito de existir tarifas sociais de energia elétrica, tal parcela de despesas é um item importante que não pode deixar de ser levado em consideração no orçamento total das famílias. Segundo a pesquisa do Procel (2006) o chuveiro elétrico é responsável pela maior fatia do consumo de energia de uma casa, representando 23,9% do consumo. Nota-se que após o racionamento de 2001 houve uma diminuição neste consumo caindo para 22,9%. Porém as chamadas fontes alternativas de energia não estão economicamente ao alcance da maior parte da população. Atualmente no Brasil apenas as camadas mais privilegiadas da sociedade podem desfrutar do uso dos aquecedores solares de água. Segundo Healey (1997) nos países europeus o custo de instalação de um sistema de aquecimento solar de escala comercial (coletor de placa plana), usado para aquecimento doméstico, é entre 430 a 646 dólares por metro quadrado de área do coletor. O custo de operação e manutenção

durante a vida do sistema é acrescido de aproximadamente 12%, ou 64,58 dólares por metro quadrado, do custo de instalação do sistema solar. Estes valores podem diferir em relação ao Brasil, pelo custo da mão de obra, materiais empregados e da tecnologia embutida no produto. Deve-se ressaltar também o fato de que o aquecedor solar necessite um aquecedor auxiliar (a gás ou elétrico), o que aumenta ainda mais o custo de instalação.

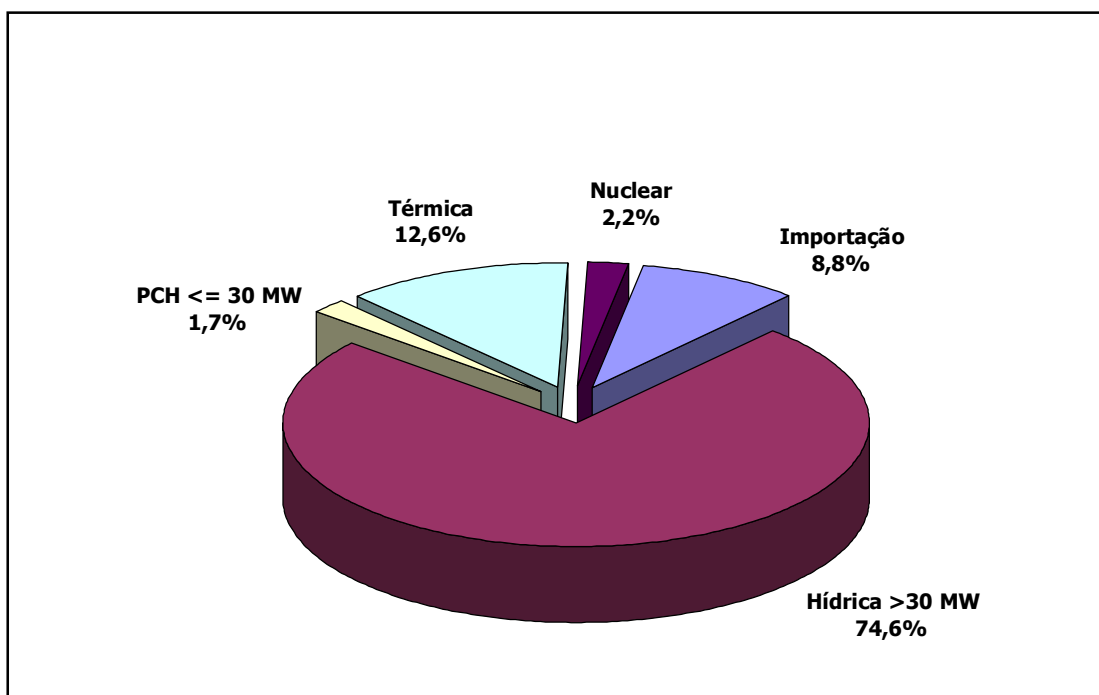
Estes fatores tornavam o uso de aquecedores solares inviáveis para uma grande parte da população com menor poder aquisitivo. Este quadro começou a mudar inicialmente pela região sudeste do país. Principalmente devido às pesquisas e projetos usando aquecedores solares para água que surgiram nestas regiões. É o caso do “projeto Contagem”, desenvolvido pelo Green Solar da PUC Minas (2003) em parceria com o PROCEL/ Eletrobras. Foram beneficiadas neste projeto 99 famílias, moradores do conjunto habitacional do bairro Sapucaias, em Contagem, Região Metropolitana de Belo Horizonte, que trocaram o chuveiro elétrico pelo aquecedor solar. De acordo com os dados da pesquisa, os sistemas de aquecimento solar propiciaram aos moradores do bairro Sapucaias uma economia de 25,5%, do uso de energia elétrica. No Rio de Janeiro a Light (concessionária local de distribuição de energia elétrica) instalou no ano de 2005, gratuitamente, em Nova Iguaçu e Duque de Caxias, 2750 sistemas de aquecimento solar para a comunidade de baixa renda. Estes sistemas contam com um coletor solar, um reservatório de água quente e o chuveiro elétrico para complementar o aquecimento da água, porém com a sua potência limitada a menos da metade da potência tradicional.

Com esta pesquisa procura-se também a diminuição dos custos de implantação dos sistemas de aquecimento solar para água, na medida em que se retira o uso do reservatório térmico conhecido como *boiler* e se adota o chuveiro elétrico como aquecedor complementar. Desta forma, procura tornar mais acessível este sistema aquecimento, pelo menos para uma parte maior da população.

#### 1.6.4 Contribuição e aspectos ambientais

A principal característica do sistema de aquecimento solar, em relação aos outros sistemas, é que este utiliza uma de fonte de energia de baixo impacto sobre o meio ambiente. Tanto o gás liquefeito de petróleo (GLP) como o gás natural provocam durante a sua queima a emissão de gás carbônico, e são fonte

esgotáveis. Já a energia elétrica apesar de ser considerada uma energia limpa por não provocar emissão de gases durante o seu transporte e uso, tem na sua geração os maiores problemas. No Brasil quase que invariavelmente está associada a questões polêmicas na inundação de área para a construção de represas. Estas questões incluem a diminuição da cobertura vegetal, destruição de ecossistemas, extinção de espécies, dano à paisagem natural, emissão de gases causadores do efeito estufa pela fermentação da matéria orgânica nos reservatórios, epidemias, alterações no clima regional e importantes impactos sociais. Na sua geração por fonte térmica, quando é baseada em combustíveis fósseis, está diretamente associada ao fenômeno do aquecimento global. Já na sua geração usando reatores nucleares está associada a riscos diversos e inclui a dificuldade do destino final de seus resíduos.



**Ilustração 1-** Energia Elétrica: Estrutura da Oferta Interna Brasil - 2005

**Fonte: EPE (2006)**

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2006), 74,6 % da eletricidade gerada no Brasil vem de fontes hidráulicas.

A crise de energia brasileira ocorrida em 2000 e 2001 aconteceu principalmente devido ao impacto do período de seca sobre o sistema de geração de energia hidrelétrica. O aumento do consumo de energia do país força a construção

de novas usinas de geração, e dada a exigüidade dos cronogramas, opta-se pela geração termelétrica a gás ou outro combustível fóssil. Os impactos ambientais desta forma de geração de energia incluem aquecimento global, chuva ácida, doenças pulmonares entre outros.

<b>Dados Mundiais de Eletricidade</b>		
<b>Ano 2004</b>		
		<b>%</b>
<b>Produtores</b>	<b>TWh</b>	<b>Mundial</b>
Estados Unidos	4.148	23,8
China	2.200	12,6
Japão	1.071	6,1
Rússia	930	5,3
Índia	668	3,8
Alemanha	610	3,5
Canadá	598	3,4
França	567	3,2
Reino Unido	393	2,3
Brasil	387	2,2
Demais Países	5.878	33,7
<b>Mundial</b>	<b>17.450</b>	<b>100,0</b>

**Tabela 1 – Dados Mundiais de eletricidade**  
**Fonte: EPE (2006)**

Segundo a EPE (2006), o Brasil possui um baixo consumo elétrico quando comparado a outros países. Contudo se tem verificado um crescimento neste consumo, de 2004 para 2005 este aumento foi de 4,6%. E o chuveiro elétrico contribuiu para este aumento sendo que no passado, era comum a utilização de chuveiros com apenas 1500 W e hoje se tem na maioria das residências um consumo dos chuveiros 4400 W (PROCEL, 2006). Como as exigências de conforto de banho por parte dos usuários têm aumentado, acredita-se que a potência destes equipamentos continuará se elevando. A redução do consumo de energia residencial pode reduzir o problema da falta de energia, ou pelo menos podem adiar os grandes investimentos no setor elétrico.

## 1.7 MÉTODO DE PESQUISA

### 1.7.1 Caracterização do problema

No problema da pesquisa (“como diminuir o consumo de energia e aumentar o conforto para os usuários dos chuveiros elétricos residenciais?”), apesar de a frase começar com “como”, deve-se entender que o problema aponta para a questão do tipo “o que”, (ou seja, “o que pode ser feito para diminuir o consumo de energia e aumentar o conforto para os usuários dos chuveiros elétricos residenciais?”). Segundo Yin (2001), as questões do tipo “o que” se dividem em duas: o primeiro tipo é exploratória (o que pode ser feito), e pode levar a um levantamento exploratório, a um experimento exploratório ou a um estudo de caso exploratório. E o segundo tipo, “o que é” leva a questões do tipo “quanto” que favorece as estratégias de levantamentos de dados ou análises de arquivos. No presente caso, como o problema leva a um experimento exploratório, deve-se passar ao próximo passo que é a definição de qual é o método mais adequado ao problema, que será visto mais adiante.

### 1.7.2 Tendências da pesquisa

Em relação à frequência que o tema aparece em teses e periódicos, pode-se dizer que “o sistema para aquecimento de água” não é um tema atual. Porém, o tema “redução do consumo de energia”, e “substituição das fontes poluentes por fontes geradoras de energia não poluentes”, como é o caso da energia solar, tem sido cada vez mais debatido devido a constante preocupação com as mudanças climáticas que estão ocorrendo no planeta. Principalmente depois que os pesquisadores de mais de 100 países reunidos no painel inter-governamental sobre mudanças climáticas (IPCC), promovido pela ONU no mês de abril de 2007 em Bruxelas, indicaram que a poluição causada pela emissão carbono na atmosfera é a causa destas mudanças.

No Brasil os seminários Cidades Solares (2006), que já percorreram diversas capitais, incentivam a criação de medidas legais que facilitem a disseminação do aquecedor solar para água. É promovido pela organização não-governamental Vitae Civilis e pelas câmaras municipais das cidades visitadas.

Nota-se que o tema “aquecimento de água com energia solar”, apresenta uma tendência de crescimento na literatura, principalmente depois da falta de energia elétrica ocorrida em 2000 e 2001, quando aumentou o debate sobre fontes alternativas de energia.

O governo brasileiro promove a pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico, inclusive das fontes alternativas de energia, exigindo das empresas geradoras e distribuidoras de energia elétrica investimentos em pesquisa e desenvolvimento.

Segundo a ANEEL (Agencia Nacional de Energia Elétrica) o art. 1º da Lei no 9.991/2000 determina que as concessionárias e permissionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica apliquem, anualmente, o montante de, no mínimo, 0,75% (setenta e cinco centésimos por cento) da sua receita anual em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico e, no mínimo, 0,25% (vinte e cinco centésimos por cento) em programas de eficiência energética, voltados para o uso final da energia. As concessionárias e autorizados do serviço público de geração, os produtores independentes, bem como as concessionárias de transmissão, ficam obrigadas a aplicar, anualmente, o montante de, no mínimo, 1% (um por cento) de sua receita operacional líquida - ROL, em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico, excluindo-se, por isenção, as empresas que geram energia, exclusivamente, a partir de instalações eólicas, solares, de biomassa e pequenas centrais hidrelétricas. Dos recursos destinados à pesquisa e desenvolvimento, 50% (Cinqüenta por cento) são destinados ao Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FNDCT, criado pelo Decreto-lei nº. 719, de 31 de julho de 1969 e restabelecido pela Lei nº. 8.172, de 18 de janeiro de 1991 e o restante aplicado em programas desenvolvidos pelas empresas de energia elétrica, segundo os regulamentos estabelecidos pela ANEEL.

Além do incentivo financeiro para este setor, existe uma preocupação dos pesquisadores em adaptar alternativas para a realidade brasileira. É o caso do aquecimento solar de baixo custo e do sistema de pré-aquecimento da água para o chuveiro usando um sistema solar de baixo custo. Esta pesquisa está alinhada a este último tema em específico, que procura alternativas para a economia de energia elétrica e também para diminuir a demanda de energia nos horários de pico, além de propiciar o aumento de conforto para o usuário.

### 1.7.3 Definição do método

Analisando os diversos métodos de pesquisa em relação a estudos exploratórios salientam-se as seguintes características:

Segundo Robson (1993) cada estratégia pode ser usada em princípio para qualquer propósito de pesquisa (exploratório, descritivo ou explanatório), entretanto, o encadeamento mais típico é:

- Experimentos para estudos explicativos (explanatórios);
- *Survey* para estudos descritivos;
- Estudos de caso para propósitos exploratórios.

Já segundo Yin (2001), num estudo exploratório pode se usar qualquer uma das cinco estratégias (experimento, levantamento, análise de arquivo, pesquisa histórica e estudo de caso), por exemplo, um levantamento exploratório, um experimento exploratório, ou um estudo de caso exploratório.

Na comparação dos métodos para a pesquisa em questão tem-se que:

- **Experimento**

Yin (2001) define que são realizados experimentos quando o pesquisador pode manipular o comportamento do fenômeno de maneira direta, precisa e sistematicamente. E que o ambiente do laboratório pode controlar muitas variáveis ficando o foco do experimento em apenas uma ou duas variáveis isoladas. Já Robson (1993) define que uma característica central do experimento é que o pesquisador precisa saber o que está fazendo antes de fazer. Ou seja, quando relativamente pouco é conhecido sobre a área do problema, em termos de qualquer trabalho prévio pertinente ou qual formulação teórica possa ser apropriada, estas características impedirão o uso de uma estratégia experimental efetivamente.

Existem alguns estudos sobre aquecedores solares de água, principalmente com foco na substituição dos materiais de fabricação por materiais alternativos buscando vantagens econômicas. Entre eles destacam-se Alencar (1999), Oliva (1999), Pereira et al (2000), Rispoli (2001) e Arruda (2004). O INMETRO (2007), através do Programa Brasileiro de Etiquetagem, desenvolveu um regulamento específico sobre os sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água.

A idéia principal do estudo é utilizar protótipos simulando as condições reais da cobertura de uma residência, verificando a influência das variações de temperatura ambiente e do isolamento térmico do reservatório de água no sistema de aquecimento individual (chuveiro elétrico), o experimento neste caso se encaixa bem neste tipo de pesquisa.

- **Levantamento e análise de arquivos**

Segundo Yin (2001) estes dois tipos de estratégias são vantajosas quando o objetivo da pesquisa for descrever a incidência ou predominância de um fenômeno ou quando ele for previsível sobre certos resultados. Estas estratégias são mais prováveis em problemas do tipo “quem” e “onde”. No caso desta pesquisa, estas estratégias não serão apropriadas.

- **Pesquisa histórica**

Yin (2001) define que a principal característica desta estratégia está em se lidar com o “passado morto”. Ou seja, quando realmente não existe controle ou acesso a informações sobre acontecimentos contemporâneos. Também nesta pesquisa, esta estratégia não parece apropriada, embora um levantamento histórico sobre o tema será usado na revisão bibliográfica.

- **Estudo de caso**

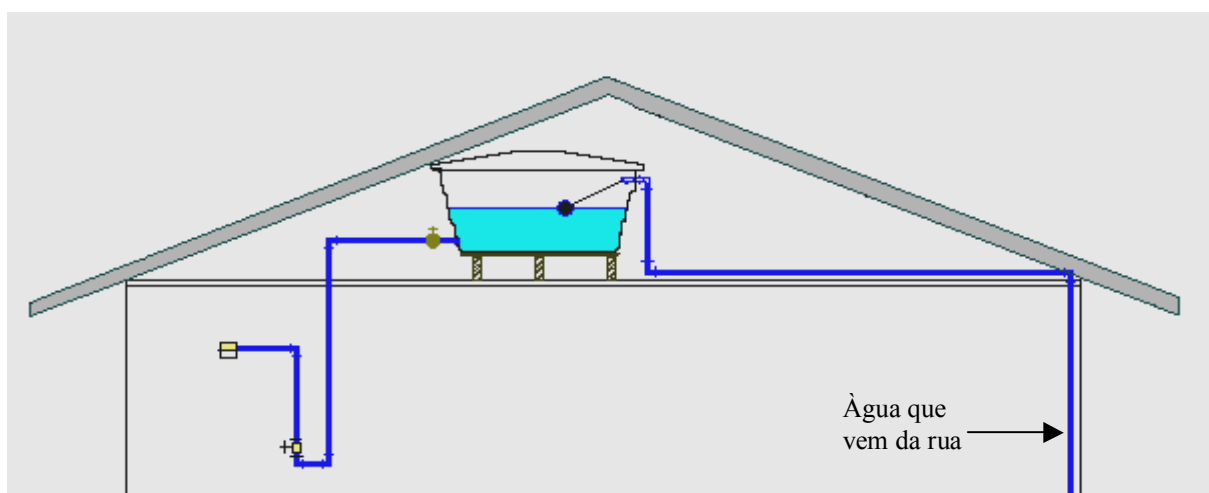
Segundo Robson (1993), no estudo de caso há flexibilidade para desenvolver e mudar o enfoque durante o estudo. O estudo de caso é indicado se a preocupação principal é entender o que está acontecendo em um contexto específico, e se é possível adquirir acesso e cooperação das pessoas envolvidas. A definição de Yin (2001) é a seguinte: o estudo de caso é uma investigação empírica de um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos. Este autor ainda afirma que estudos de casos podem ser usados em pesquisa de avaliação, explicando os vínculos causais em intervenções da vida real que são complexas demais para estratégias experimentais ou levantamentos. Além de ser utilizada para explorar situações nas quais a intervenção que está sendo avaliada não apresenta um conjunto simples e claro de resultados. No caso desta pesquisa, existem dados quantitativos que tornam a explicação dos fenômenos mais simples sem que seja necessário um



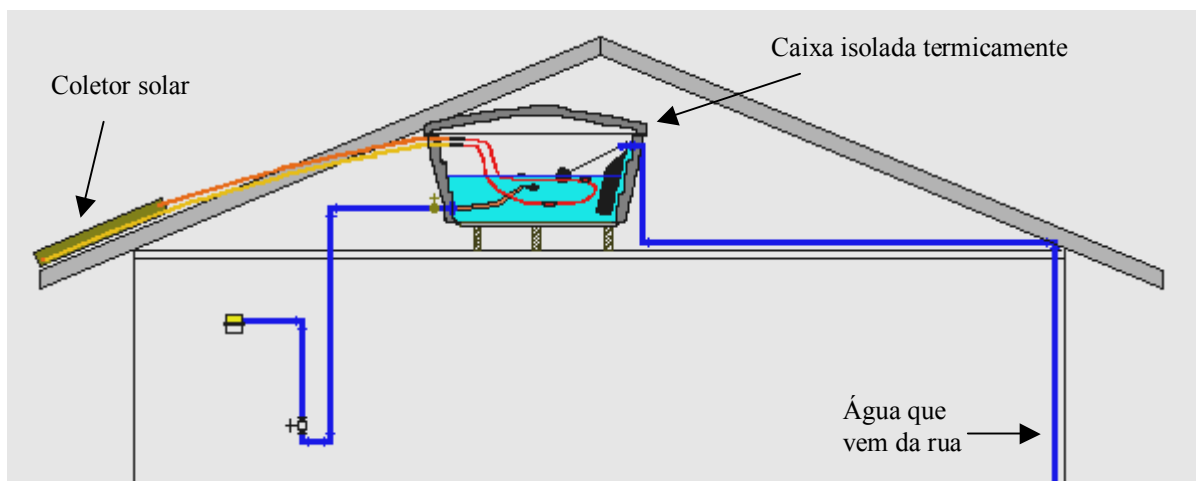
estudo de caso mais complexo. O experimento torna-se a melhor estratégia a ser empregada.

### 1.8 DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DA PESQUISA

Para o estudo do sistema proposto, o protótipo foi montado de maneira a comunicar o coletor solar com o reservatório de água isolado termicamente (caixa de água) através de um circuito fechado. A análise da espessura do revestimento térmico do reservatório foi fundamentada em um modelo matemático que serviu de base para a posterior comparação entre os dados coletados. Foi feita uma comparação entre o desempenho térmico do sistema usado convencionalmente em residências e o protótipo estudado. Para esta comparação foram usados dois reservatório. No primeiro não se utilizou nenhum tipo de isolamento térmico, sendo que este reservatório ficou sujeito as variações da temperatura ambiente que ocorriam embaixo do telhado (ver Ilustração 2 - Sistema convencional – caixa de água sem isolamento térmico). No segundo caso foi usado um sistema de isolamento térmico envolvendo o reservatório, e ao mesmo tempo era associado a um coletor solar plano de dimensões reduzidas (ver Ilustração 3 - Sistema com aquecimento solar – reservatório com isolamento térmico.).



**Ilustração 2 - Sistema convencional – caixa de água sem isolamento térmico**



**Ilustração 3 - Sistema com aquecimento solar – reservatório com isolamento térmico.**

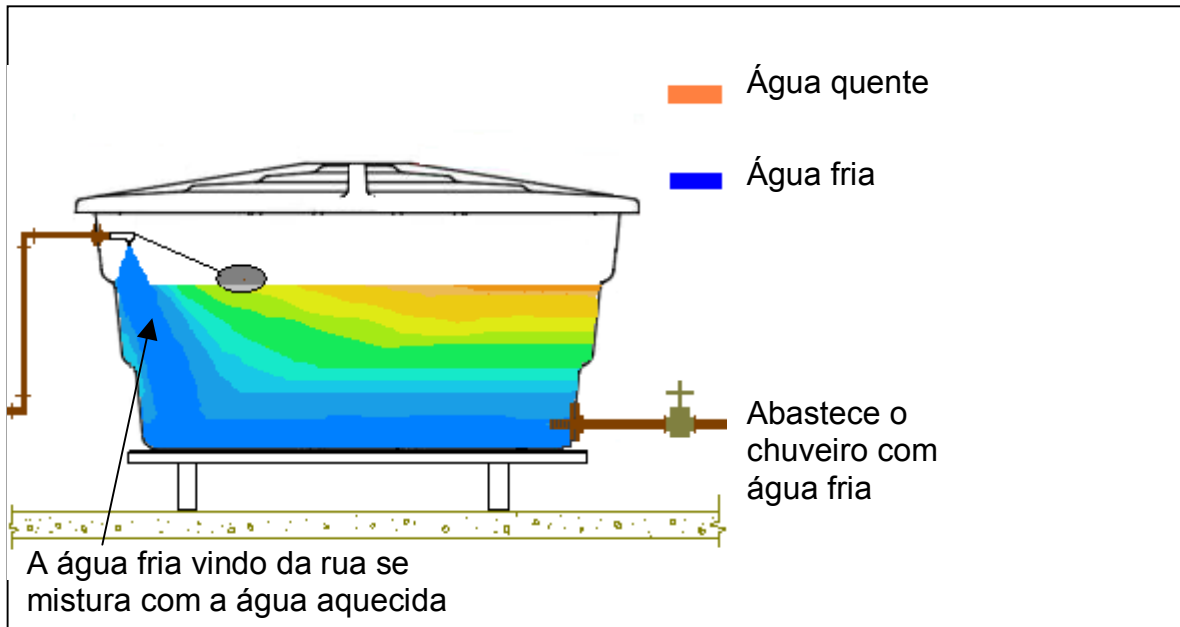
Ambos os sistemas usam a mesma instalação convencional de água fria, que abastecia o chuveiro elétrico. A intenção da pesquisa era fazer com que o reservatório isolado mantivesse a temperatura média da água acima da temperatura ambiente, abastecendo então o chuveiro elétrico com água pré-aquecida. Se o dimensionamento do sistema estivesse correto, o chuveiro elétrico poderia ser usado com na posição de menor consumo, mesmo em períodos de frio mais intenso.

Pesquisas semelhantes foram desenvolvidas por Oliva (1994) e por Rispoli (2001). Ambos usaram o sistema de aquecimento solar de baixo custo em associação ao chuveiro elétrico.

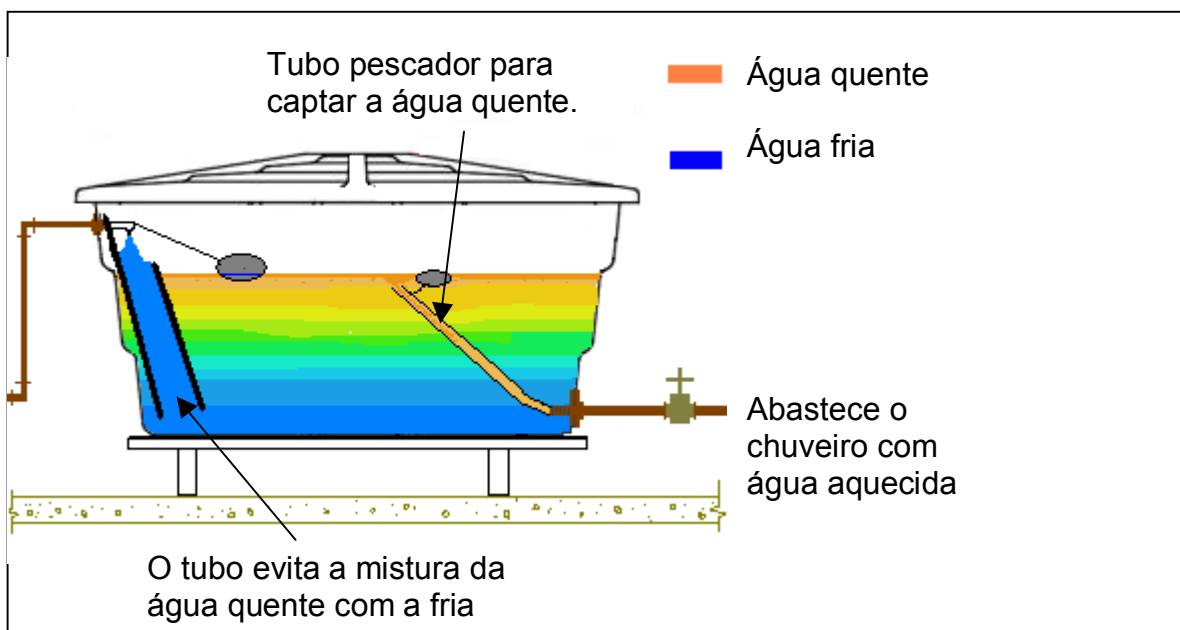
A diferença entre o protótipo idealizado e as pesquisas citadas, está no uso do próprio reservatório de abastecimento da residência. No protótipo o reservatório foi usado para reservar a água aquecida e a água fria ao mesmo tempo. Ou seja, se usou o tanque térmico (chamado de boiler) para reservar a água aquecida. Um tipo semelhante de experimento, usando apenas um reservatório tanto para água fria como para água quente, foi encontrado como parte do projeto intitulado sistema de aquecimento solar de baixo custo (ASBC) desenvolvido por Woelz (2006).

O estudo da variação de temperatura dentro do reservatório leva em conta o fato de quando se esquentam a água ela se torna mais leve que a água fria, formando camadas com diferentes temperaturas, pelas correntes de convecção. Na instalação convencional dos reservatórios a água fria entra por cima misturando as camadas (ver Ilustração 4 - Abastecimento convencional da caixa d'água). Para evitar esta mistura foram inseridos dispositivos tanto para evitar a mistura das camadas como

para captar a água aquecida da parte superior do reservatório (ver Ilustração 5 - Abastecimento da caixa evitando a mistura da água quente com a fria.)



**Ilustração 4 - Abastecimento convencional da caixa d'água**



**Ilustração 5 - Abastecimento da caixa evitando a mistura da água quente com a fria.**

Se não ocorrer a mistura destas camadas no processo de alimentação ou extração de água dentro reservatório, esta condição permanecerá durante certo tempo até que a transferência de calor por condução entre as camadas faça a total homogeneização da temperatura.

Com a pesquisa pretende-se observar os fenômenos térmicos que ocorrem dentro destes reservatórios, levando em conta a entrada de água fria e o abastecimento dos aparelhos sanitários e a inclusão da água aquecida pelo coletor solar.

Foram colocados sensores para a medição do calor dentro dos reservatórios além de sensores nas entradas de e saídas da serpentina. Todos os sensores foram ligados a dispositivos do tipo *datalogger* para a coleta e aquisição de dados. É também coletada a água na saída do chuveiro e medido a sua temperatura final (temperatura de banho). Para a temperatura ambiente e a incidência solar, foram usados os dados da estação meteorológica que fica no campus da UFPR, a aproximadamente 100 metros de distância da casa usada para a pesquisa.

Buscou-se assim conhecer a variação de temperatura dentro do reservatório, ou melhor, esperava-se que a temperatura permaneça constante durante o maior número de horas do dia possibilitando o consumo durante a noite, principalmente no horário de ponta do sistema elétrico (por volta das 19 horas).

Algumas indicações de dimensionamento são esperadas como complemento desta pesquisa:

- Tamanho mínimo de coletor solar e sua eficiência para que o sistema funcione adequadamente.
- Espessura do isolamento térmico mais adequado (através de simulação em planilha eletrônica, usando os dados coletados).
- Volume do reservatório mínimo para que as variações de temperatura não afetem o sistema de pré-aquecimento.

## 1.9 UNIDADE DE ANÁLISE

A análise se refere ao sistema que abrange coletor solar, tubulação em circuito fechado a ele acoplada e sua serpentina, e isolamento térmico da caixa de água. Estes elementos compõem um *kit* que, em situação ideal, deverá poder ser

comercializado diretamente ao usuário, e este poderá ser capaz de montá-lo sem que seja recorrer a um encanador.

O sistema de aquecimento solar assim composto terá sido analisado em suas implicações para o projeto hidráulico da habitação, área de atuação profissional e acadêmica do autor.

### 1.10 LIMITAÇÃO DA PESQUISA

Segundo Bezerra (1990), para o sistema de circulação natural (termossifão), o ângulo de inclinação do coletor será igual ao da latitude acrescido de aproximadamente 10°. Ou seja, o ângulo de inclinação do coletor solar e a incidência de radiação solar serão próprias desta região. Porém, o resultado da pesquisa poderá ser generalizado em função da energia recebida pela água no reservatório e não apenas da incidência solar.

Procurou-se o início da pesquisa mais rápido possível para que pudesse ser coberto o período de 1 ano. Mas isto não foi possível em virtude do atraso ocorrido na montagem do protótipo e do equipamento de coleta de dados.

Nesta pesquisa alguns itens não puderam ser realizados em função da falta de tempo, de equipamentos, de pessoal disponível e de recursos financeiros. Estes itens abaixo relacionados poderão ser incluídos como sugestões de próximas pesquisas:

- substituição de coletor solar por alternativos;
- análise do comportamento dos usuários em relação conforto do banho;
- otimização final do projeto do sistema, voltada para o melhor desempenho energético dos componentes e do próprio sistema;
- produção em escala dos componentes (não pode ser estudado nesta pesquisa);
- melhoramento do produto no sentido de otimizar o *kit* do tipo “faça-você-mesmo”, que envolvam os aspectos de desenho do produto e embalagem, qualidade da informação, ergonomia e estética;
- otimização do *kit* em termos de custos e benefícios.
- execução de testes com bombeamento.

### 1.11 DEFINIÇÃO DO PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS

A definição do protocolo de coleta de dados é uma etapa importante para o bom desenvolvimento da pesquisa. Segundo Yin (2001), o protocolo de coleta de dados é de extrema importância, pois permite ao pesquisador lembrar constantemente o tema do estudo de caso, bem como antecipar vários problemas que possam ocorrer. Desta forma, o protocolo desenvolvido para esta pesquisa apresenta os itens a baixo.

#### 1.11.1 Procedimentos e técnicas de coleta dados:

- Posição de sensores de temperatura a partir da posição do equipamento e dos itens que são avaliados no experimento;
- Os dados são coletados em uma seqüência de leituras com intervalo estipulado em função da capacidade de armazenamento de dados do equipamento;
- A simulação do consumo de água através da extração na saída do aparelho usado (chuveiro elétrico);

#### 1.11.2 Questões de estudo

- Desenvolvimento dos cálculos em planilha eletrônica dos dados de temperatura da água sobre influência da entrada e saída de água quente, entrada e saída de água fria e da espessura do isolamento térmico.

#### 1.11.3 Apresentação da análise e relatórios

A análise deverá incluir as partes abaixo a serem relatadas:

- análise sobre a montagem e funcionamento do protótipo;
- análise sobre os dispositivos de coleta de dados;
- relação das ocorrências; climáticas, hidráulicas, de uso do sistema;
- acréscimo de energia proporcionado instantaneamente pela radiação solar descontado as perdas do sistema e posição da placa solar;
- acréscimo médio de energia no reservatório ao longo de um período de medição de vários dias;
- análise sobre a redução do consumo de energia elétrica do chuveiro;
- apresentação dos cálculos em forma planilhas e gráficos;
- montagem da análise final e conclusões;

- descrição do sistema, inclusive caixa de água isolada, espessura de isolamento, volume, de modo a permitir repetição das medições após variar parâmetros.

## 1.12 MÉTODO DE ANÁLISE

### 1.12.1 Definição da estratégia de análise

Para o método de análise nesta pesquisa se tomou por base a análise de séries temporais cronológicas, onde se pode ter uma linha cronológica associada a eventos causais. Ou seja, os acontecimentos e suas implicações analisados ao longo do tempo.

Durante a coleta de dados também foram feitas tomadas de temperatura com a extração de água, simulando um consumo em ambos os reservatórios. Esta extração ocorreu no horário de ponta do consumo de energia elétrica, aproximadamente às 19 horas. A análise da temperatura média obtida das extrações dos reservatórios permitiu avaliar o ganho energético do sistema de aquecimento em relação ao sistema convencionado sem aquecimento. Além da análise do funcionamento do trocador de calor e do sistema de isolamento térmico pela comparação do ganho energético recebido ou perdido durante o período observado.

### 1.12.2 Definição da Estratégia de Validação

Segundo Yin (2001) e Robson (1993) a qualidade da pesquisa pode ser observada pelos seguintes pontos: validade do constructo, validade interna e externa e confiabilidade.

Em relação à validação interna se buscou na pesquisa o uso da triangulação, ou seja, usar mais de uma evidência para confirmar o fato. Neste caso, a coleta dos dados no protótipo, a comparação ao modelo físico e a verificação do funcionamento do sistema pelo pesquisador. Além da análise de evidências que possam ser encontradas na base teórica.

No modelo físico foi possível simular as temperaturas de entrada e saída da água no reservatório, alimentado com os parâmetros da eficiência do coletor, área do coletor, orientação do coletor, e ainda os dados de temperatura do ar, insolação sobre o plano inclinado do coletor solar e a extração de água. Na comparação com

os fenômenos ocorridos no modelo, o mesmo processo matemático foi aplicado, porém com os dados reais coletados. Os relatórios elaborados, em cada fase, deram maior confiabilidade à pesquisa, além de fotos do protótipo na montagem e em seu funcionamento. Um fato importante observado foi a aferição dos dispositivos de medição. Como a pesquisa é longa, estes equipamentos foram verificados periodicamente durante todo o tempo da coleta de dados.

Em relação à validação externa a proposta era conseguir que os dados fossem possíveis de serem generalizados. Ou seja, a possibilidade de replicação do protótipo no uso normal de uma habitação. Também que fosse possível a outro pesquisador desenvolver o protótipo, em outras regiões, encontrando valores semelhantes aos resultados obtidos.

Alguns itens no desenvolvimento do protótipo foram observados para que se tivesse maior confiabilidade nos dados coletados:

- na entrada de água dentro do reservatório não houve a ocorrência de mistura entre as camadas de água, a água fria entrava pela bóia e era levada por um tubo até o fundo do reservatório;
- na saída de água também não ocorreu turbulência ou formação de vórtice.
- a água quente foi coletada na superfície da reserva de água que tinha a maior temperatura; para isso foi utilizado um dispositivo tipo “pescador”.

Como ocorreu a comparação entre dois reservatórios, um isolado termicamente e com o aquecimento solar e outro sem isolamento e sem aquecimento. Estes dois sistemas tiveram as seguintes condições:

- o consumo foi igual para ambos os reservatórios;
- a temperatura ambiente foi a mesma;
- a vazão de entrada foi a mesma.
- o volume dos reservatórios deverá foram os mesmo e os pontos de análise de temperatura foram colocados na mesma posição e altura.



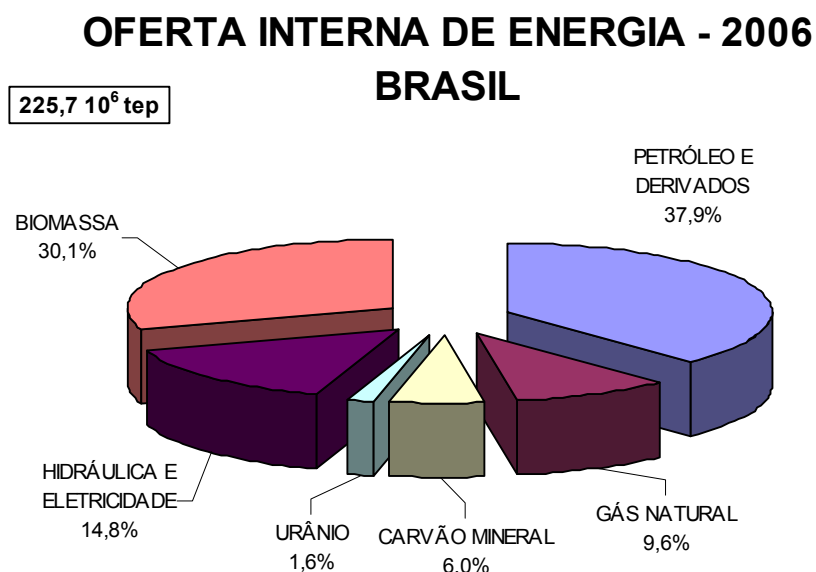
## CAPÍTULO II

### 2 ENERGIA SOLAR PARA O AQUECIMENTO DE ÁGUA

#### 2.1 O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Segundo Aldabó (2002), o aporte financeiro anual nas áreas de geração e distribuição de energia elétrica mundial é estimado em U\$ 800 bilhões. A eletricidade é considerada insumo fundamental para o desenvolvimento econômico e social. Apesar disso, 2 bilhões das 5,7 bilhões de pessoas no mundo não têm qualquer acesso à energia elétrica.

Segundo o último Balanço Energético Nacional, MME (2006), dentro da matriz energética do Brasil, a oferta de energia elétrica representa 14,8% do total de energia produzida no país (Ilustração 6 – Oferta Interna de Energia no Brasil em 2006).



**Ilustração 6 – Oferta Interna de Energia no Brasil em 2006**

**Fonte M.M.E (2006)**

Segundo os dados do Ministério das Minas e Energia (ver Tabela 2 – Balanço Energético Nacional – BEN 2006) nota-se um crescimento no consumo de energia por habitante quando se compara os dados desde 1975. Isto significa que o

consumo de energia elétrica por habitante superou o crescimento demográfico ocorrido neste período e ainda se quadruplicou.

<b>Tabela 2 – Balanço Energético Nacional – BEN 2006</b> (ano-base 2005)					
	1975	1985	1995	2005	unidade
Consumo de energia elétrica por habitante	0,123	0,243	0,4	0,452	MWh/hab
Consumo energético do setor residencial em relação ao consumo energético total do país	26,2	15,8	12,2	11,1	%
Consumo de energia elétrica em relação ao consumo total do setor residencial	5,2	15,2	30,2	32,8	%
Consumo de lenha em relação ao consumo total do setor residencial	81,5	58,2	33,9	37,5	%

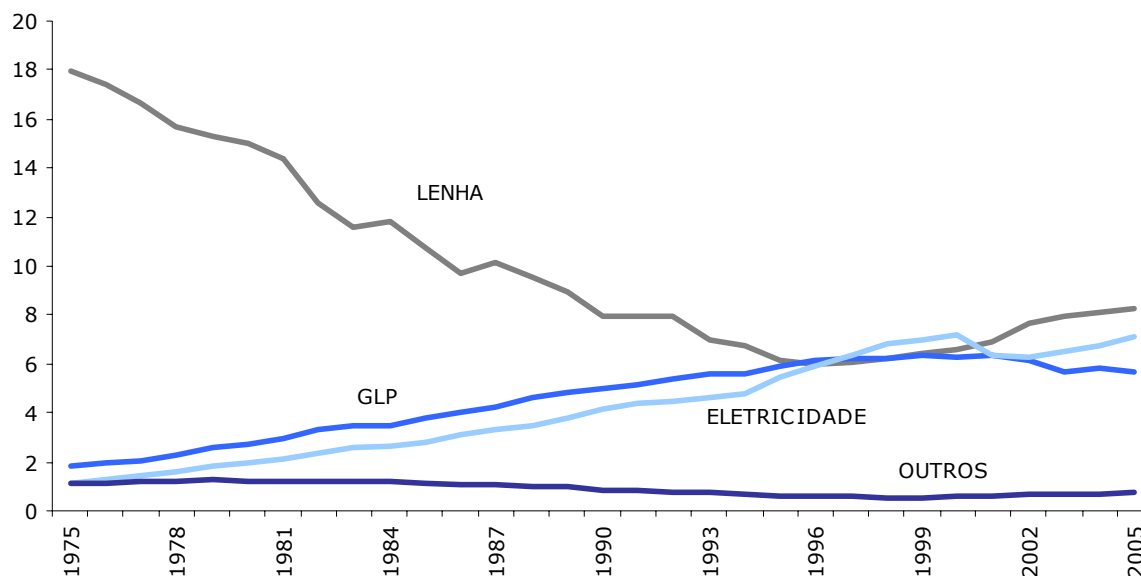
**Fonte MME (2006)**

Apesar do crescimento global de consumo, o setor residencial teve a sua participação reduzida saindo dos 26,2% em 1975 para 11,1% em 2005. Este fato é explicado pelo crescimento de consumo de outros setores da economia, principalmente do setor industrial. Porém, quando se analisa o consumo energético apenas do setor residencial, nota-se que houve um aumento no consumo de energia elétrica, passando dos 5,2% em 1975 para 32,8% em 2005. Ao mesmo tempo, o consumo de lenha no setor residencial caiu de 81,5% em 1975 para 37,5% em 2005. Este dado do setor residencial, reflete a mudança no hábito de consumo de energia da população neste período, que passou a substituir a lenha pela energia elétrica e pelo gás liquefeito de petróleo (GLP) (ver Ilustração 7 - Gráfico do consumo final no setor residencial).

Ainda, segundo o MME (2006), o consumo de energia elétrica do setor residencial passou de 78,6 TWh em 2004 para 83,2 TWh, um crescimento de 5,8%. Entretanto, este valor é ainda 0,5% inferior ao consumo da classe residencial no ano

2000 (igual a 83,6 TWh), anterior ao racionamento devido à crise de energia elétrica ocorrida no Brasil entre 2000 e 2001.

### CONSUMO FINAL NO SETOR RESIDENCIAL



**Ilustração 7 - Gráfico do consumo final no setor residencial**

**Fonte MME (2006)**

No Brasil, segundo Oliva (1999), a análise do problema enfrentado nos últimos anos pelo sistema elétrico interligado das Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do país, para atender à demanda de potência elétrica no horário de ponta, evidenciou a contribuição do chuveiro elétrico para a formação da ponta na curva de carga. Diversas alternativas foram estudadas para tentar modificar essa situação, que tem implicações não só conjunturais de atendimento à demanda, mas também mais amplas referentes à rentabilidade da comercialização de energia elétrica para o segmento residencial.

Segundo os dados da Eletrobrás/Procel (2006) o consumo médio mensal do chuveiro elétrico é estimado em 70 kWh/mês. Este consumo é inferior ao de alguns equipamentos como: fogão elétrico, ar-condicionado, aquecedores de ambiente e aquecedores de água tipo boiler, porém com o consumo superior ao freezer, secador de roupa e as geladeiras (ver Tabela 3 - Consumo Elétrico dos aparelhos domésticos). O chuveiro elétrico não tem um consumo tão elevado quando

comparado aos equipamentos de ar condicionado, porém a grande quantidade de chuveiros ligados ao mesmo tempo é que elevam o pico de consumo no sistema de distribuição de energia elétrica.

**Tabela 3 - Consumo Elétrico dos aparelhos domésticos**

Aparelhos Elétricos	Potência média (W)	Dias estimados uso/Mês	Média Utilização/Dia	Consumo Médio Mensal (KWh)
Fogão elétrico 4 chapas	9120	30	4h	1094,4
Ar- condicionado 18.000 BTU	2100	30	8h	252
Ar- condicionado 7.500 BTU	1000	30	8h	120
Aquecedor de ambiente	1550	15	8h	186
<i>Boiler</i> 200 a 500l	3000	30	6h	540
<i>Boiler</i> 50 a 60l	1500	30	6h	270
Chuveiro elétrico	3500	30	40 min.	70
Geladeira 2 portas	130	-	-	55
Freezer vertical/horizontal	130	-	-	50
Torneira elétrica	3500	30	30 min.	52,5
Secador de roupa grande	3500	12	1h	42,0

## 2.2 ENERGIA SOLAR

Segundo Aldabó (2202) a energia solar é a fonte de energia infinita e a menos poluente conhecida até o momento. Disponível para a humanidade desde o surgimento da vida na Terra, a energia solar nunca foi aproveitada de forma tão eficiente quanto às outras formas de energia. Considerando que todas as outras fontes de energia renováveis apresentam alguma desvantagem. Providenciar um sistema de suprimento de energia solar confiável é uma tarefa que encontra algumas dificuldades e certo grau de complexidade.

Para Palz (1981) o Sol, além de fonte de vida, pode ser a resposta para a questão do abastecimento energético no futuro, uma vez que aprendamos a aproveitar de maneira racional a luz que esta estrela constantemente derrama sobre nosso planeta. Brilhando a mais de cinco bilhões de anos, calcula-se que o sol ainda nos privilegiará por outros seis bilhões de anos, ou seja, ele está apenas na metade de sua existência e lançará sobre a Terra, só neste ano, 4000 vezes mais energia que consumiremos.

Segundo Cabirol (1980), o sol é uma esfera com 1.400.000 quilômetros de diâmetro que irradia uma energia fenomenal devido a reações nucleares em cadeia. Uma parte desta energia serve para manter a sua temperatura e o restante é irradiada para o espaço. A temperatura aparente do sol é de aproximadamente 6000 Kelvin apenas uma parte muito pequena desta energia chega até a superfície da Terra. Esta energia chega essencialmente sob a forma de ondas eletromagnéticas como as utilizadas nas transmissões de rádio ou televisão, porém com comprimentos de ondas mais curtos. A irradiação solar é uma sobreposição de ondas cujos comprimentos variam de 0,25 micra até 4 micra. As que se utilizam nos rádios vão de 1 metro a muitos quilômetros. Quanto mais curto for o comprimento de onda, mais energia tem a onda.

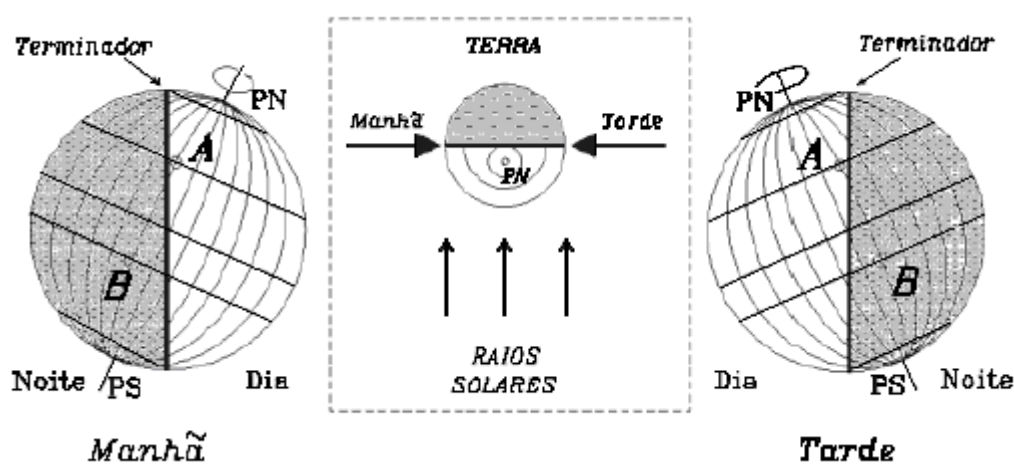
A Terra revoluciona ao redor do sol numa trajetória aproximadamente circular, com o sol posicionado no centro do círculo. A distância média da Terra ao sol é de cerca de 150.000.000 quilômetros. O eixo de rotação da Terra possui um ângulo de  $23,5^\circ$  com relação a sua órbita em torno do sol. No seu movimento de translação, a Terra conserva o seu eixo orientado sempre na mesma direção. Basicamente, é o eixo de inclinação que nos dá as estações do ano e a distribuição da radiação solar durante todo o ano (QUINTEIROS, 2001).

Aproximadamente 30% da radiação entrante se reflete sem mudança na amplitude de onda. Cerca de 47% é absorvida pela atmosfera e pela superfície terrestre, provoca um aumento de temperatura e, em seguida, irradia-se novamente para o espaço. Apenas os 23% restantes penetram no sistema terrestre e passam a ser a força motriz de ventos, correntes, ondas, modelam nosso clima e proporciona o ciclo da água. Em última instância, também será re-irradiado ao espaço (PALZ, 1981).

Segundo Quinteros (2001) a constante solar é o fluxo de energia por unidade de área, medida num plano normal à radiação solar, ao nível das mais altas camadas da atmosfera. Segundo medidas de satélites, equivale a  $1350 \text{ W/m}^2$ .

Segundo Lima (2003), a radiação que atinge um determinado ponto da superfície terrestre não é igual a constante solar, pois sofre na sua trajetória as seguintes influências:

- Latitude – A medida que a latitude aumenta a área de superfície terrestre atingida pela mesma radiação também aumenta, resultando uma menor concentração de radiação;
- Estações do ano – O movimento de translação da terra em torno do sol, responsável pelas estações do ano, descrevem 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 deixa exposto mais o hemisfério sul e durante o outro período é o hemisfério norte que é mais exposto.



**Ilustração 8 - Iluminação da Terra em 21 de junho.**

Fonte Lima (2003)

- 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 interferem na radiação que atinge a superfície terrestre.
- Condições atmosféricas – Dias enfumaçados ou poluídos alteram a radiação disponível. Porém a radiação tem incidência direta e difusa e nos dias claros

apenas 10% da radiação é difusa e nos dias nublados praticamente toda a radiação é difusa.

Segundo Quinteros (2001) pode-se determinar a intensidade de energia solar que chega a um determinado ponto do planeta em uma determinada época do ano, através da seguinte expressão:

$$I = I_0 \cdot \cos i$$

Onde:  $I$  = intensidade da energia solar em  $W / m^2$

$I_0$  = constante solar ( $1350 W / m^2$ )

$i$  = ângulo de declinação em graus.

Segundo Cometta (1982) a potência dos raios solares que atingem o solo é menor que a constante solar em função absorção da atmosfera, que varia com a altura do Sol sobre o horizonte, com as condições climáticas e com a latitude sobre o nível do mar do local de medida. A espessura de atmosfera atravessada pelos raios solares varia entre um mínimo de 100 km com o Sol ao alto, no zênite, a cerca de 1130 km, com o Sol sobre o horizonte. Quanto maior a latitude mais distante o sol ficará do zênite (da vertical do local da observação), aumentando a espessura mínima da atmosfera e em consequência aumentando a absorção. Em função disto, Cabirol (1980) afirma que quando o ângulo feito pelo plano horizontal do lugar com os raios solares for inferior a  $15^\circ$ , a espessura de ar atravessado absorve quase toda a energia destes raios.

O desempenho de um coletor de calor depende muito de sua localização. Nas regiões onde a maior parte do tempo a intensidade solar é adversamente afetada por nuvens, neblinas, e outros tipos de absorção atmosférica, o rendimento médio pode ser substancialmente inferior aos climas ensolarados; pode mesmo mostrar-se impraticável o uso do aquecimento solar durante parte do ano. Em qualquer caso, o uso dos coletores solares exige um dimensionamento cuidadoso, levando em consideração pormenores das condições climáticas do local do usuário. Isto demanda medidas precisas do perfil da intensidade solar durante dias, semanas e anos.

O aproveitamento racional da energia solar no sentido de produzir instalações bem dimensionadas e economicamente viáveis só é possível a partir de informações solarimétricas consistentes da região em questão. Para o Brasil estas informações estão disponíveis no Atlas Solarimétrico do Brasil publicado em agosto de 1997 pelo Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas (CRESESB, 2006) e no Atlas de Irradiação Solar do Brasil publicado em outubro de 1998 pelo Laboratório de Energia Solar (UFSC, 2006). O primeiro está representado por mapas mensais contendo isolinhas das medidas de insolação e radiação global, fundamentais na compilação de dados históricos disponíveis em todas as estações terrestres existentes no País. A segunda proposta trata-se da aplicação e adaptação para o Brasil de um modelo físico alemão utilizando imagens de satélites e está representado por mapas mensais contendo valores pontuais da radiação global.

Os avanços e esforços realizados na área de solimetria vêm trazendo resultados significativos e muitas informações. Porém no Brasil, a energia solar e suas aplicações ainda são pouco difundidas, se comparado com outros países como Estados Unidos, Austrália, Índia, França, Japão, Alemanha e Israel, que trabalham em diferentes níveis de desenvolvimento tecnológico e comercial do aquecedor solar. Israel iniciou seu plano ainda na década de 50 e alcançou em 1996 a invejável marca de 70% das residências com aquecimento solar (ABRAVA, 1996). Nos Estados Unidos, em 1974, a superfície total de coletores instalados já passava de 12.000 m<sup>2</sup> e em 1988 saltou para 420.000 m<sup>2</sup>. No início dos anos 80 havia mais de 100.000 instalações equipadas com coletores solares, das quais a grande maioria para aquecimento de água. Na França, a produção total em 1980 foi de 50.000 m<sup>2</sup> (PALZ,1981).

### 2.3 AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA

Uma experiência científica idealizada por Horace de Saussure, em 1767, comprovou que era possível capturar a energia solar e armazená-la por um período de tempo. Construiu uma simples caixa de madeira, quadrangular e de poucos centímetros de altura, revestida de cortiça e pintada de preto por dentro e tampa de vidro com três lamina separadas uma da outra. Expondo convenientemente ao sol durante o um dia, conseguiu registrar uma temperatura de 118°C. Tal invento recebeu o nome de “caixa quente” (VÁZQUES,1995). Pode-se dizer que a partir daí deu-se o início da utilização da energia solar para o aquecimento de água.



Segundo Ríspoli (1999) o processo de aquecimento da água aproveitando a energia solar consiste basicamente em absorver a radiação solar e transferi-la para um reservatório térmico na forma de calor. Um corpo que recebe energia solar, pode ser dosado em frações de absorvância ( $\alpha$ ), refletância ( $\rho$ ) e transmitância ( $\tau$ ). A primeira parte é a fração absorvida, a segunda parte é a fração refletida e última é a transmitida. A soma dessas três frações gera o índice 1. As substâncias que tem absorvância unitária ou aproximadamente unitária, são o negro de fumo, a platina negra e o bismuto negro, absorvendo de 0,98 a 0,99 da radiação total incidente. Um corpo que possui refletância e transmitância nulas, é considerado um “corpo negro”.

O princípio de funcionamento do aquecimento solar de água é bastante simples, é baseado na transmissão de calor através dos materiais que compõem o sistema. É composto por dois itens básicos: o reservatório térmico (boiler) e o coletor solar (placas).

### 2.3.1 O reservatório térmico (boiler)

Segundo Quinteros (2001) o boiler (ver Ilustração 9 - Reservatório térmico (boiler) ) serve para armazenar água quente para consumo. É fabricado por fora em alumínio e por dentro em cobre ou aço inox. Internamente, a água quente se mistura com a fria ficando a água quente sempre na parte superior. O *boiler* possui resistência elétrica que aquece a água em dias em que não há luz solar suficiente. Comandada por um termostato, ela liga e desliga de acordo com a temperatura da água. O poliuretano expandido reveste toda a parede interna do *boiler*. Em dias com grande luminosidade, a água quente pode ficar armazenada por várias horas sem precisar acionar a resistência elétrica. Existem *boilers* de alta pressão e de baixa pressão. Os de baixa pressão trabalham com até 5mca e os de alta pressão com até 20 mca. Os *boilers* podem ser de nível (colocado no mesmo nível da caixa fria) ou de desnível (abaixo da caixa fria). A escolha vai depender da altura da cumeeira da residência.

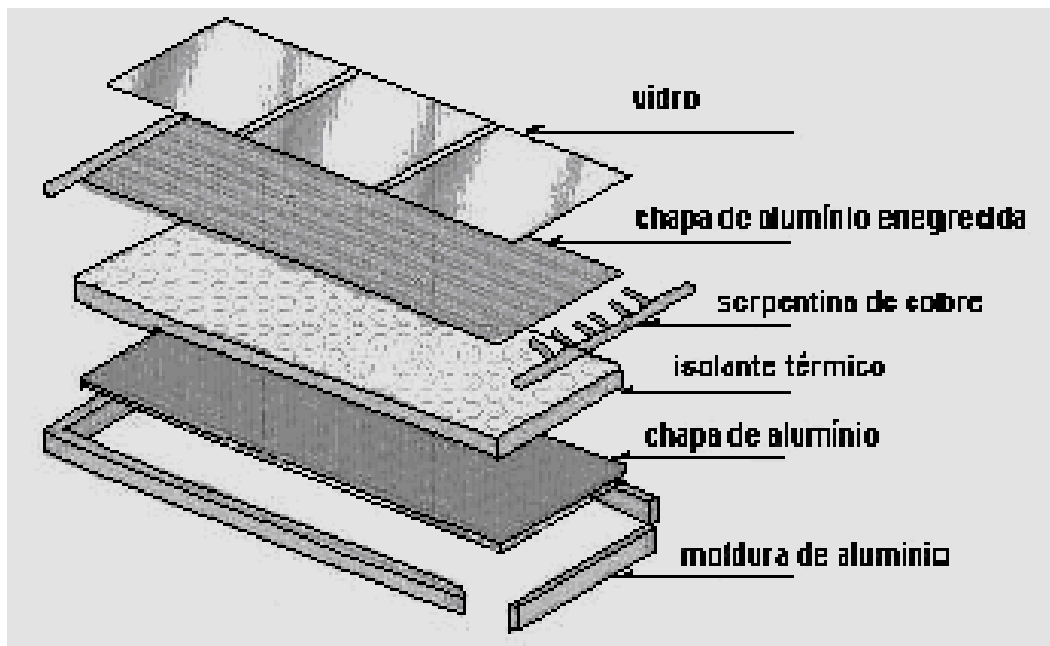


**Ilustração 9 - Reservatório térmico (*boiler*)**

**Fonte: Soletrol (2006)**

### 2.3.2 O coletor solar plano

Segundo Lima (2003) o coletor de calor solar para aquecimento da água é o dispositivo responsável pela captação da energia radiada pelo e sua conversão em calor utilizável. Existem dois tipos fundamentais de coletores: coletores de concentração e coletores planos. O coletor de concentração focaliza a energia que atinge um grande refletor parabólico ou uma grande lente Fresnel para um absorvedor relativamente pequeno. O absorvedor tem água ou fluido de transferência. Em virtude da concentração de energia em um absorvedor de área diminuta, o fluido alcança elevadas temperaturas, bem maiores que as atingidas pelos coletores planos. O coletor de concentração requer a montagem sobre mecanismo motorizado de rastreamento do movimento do sol, pois o ângulo de incidência da radiação deve ser correto para a focalização no absorvedor. Apesar do melhor aproveitamento da radiação, o equipamento de rastreamento se torna dispendioso, complexo e de difícil manutenção. Já o coletor plano recebe e utiliza a radiação solar na mesma superfície. Ele opera em baixas temperaturas em relação ao coletor concentrador, ficando a temperatura abaixo de 93°C. As vantagens do coletor plano comparadas aos outros tipos de coletores são: simplicidade de construção, custo relativamente baixo, ausência de parte móvel, a relativa facilidade de reparo e manutenção.



**Ilustração 10 - Construção de um coletor solar plano.**

**Fonte: Quinteros (2001)**

Como indicado na Ilustração 10, o coletor plano é composto pelos seguintes materiais:

**Vidro:** impede que entrem no coletor, água de chuva, materiais sólidos, poeira etc. Tem como finalidade principal provocar o efeito estufa. Ou seja, a luz do sol, incidindo diretamente no vidro faz com que parte dela penetre no interior do coletor, refletindo outra parcela de luz. Na reflexão, a luz é composta basicamente de raios infravermelhos que não conseguem ultrapassar a camada de vidro, provocando assim um aquecimento interno que ajudará no aquecimento da água que está circulando na tubulação de cobre. Segundo Ríspoli (1999) o efeito estufa ocorre quando a luz penetra numa região cuja fronteira, obviamente transparente para a luz, não é transparente para o calor. Nesse caso, os corpos internos à região absorvem parte da luz nela incidente e se aquecem, passando a irradiar o calor como onda eletromagnética que, não podendo atravessar a fronteira, volta a incidir sobre esses corpos, aquecendo-os cada vez mais, enquanto durar o processo.

**Tubo de cobre:** serve para conduzir a água que captará o calor do sol. O cobre, sendo um ótimo condutor de calor, absorverá todo esse calor do coletor e o transmitirá para a água que está circulando.

**Chapa de alumínio enegrecida:** tem por finalidade auxiliar no aquecimento do coletor. Pela sua cor negra, absorve melhor o calor da luz solar, transmitindo-o para os tubos de cobre e conseqüentemente para a água.

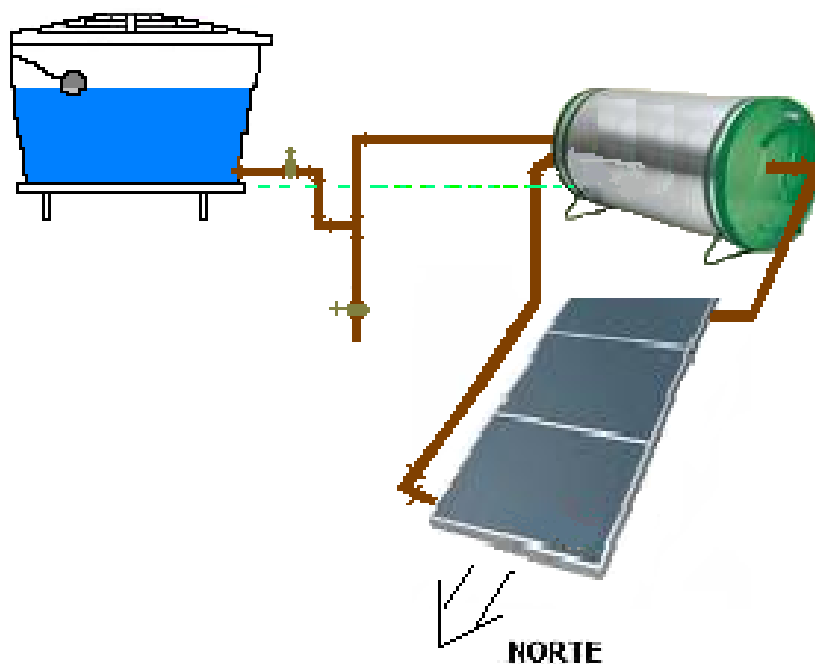
**Poliuretano expandido ou lã de vidro:** são os materiais normalmente utilizados, que isolam termicamente o coletor, impedindo que o calor captado pela luz solar escape para o ambiente.

Segundo Arruda (2004) nos sistemas de aquecimento de água através do aproveitamento da energia solar, seus componentes (coletores, reservatórios, trocadores de calor, fonte auxiliar de calor e tubulações) podem apresentar-se sob diversas configurações. A água aquecida para o consumo pode receber o calor diretamente no coletor (sistema direto), ou através de um líquido refrigerante que, após receber a energia térmica no coletor, o transfere à água em um trocador de calor (sistema indireto). Tais sistemas podem ter ainda a circulação de fluido, entre o reservatório de armazenamento e os coletores ou trocadores de calor, feita através de bombeamento, quando é chamado de sistema ativo, ou através do efeito de termossifonagem, chamado sistema passivo.

Segundo Lima (2003), se observa mundialmente uma forte tendência ao uso sistemas de aquecimento solar indireto e/ou sistemas com circulação forçada. Isto ocorre, pelo fato de que a maioria da bibliografia vem de países do hemisfério norte de alta latitude, nos quais existem problemas com o congelamento de tubulações. A maioria dos sistemas de aquecimento solar residenciais instalados no Brasil funciona com o aquecimento do fluido diretamente no coletor e a circulação é feita através da diferença de densidades. Os sistemas diretos são utilizados aqui em nosso país, principalmente em residências, há mais de vinte anos, sempre usando a energia potencial do reservatório superior e o efeito da termossifonagem para movimentar a água. Na circulação por termossifonagem o movimento se dá pela diferença de densidade entre o fluido aquecido no coletor e o fluido armazenado no fundo do reservatório, que tem menor temperatura (ARRUDA, 2004).

Segundo Quinteros (2001) a termossifonagem apresenta a vantagem de não ser necessário o uso de energia elétrica para a movimentação da água. Este fato dispensa da manutenção de bombas. Para que haja esse tipo de circulação, é necessário que as placas coletoras solares estejam instaladas no mínimo a 30 cm abaixo da base do reservatório térmico (*boiler*). A distância entre o *boiler* e as placas também deve ser limitada, caso esta distância ultrapasse 5 metros pode não ocorrer

a circulação por termosifão. Na circulação forçada ocorre o emprego de uma microbomba instalada no circuito. As desvantagens nesse tipo de instalação é a dependência da eletricidade e a possibilidade de ocorrerem problemas na microbomba.



**Ilustração 11 - Instalação do *boiler* em nível com a caixa d'água.**

O reservatório térmico (*boiler*) pode ser posicionado em relação ao reservatório de água fria (caixa d'água) de duas maneiras:

- **Em nível:** Quando a altura for muito baixa entre a laje de forro e a cumeeira da cobertura. Nessa situação o *boiler* será instalado no mesmo nível que a caixa d'água (ver **Ilustração 11**);
- **Em desnível:** Quando existe espaço suficiente entre a laje de forro e a cumeeira da cobertura. Nesse caso o *boiler* deve ser instalado abaixo da caixa d'água.

## 2.4 AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA DE BAIXO CUSTO.

Segundo Oliva (1999) a tecnologia de aquecimento solar de água para uso doméstico, por meio de coletores solares do tipo placa plana, é bem dominada e tem sido empregada com bons resultados, quando os aquecedores são projetados, construídos e instalados de forma adequada. Esses aquecedores, entretanto, são encontrados geralmente em casas da população de maior poder aquisitivo.

A redução do preço do aquecedor solar de água, ainda é uma expectativa do mercado e dos pesquisadores nesta área. A idéia de utilizar uma energia gratuita para a população mais carente parece uma ótima alternativa para as políticas sociais, além de ser uma alternativa ambientalmente correta.

Porém Rispoli (2001) afirma que os preços finais dos equipamentos para aquecimento de água usando energia solar ainda possuem em média preços que variam entre US\$ 540 e US\$ 1350 (preços coletados no mercado nacional em agosto de 2000). Este preço não considera os insumos necessários para a condução de água quente e nem a mão de obra para a execução da rede.

Uma das barreiras à maior disseminação do uso de aquecedores solares de água refere-se ao valor do investimento inicial, relativamente elevado, pois os equipamentos são construídos com materiais nobres e de maneira artesanal, em pequena escala. A ampliação do aproveitamento da energia solar em residências passa, necessariamente, pela redução do preço dos equipamentos. Sabe-se de antemão que, por mais baixo que seja o custo do aquecedor solar, o preço deste será maior do que o do chuveiro elétrico (OLIVA, 1999).

Neste contexto, surgem pesquisas que tentam baratear os custos de fabricação dos aquecedores de água que usam energia solar. Macintyre (1996) em seu livro cita o desenvolvimento de um coletor solar aproveitando a geometria da seção transversal da telha de fibrocimento. Alencar (1999), nesta mesma linha de pesquisa, desenvolveu um coletor solar alternativo usando telhas de fibrocimento como parte integrante do coletor solar. O protótipo foi calculado em regime de circulação forçada para se obter o seu rendimento energético, e foi comparado a um coletor convencional. As vazões foram controladas a cada cinco minutos em um período entre 10 e 14 horas. As temperaturas de entrada e saídas da água em circulação foram registradas através de termopares ligados a uma placa de aquisição de dados e esta ligada a um computador. Neste teste foi usado um

piranômetro Kipp-Zonen para correlacionar o desempenho térmico com a radiação solar. O protótipo chegou a uma aproximação de desempenho do coletor convencional próxima de 80%. O custo final do protótipo chegou a ficar 60% menor do que o coletor convencional.

Na busca para reduzir o custo dos sistemas de aquecimento de água usando energia solar, são usadas alternativas como a de substituir materiais trocando os elementos constituintes das placas solares. Um exemplo disto é a pesquisa realizada por Pereira (2000), que usou materiais reaproveitáveis tais como latas e garrafas plásticas. Os resultados da comparação entre um coletor convencional e o alternativo mostraram que no início do dia a temperatura da água no interior do reservatório térmico do coletor solar alternativo encontrava-se em equilíbrio com o meio ambiente. Isto acontecia porque o isolamento térmico não era suficiente para minimizar as perdas do calor durante a noite. Este fato não ocorria no coletor convencional, que às dez horas do dia já apresentava um gradiente de temperatura de 12°C, entre a água no interior do reservatório e o ambiente. A partir das dez horas, começa-se a observar, no coletor alternativo, um gradiente de temperatura na água do reservatório que se intensifica atingindo o máximo por volta das 14 horas, com uma temperatura de 12,5°C, enquanto que no coletor convencional o gradiente de temperatura chega a um máximo de 24°C.

Destacam-se ainda as curvas de temperatura em função da hora do dia dos coletores alternativos e convencionais apresentaram um comportamento qualitativo semelhante, embora estejam defasadas de alguns graus tendo em vista as características dos coletores.

A CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz) vem estudando o aproveitamento da energia solar para aquecimento de água doméstico desde 1989, quando foi criado o projeto Aquecedor Solar de Baixo Custo (ASBC). O projeto visa estudar tecnologias que configurem alternativas viáveis ao chuveiro elétrico e que possam ser acessíveis à população de baixa renda. No decorrer dos estudos realizados pela CPFL foi concebida a idéia de um chuveiro elétrico de baixa potência, auxiliado por um aquecedor solar de baixo custo. A tecnologia foi denominada Pré-Aquecedor Solar de Água para Chuveiros Elétricos de Potência Reduzida. O protótipo especificado nos testes é basicamente um aquecedor solar de menor investimento para o consumidor, projetado para fornecer água pré-aquecida a uma certa temperatura. O chuveiro de baixa potência eleva a temperatura até à de

banho, quando necessário. Conta também com um resistor elétrico no reservatório térmico, também de potência reduzida, para garantir a energia em dias de baixa radiação solar incidente. A soma das potências dos dois resistores é menor do que a metade da potência dos chuveiros elétricos comuns. O protótipo foi especificado com um reservatório térmico (RT) de 500 litros, coletor solar com 2 metros quadrados. Os resultados do teste de campo piloto mostraram elevada satisfação por parte dos usuários e reduções no consumo de energia e na demanda de ponta. Porém, em alguns casos, esta satisfação acabou aumentando o gasto, devido ao aumento do conforto (maior vazão de água quente e maior número e duração de banhos), conforme medições e declarações dos usuários. Para uma adequada análise do impacto sobre a demanda de potência no sistema elétrico é necessária uma experiência em maior escala.

Outro grupo de pesquisadores que desenvolveu importante trabalho sobre ASBC foi uma equipe que apresentou um protótipo no evento ECO-92 realizada no Rio de Janeiro, vindo a participar posteriormente do Centro Incubador de Empresas Tecnológicas (CIETEC) da Universidade de São Paulo (USP), com uma empresa denominada Sunpower (WOELZ, 2006). Este grupo coordenado inicialmente pelos pesquisadores José Ângelo Contini e Augustin Woelz tem a intenção de abordar os problemas energéticos brasileiros e as questões sobre energia solar. Um trabalho proposto em função dos dados do Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica (PROCEL) foi a utilização de um reservatório de 170 litros com temperatura não superior a 40°C, associado a um chuveiro elétrico convencional. Limites que permitem a utilização de materiais econômicos e a preservação da instalação existente. Este estudo não tem a intenção de erradicar o chuveiro elétrico, mas o de racionalizar o seu uso sem a perda do conforto. A principal característica desse tipo de equipamento é o seu dimensionamento, voltado para suprir apenas às necessidades de banho dos consumidores.

Um item importante que não se pode esquecer quando se pretende desenvolver ou mesmo utilizar um aquecedor solar de baixo custo é a sua eficiência. Para Oliva (1999) aquecedor solar de baixo custo (ASBC) são considerados os sistemas de baixo investimento inicial, quando comparados aos aquecedores solares tradicionais. Apesar de, em muitos casos, haver redução relativa do rendimento térmico ou da vida útil.



## 2.5 ISOLANTES TERMICOS

Segundo Cabirol é necessário reduzir ao máximo possível as perdas de calor do coletor solar, das tubulações e do reservatório térmico, protegendo-os por meio de materiais maus condutores de calor. A função do isolamento térmico é criar uma barreira à transmissão do calor principalmente por condução. A aplicação de um material de baixa condutividade térmica diminui sensivelmente a propagação e a perda de calor para o meio.

A condutibilidade térmica de um material exprime-se pelo seu coeficiente de condutibilidade térmica ( $k$ ), que representa a facilidade que o calor atravessa esse material. Quanto menor for este coeficiente, mais isolante será o material. Aumentando-se a temperatura ocorre uma fraca alteração nos valores de  $k$  que frequentemente pode ser desprezada. Dependendo do tipo de isolante térmico tem-se um melhor desempenho em determinadas faixas de temperatura.

Segundo Cabirol (1980), na escolha de um material isolante pode-se considerar os seguintes fatores:

- volume e massa (é muitas vezes interessante usar materiais mais leves);
- temperatura máxima de utilização em regime permanente;
- comportamento em atmosfera úmida;
- resistência ao fogo, aos corrosivos e a putrefação;
- estabilidade química;
- preço.

Atualmente no mercado existem diversos tipos de isolantes térmicos, utilizados na construção civil, em indústrias, usinas, equipamentos, e outras áreas de aplicação. Alguns dos isolantes mais empregados na construção civil:

- LÃ DE VIDRO – São monofilamentos de vidro, aglomeradas com resina sintética, dando origem ao isolante. Possuem uma densidade de 12 a 80  $\text{kg/m}^3$ . Suportam temperaturas de até  $450^\circ\text{C}$  com uma grande variação de densidades, formas e espessuras, atendem a várias necessidades de isolamento térmico. Sua condutibilidade térmica é de  $0,035 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$  ( $0,041\text{W} / \text{m}^\circ\text{C}$ ), apresenta boa resistência ao fogo, a corrosivos e aos produtos químicos, porém tem baixa resistência a umidade.

- LÃ DE ROCHA - Recomendada para isolamento térmico em casos onde se trabalha com altas temperaturas. Possui baixa condutibilidade térmica, com densidades variando de  $32 \text{ kg/m}^3$  á  $160 \text{ kg/m}^3$ . Para a densidade de  $32 \text{ kg/m}^3$ , o coeficiente de condutibilidade térmica varia de  $0,032 \text{ Kcal/mh}^\circ\text{C}$  até  $0,081 \text{ Kcal/mh}^\circ\text{C}$ , aumentando este coeficiente a medida que se aumenta a temperatura. É fabricada a partir de rochas basálticas e outros minerais que aquecidos à cerca de  $1500^\circ\text{C}$  são transformados em filamentos que, aglomerados com soluções de resinas orgânicas, permitem a fabricação de produtos leves e flexíveis até muito rígidos, dependendo do grau de compactação. Também apresenta boa resistência ao fogo podendo chegar a  $400^\circ \text{C}$ . É resistente aos corrosivos e aos produtos químicos, porém tem também baixa resistência a umidade.
  
- ESPUMA DE POLIETILENO - A espuma de polietileno expandido de baixa densidade é utilizada como isolante térmico nos telhados, geralmente fornecida em mantas, é aplicada como subcobertura abaixo dos telhados. Mantendo estável a temperatura e reduzindo o calor que entra pelo teto
  
- POLIURETANO - É um isolante que possui uma baixa condutibilidade térmica, aproximadamente  $0,016 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ . É composto por dois componentes que quando misturados reagem na presença do oxigênio, sendo o seu rendimento na ordem de 20 quilos de cada componente por metro cúbico de espuma. Este produto normalmente é injetado em moldes apresentando certa rigidez, existe também o poliuretano flexível com densidade variando entre  $20 \text{ kg/m}^3$  e  $60 \text{ kg/m}^3$ .
  
- POLIESTIRENO - Em 1831 foi descoberto um polímero vítreo transparente e após um tempo foi utilizado de modo prático e comercial. O primeiro plástico industrial foi produzido em 1930 na Alemanha, e em 1937 os Estados Unidos iniciou a produção, mas em quantidades extensas e relativamente industriais foi em 1946. O poliestireno pode-se apresentar como materiais leves (embalagens) ou materiais duros, vítreos, frágeis (poliestireno “cristal”). O processo de fabricação pode por injeção ou extrusão. Possui uma densidade baixa com variação de  $12 \text{ kg/m}^3$  a  $30 \text{ kg/m}^3$ , coeficiente de condutibilidade de

0,025 a 0,030 Kcal/mh°C, utilizado numa faixa de temperatura de -60°C a +20°C e empregado no isolamento a frio e a quente. A forma mais estudada e conhecida é o poliestireno expandido (isopor ou EPS), utilizado no isolamento térmico e em embalagens.

- POLIESTIRENO EXPANDIDO - De acordo com a Norma DIN ISO-1043/78 ou "Isopor®" (nome comercial), o produto foi descoberto em 1949 pelos químicos Fritz Stastny e Karl Buchholz (Alemanha), sendo um plástico celular rígido, resultante da polimerização do estireno em água, possuindo como agente expensor o pentano que reage com os raios solares e produz expansão. Constitui-se em material isolante e auto-extinguível (não propaga chamas), inodoro, de um material reaproveitável e reciclável que pode voltar à condição de matéria-prima. Sendo comercializado na maioria das vezes em placas, este isolante apresenta bons resultados não só por sua capacidade isolante, mas por ser leve. Possui densidades entre 9 kg/m<sup>3</sup> à mais de 40 kg/m<sup>3</sup>. Sua resistência à compressão varia de 7000 kgf/m<sup>2</sup> à 14000 kgf/m<sup>2</sup>, apresenta baixa condutividade térmica, variando de 0,025 a 0,030 Kcal/m.h.°C, baixa absorção de água, baixo custo e facilidade no manuseio. Segundo dados da Associação Brasileira do Poliestireno Expandido, o material é capaz de suportar variações de temperatura entre -70°C a 80°C, apresenta normalmente mais de 97% de seu volume constituído de ar, possui elasticidade, estabilidade térmica, não embolora e tem aderência a outros plásticos.

## 2.6 CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA NO SISTEMA DE AQUECIMENTO

Segundo Ríspoli *apud* Warmerdam (1998) identificou-se em 1976 a bactéria Legionella, que pode sobreviver na água e é capaz de levar à morte, se o quadro causado pela sua presença não for tratado a tempo. Tem-se registrado uma taxa de mortalidade da 10 a 20% das pessoas infectadas, ainda com 5% de óbitos mesmo na administração de antibióticos. A legionelose, um tipo grave de pneumonia provocada pelas bactérias Legionella pneumophila causou a morte do ministro das comunicações, Sérgio Motta, em 1998.

A profilaxia da doença está no tratamento da água. Estudos mais recentes mostraram experimentalmente que se a água receber aquecimento de 60°C, a bactéria sobrevive apenas três minutos, com 70°C sobreviverá no máximo a 8 segundos. Porém com aquecimento da água somente até a temperatura de 50°C, a bactéria pode sobreviver até duas horas, tempo suficiente para ocorrer contaminações.

Em um primeiro momento pode-se entender que o pré-aquecimento da água nos reservatório não deveria ser aplicado, pois não eleva a temperatura a valores mais altos, ou seja, a bactéria poderia sobreviver neste meio. Sua temperatura ótima de multiplicação está compreendida entre 25 e 42°C com um pH da água de 5 a 7 e seu período de sobrevivência é estimado em cerca 12 meses. Porém, este tipo de sistema não deve ser desconsiderado, pois se deve levar em conta que esta bactéria sobrevive tanto em ambientes naturais como artificiais, inclusive na rede de distribuição de água fria vinda da concessionária e pode também chegar aos pontos de consumo.

Nas redes aonde a água é clorada a bactéria pode somente sobreviver se adquirir resistência ao cloro. Materiais oxidados e outros tipos de materiais formam o principal ambiente para a sua reprodução e sobrevivência. A *Legionella pneumophila* é a espécie mais comum, associada a surtos de doença. São bactérias em forma de bastão, muito comuns em fontes de água natural, tendo sido encontradas em rios, lagos e correntes; amostras de lama e solo; água e lodo das torres de resfriamento; além de outros sistemas de água construídos pelo homem. Para sobreviver, a *Legionella* requer umidade, sabe-se atualmente que se prolifera basicamente dentro de protozoários, encontrados principalmente nas áreas biocontaminadas. Estas áreas são caracterizadas por lodo microbiano, sedimentos lodosos e a existência de água estagnada de dutos sem saída. É uma bactéria saprófita, ou seja, obtém as substâncias que lhe são necessárias das matérias orgânicas em decomposição.

Os sistemas de aquecimento de água não são os únicos ambientes onde podem ser encontradas estas bactérias, podem sobreviver inclusive em aparelhos de ar condicionado, neste caso pode haver contaminação por aspiração. A presença da bactéria de *Legionella* na água não é sinônimo de uma epidemia mortal. Existem 39 diferentes espécies deste tipo de bactéria, sendo 19 delas prejudiciais ao homem. Essa variedade de espécie já foi detectada em muitas fontes de água potável, inclusive água de poço, resultando em contaminação de diversos sistemas públicos

e privados que utilizam essas águas. Os microrganismos encontrados nas águas não tratadas (tais como algas, amebas e outras bactérias), ou em águas submetidas a um tratamento ineficaz, também propiciam a proliferação da pneumophila. Alguns protozoários servem de hospedeiros para essa bactéria, o que permite sua rápida propagação.

Segundo Rísoli (2001), a *Legionella pneumophila* foi descoberta em 1976 com a morte de legionários americanos hospedados num hotel. Outro diagnóstico classificado como legionelosis não pneumônica é conhecida como febre de Pontiac. A febre de Pontiac, após um período de incubação de 24-48 horas, manifesta-se na forma aguda sem complicações pulmonares e cessa em 2-5 dias. Os sintomas são: mal estar geral, dores musculares, cefaléia, seguida rapidamente de febre, às vezes com tosse e garganta avermelhada. Podendo apresentar diarreia, náusea, leves sintomas neurológicos, vertigens ou fotofobia. A doença dos Legionários, após um período de incubação variável de 2 a 10 dias (em média 5-6 dias), manifesta-se com complicações pulmonares discretas e gravidade notável. O quadro pulmonar inicia-se bruscamente com mal-estar, cefaléia, febre e tosse leve, que se acentua com o aparecer dos sintomas respiratórios.

## CAPÍTULO III

### 3. DESCRIÇÃO DA PESQUISA

#### 3.1 O LOCAL DA PESQUISA

Para uma maior aproximação da realidade das residências da região de Curitiba optou-se para desenvolver a pesquisa em uma das casas populares existentes no Centro Politécnico da UFPR. Estas casas foram planejadas e construídas em 2003 pelo programa Construbusiness, com apoio de três instituições de ensino de Curitiba, UFPR, PUC-PR e CEFET-PR (atual UTFPR), além de empresas fornecedoras de materiais de construção e construtoras que faziam parte do programa. Este projeto, denominado na época de Casa Fácil 1.0, foi desenvolvido no campus no Centro Politécnico, tendo sido construídas neste local cinco casas para o estudo de vários tipos de materiais, projetos e custos de casas populares. Hoje estas casas estão sendo ocupadas por centros acadêmicos, apenas a casa da pesquisa em questão permanecia vazia (ver Ilustração 12).



**Ilustração 12 – Casas construídas para pesquisas - Centro Politécnico da UFPR**

### 3.2 DESCRIÇÃO DA CASA POPULAR - OBJETO DE ESTUDO

A casa apresenta dois quartos, sala conjugada com a cozinha e um banheiro, com área de 40m<sup>2</sup>. Foi construída com o sistema construtivo de alvenaria estrutural, empregando blocos vazados de concreto tanto na vedação como na estrutura. É revestida internamente com diversos processos, como a aplicação de gesso, pintura látex ou textura acrílica diretamente sobre os blocos de concreto, etc. Em cada parede foi aplicado um sistema de revestimento diferente, porém a espessura máxima de revestimento não ultrapassou 0,5 cm. Na parte externa da casa foi aplicada uma textura acrílica. Nas janelas foram usadas esquadrias de alumínio, as portas internas de madeira chapeadas e as portas externa com madeira almofadada. Os forros internos e os beirais foram feitos em madeira e na estrutura do telhado foi empregado tesouras simples de madeira sendo as telhas em concreto com inclinação de 43%.



**Ilustração 13 - Casa aonde foi realizado o experimento - Centro Politécnico da UFPR**

### 3.3 O SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA PROPOSTO

O objetivo intrínseco desta pesquisa é incentivar o uso dos sistemas de aquecimento de água usando a energia solar, com o propósito de reduzir o consumo de energia por outras fontes. Para que isto aconteça, entende-se que seja necessário popularizar estes sistemas, deixando-os mais atrativos para os usuários. Desta maneira, quando idealizada a pesquisa, buscou-se alternativas que pudessem

reduzir o custo dos equipamentos, que facilitassem a sua instalação e manutenção e ainda pudessem ser adaptados tanto a edificações antigas como também às novas construções. Dentro da revisão bibliográfica encontrou-se o sistema de aquecimento solar de baixo custo - ASBC (ver item 2.4 pag. 37), que basicamente pré-aquece a água para ser usada com um chuveiro elétrico de baixa potência, e usa materiais mais econômicos para a montagem das instalações. Esta pesquisa baseou-se neste aquecedor de baixo custo, porém foram idealizadas algumas mudanças que facilitassem ainda mais a instalação pelo usuário.

### 3.3.1 Sistema direto

Normalmente o ASBC utiliza o sistema direto de aquecimento, onde a água aquecida para o consumo recebe o calor diretamente do coletor solar. Neste sistema a água deve sair do reservatório térmico passar no coletor e voltar. Para fazer este trajeto, é necessário retirar a água da parte inferior do reservatório e retornar na parte superior. O usuário, ao fazer tal instalação, além de usar uma tubulação adequada e resistente à temperatura do sistema, deve furar o reservatório, colocar adaptadores com flanges e fazer emendas em tubos e conexões.

### 3.3.2 Sistema indireto

Para evitar todo o trabalho de instalação do sistema direto, optou-se nesta pesquisa por usar o sistema de aquecimento solar indireto. Ou seja, a água aquecida para consumo recebe calor de um trocador de calor, no caso uma serpentina pré-montada feita com tubo de cobre flexível. O líquido dentro deste circuito fechado transfere a energia térmica que recebeu do coletor para a massa de água dentro do reservatório. Este líquido refrigerante pode ser a água ou outro fluido que tenha ponto de congelamento mais baixo (COMETTA, 1982), principalmente se existir o risco de uma temperatura muito baixa congelar a água e causar o rompimento das tubulações. É aconselhável para o usuário usar a água como líquido de transferência de calor, o que além de facilitar a montagem evita o risco de contaminação da água de consumo se ocorrer algum acidente durante esta operação.



### 3.3.3 Sistema passivo

O ASBC utiliza ainda o chamado sistema passivo, ou seja, a condução do líquido dentro do sistema funciona por termosifonagem, dispensando o uso do bombeamento do sistema ativo. Para o usuário, a colocação de uma microbomba seria um custo a mais na instalação, além de envolver a parte elétrica e uma manutenção periódica na bomba. Neste experimento optou-se pelo sistema passivo, porém será necessário o uso de uma microbomba caso a instalação tenha de ser feita de maneira que o reservatório fique abaixo do nível do coletor solar (COMETTA, 1982). O processo de termosifonagem não funcionará adequadamente caso a distância entre o coletor e a serpentina seja muito longa (maior que 5 metros), pois a excessiva perda de carga no circuito fará com que a energia do sistema não seja suficiente para movimentar o líquido (QUINTEIROS, 2001).

### 3.3.4 Reservatório térmico misto

No ASBC a idéia principal é diminuir o custo do sistema solar tradicional, substituindo materiais. Reservatórios térmicos feitos de aço inoxidável ou cobre, que com freqüência são os componentes mais dispendiosos das instalações de aquecimento, seriam substituídos por caixas d'água simples de cimento amianto, termoplásticas ou de resinas. Existe também a possibilidade de se usar no ASBC apenas um reservatório tanto para água fria como para a água quente, chamado de reservatório térmico misto (SOSOI, 2006). Porém, devem ser instalados alguns complementos como o redutor da mistura da água fria com a água quente na entrada da água no reservatório e o pescador para captar a água quente da parte superior.

A colocação de um reservatório novo embaixo de um telhado antigo torna-se um grande incômodo para o usuário, principalmente quando este é obrigado a retirar telhas, ripas ou até caibros para conseguir instalar esta nova caixa. Desta forma optou-se por usar na montagem do experimento apenas um reservatório de PVC, fazendo a separação entre a água quente e a água fria somente pelo princípio da estratificação. Neste caso, a diferença de densidade faz com que a água quente permaneça na parte superior do reservatório sem que seja necessário colocar qualquer barreira física entre as camadas de água.

### 3.3.5 Pré-aquecedor de água para o chuveiro elétrico

Outro item importante do ASBC é que ele funciona como um pré-aquecedor para que o chuveiro elétrico possa ser usado com uma potência reduzida. É usado um regulador ligado ao chuveiro para aumentar ou reduzir a sua potência, regulando assim a temperatura de saída da água. Em dias de frio o sistema pode ser ajustado para aumentar a potência e esquentar mais a água. A tubulação de água fria é mantida, sendo feita uma tubulação paralela para o transporte da água que vem do aquecedor solar. Desta maneira é possível obter a água fria vinda diretamente do reservatório e também a água aquecida pelo aquecedor solar, ou então fazer a mistura da água fria com a água quente antes do chuveiro pelo uso dos registros, como acontece nos sistemas convencionais de aquecimento.

São indicadas três maneiras de instalar a tubulação de água quente: fazer o embutimento na parede como uma instalação convencional, neste caso usando uma conexão misturadora em “T” e registros de pressão; fazer o mesmo tipo de instalação apenas deixando a tubulação de água quente aparente; ou furar a laje na mesma direção do chuveiro e fazer a ligação pelo último trecho de tubulação de água fria que sai da parede, neste caso o registro fica alto e deve ser adaptada uma haste para a manobra. Para qualquer uma destas instalações será necessário que o usuário execute cortes na tubulação, emendas, ligações com registros e conexões.

Para esta pesquisa, tentou-se eliminar também esta instalação, usando apenas a água pré-aquecida do aquecedor solar. Para isto, questionou-se a real necessidade da água fria para o usuário, e neste ponto observou-se que a água fria servirá principalmente para que em um dia de muito calor o usuário possa desligar todo o aquecimento e tomar um banho frio, ou seja, na temperatura que estiver à água do reservatório.

Pode-se considerar também que a mistura de água quente com água fria é do ponto de vista energético um desperdício, já que se perde o calor previamente ganho no aquecedor. O uso do regulador de potência pode fazer um efeito similar ao da mistura, diminuindo a potência do chuveiro e reduzindo a temperatura da água, porém no ASBC a temperatura da água quente, pelo fato do sistema ser direto, pode ultrapassar os 40°C, ou seja, neste caso mesmo desligando o chuveiro o usuário ainda teria água quente. Pensou-se então em conseguir uma temperatura mais baixa, mais que ainda possibilitasse a redução do consumo de energia elétrica do

chuveiro, esta temperatura não deveria ultrapassar a temperatura de banho, que é aproximadamente de 40° C.

Na elaboração do experimento utilizou-se apenas uma placa solar com aproximadamente um metro quadrado de área, e o uso do sistema indireto de aquecimento, buscando-se com isto limitar a temperatura de aquecimento da água.

É possível neste sistema evitar duas tubulações, uma de água fria e outra de água quente, usando-se apenas a tubulação já existente de água fria da edificação, mesmo sendo em PVC, para conduzir a água pré-aquecida para o chuveiro elétrico. Nesta condição a temperatura de transporte da água para o chuveiro não deverá ultrapassar os 35°C, evitando com isto o descolamento das emendas nas conexões de PVC. No verão, quando a temperatura ambiente e a temperatura da água que vem da rua forem maiores, existirá um maior risco de ocorrerem problemas nas tubulações. Neste caso, pode-se reduzir a temperatura de transporte pela captação em nível mais baixo dentro do reservatório, simplesmente regulando a bóia do dispositivo pescador. Do ponto de vista do usuário, esta atividade de manutenção do sistema de aquecimento pode ser esquecida durante o passar dos anos, o que pode trazer conseqüências futuras para as instalações. Por esta razão este experimento teve duas preocupações básicas: proporcionar um rendimento satisfatório do sistema, economizando energia no chuveiro elétrico, mas também evitando que um aquecimento demasiado possa causar danos as instalações existentes.

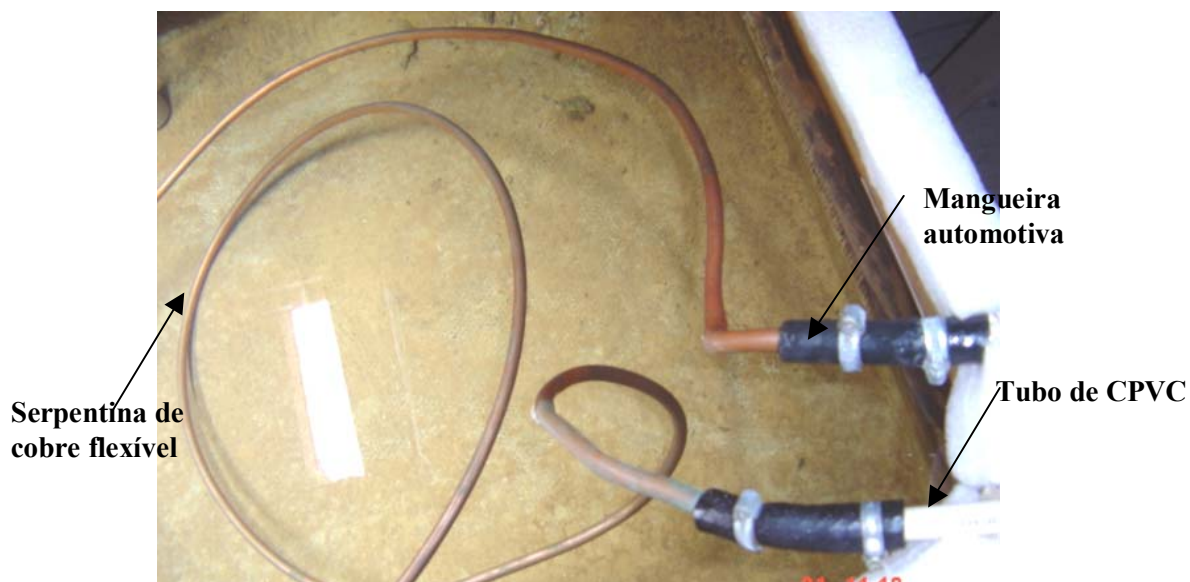
### 3.3.6 Montagem feita pelo usuário

Toda a preocupação com o usuário, que se teve na pesquisa durante a caracterização do sistema de aquecimento, não teria sentido se não fosse levada também para a montagem ou instalação deste sistema na edificação.

Sendo assim, para que o usuário possa fazer, sem auxílio de um encanador, a instalação dentro do reservatório e sobre o telhado da edificação, buscou-se uma solução pré-montada que pudesse ser o mais simples possível, respeitando sempre as condições técnicas exigidas para o uso dos materiais e seus complementos.

A serpentina pode ser colocada inteira dentro do reservatório, sem emendas, necessitando apenas que sejam adaptadas as bóias (flutuadores) que servirão para deixá-la o mais próximo da superfície da água (ver figura 4). Foram utilizadas, nesta montagem, garrafas de plástico do tipo PET como flutuadores, para um sistema

industrializado pode ser usado outro tipo de material que possa permanecer longos períodos dentro da água sem causar o aparecimento de fungos, deterioração ou influenciar a qualidade da água do reservatório.

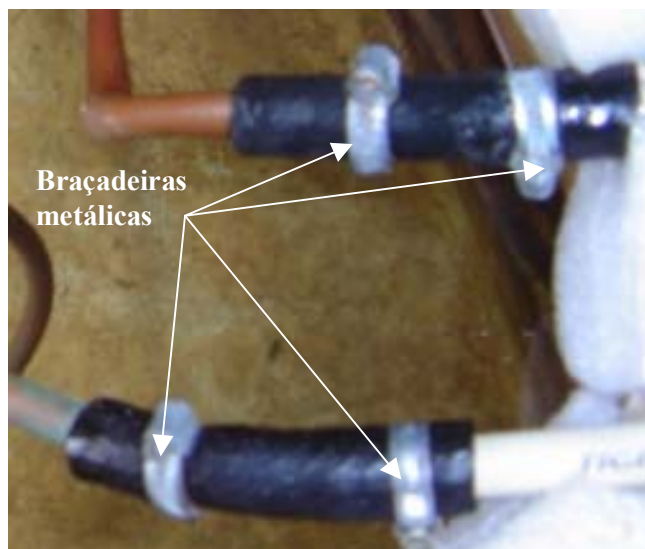


**Ilustração 14 - Serpentina colocada dentro do reservatório.**

Montagem experimental feita em laboratório.

Na ligação da serpentina com a tubulação é necessário colocar um pequeno pedaço de mangueira resistente à alta temperatura, podendo ser usada a mangueira automotiva. Esta mangueira serve para dar maior flexibilidade ao sistema e fazer com que a serpentina possa acompanhar o nível da água dentro do reservatório. A ligação da serpentina com a tubulação deve ser feita preferencialmente no lado de fora do reservatório, evitando assim que o líquido de transferência de calor possa contaminar a água do reservatório no caso de ocorrer um vazamento. No protótipo estudado, usou-se nesta emenda a mangueira automotiva, fixada com braçadeiras metálicas tanto na serpentina de cobre como na tubulação de cloreto de polivinila clorado (CPVC<sup>1</sup>).

<sup>1</sup> Esta tubulação é indicada para a condução de água quente a até 80°C e a pressão de 6kgf/cm<sup>2</sup>.



**Ilustração 15 - Mangueira automotiva fixa a serpentina na tubulação de CPVC**

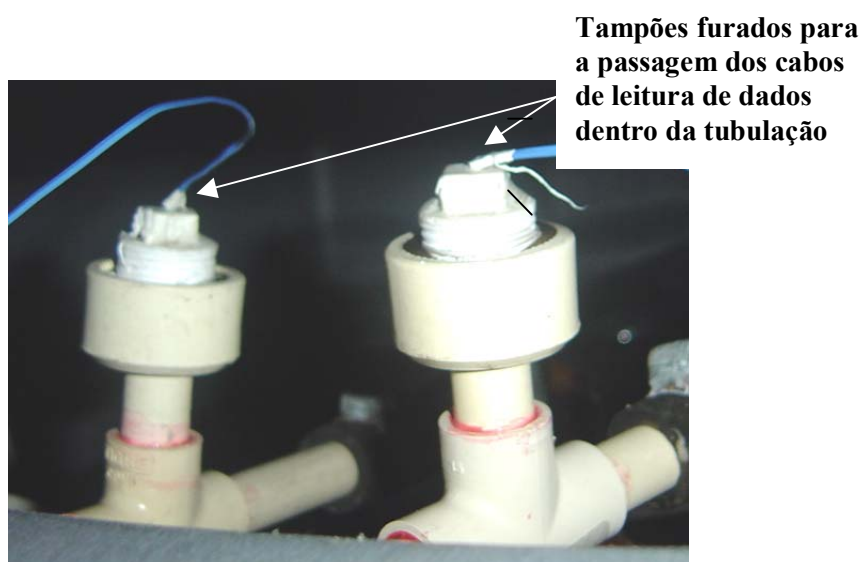
Proporciona a movimentação da serpentina acompanhando o nível da água.

Não é necessário que sejam feitos furos no reservatório, pois tanto os tubos de entrada da serpentina como a de saída podem ser colocados pela borda superior. E caso ocorram frestas muito grandes entre a tampa e a borda do reservatório, que prejudiquem a manutenção da temperatura da água ou facilitem a entrada de insetos, pode-se furar a parede lateral num nível próximo à borda, evitando o problema de vazamento da água do reservatório. Este furo não necessita nenhuma conexão, porém deve ser feito de preferência acima do nível do extravasor (ladrão) e bem ajustado com o diâmetro da tubulação.

Durante a montagem o sistema serpentina-coletor deve ser totalmente preenchido com o líquido de transferência de calor, evitando que bolhas de ar fiquem presas dentro da tubulação, na serpentina ou dentro do coletor. Quando este líquido for água, será mais fácil para o usuário fazer o enchimento com auxílio de uma mangueira de jardim ligada diretamente na rede pública. A pressão da rede empurra as bolhas de ar, porém deve-se ter o cuidado de fazer o enchimento do coletor solar sempre pela sua parte inferior (tubulação de entrada do coletor), deixando correr a água até que se tenha certeza de não mais haver bolhas de ar. Recomenda-se que o enchimento da serpentina seja feito antes da ligação com as tubulações que vêm do coletor. Para isto deve-se posicionar a serpentina dentro do reservatório e enchê-la com água com auxílio da mangueira de jardim, as pontas normalmente ficando

mais altas que o restante da tubulação, impedindo assim o seu esvaziamento até que sejam feitas as ligações das outras tubulações.

E para uma maior certeza de que não existe ar preso nas tubulações, durante o fechamento do circuito, usam-se pequenos trechos de tubos (cachimbos) que sobem acima do nível do restante tubulação, sendo fechados por tampões rosqueados. O enchimento final do circuito deve ser feito através destes cachimbos, colocando-se a água no cachimbo de entrada do coletor e deixando-se vazar por alguns minutos no cachimbo da saída do coletor (ver figura 6), Neste experimento foram usados estes tampões com pequenos furos aonde passaram os termopares usados nas leituras de temperatura da entrada e da saída da serpentina. Para evitar os vazamentos foi usada massa de vedação.



**Ilustração 16 - Cachimbo para a colocação do líquido de transferência.**

Feito com um “T” e um conector solda-rosca fechado com tampão de PVC.

A existência de ar preso nas partes altas da tubulação causa a falha na movimentação da água dentro do sistema serpentina-coletor. Segundo Cabirol (1982) mesmo com a ação de uma bomba de circulação potente o bloqueio causado pelo ar faz com que o funcionamento do circuito seja quase nulo; portanto, indica o uso de purgadores para a saída do ar. É muito importante verificar se não existem vazamentos que possam comprometer o funcionamento do sistema, uma vez que a cada gota de água que sai da tubulação um volume igual de ar entra se acumulando nas partes altas do circuito.

### 3.4 MONTAGEM DO EXPERIMENTO

A montagem do experimento começou pela colocação de um segundo reservatório embaixo do telhado. Isto foi feito por dentro da casa para evitar o trabalho de desmonte do telhado. Foi necessário retirar parte do forro de madeira da casa e executar outro tablado para apoiar este novo reservatório. Apesar de o sistema de aquecimento proposto necessitar apenas uma caixa para armazenar água quente e fria ao mesmo tempo, foi necessária a colocação de outro reservatório para que se obtivessem dados de comparação. A idéia inicial era deixar uma caixa isolada termicamente com o sistema de aquecimento instalado e na outra caixa não fazer nenhum tipo de isolamento e também não colocar nenhum sistema de aquecimento.

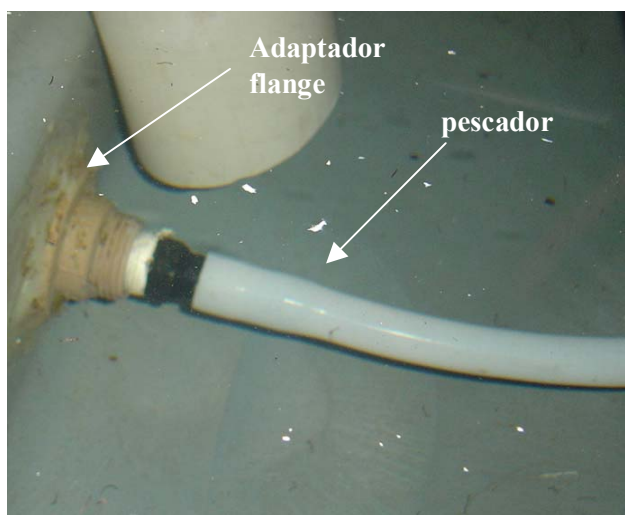


**Ilustração 17 – Reservatório isolado termicamente e outro sem isolamento.**

Como a caixa que já estava instalada era de 500 litros procurou-se outra com o mesmo volume. A instalação do sistema de aquecimento seguiu as mesmas recomendações descritas no item anterior, porém foram necessárias mudanças na tubulação que alimentava o chuveiro elétrico (no barrilete de distribuição). Estas mudanças ocorreram porque estava prevista a extração de água dos dois reservatórios não simultaneamente. E esta retirada de água deveria ocorrer no ponto de saída do chuveiro, dentro do banheiro, para que fosse medida a temperatura de chegada ao ponto de consumo. As caixas foram ligadas ao barrilete e os registros de

gaveta serviram para controlar o abastecimento e evitar que ocorresse a mistura da água dos reservatórios.

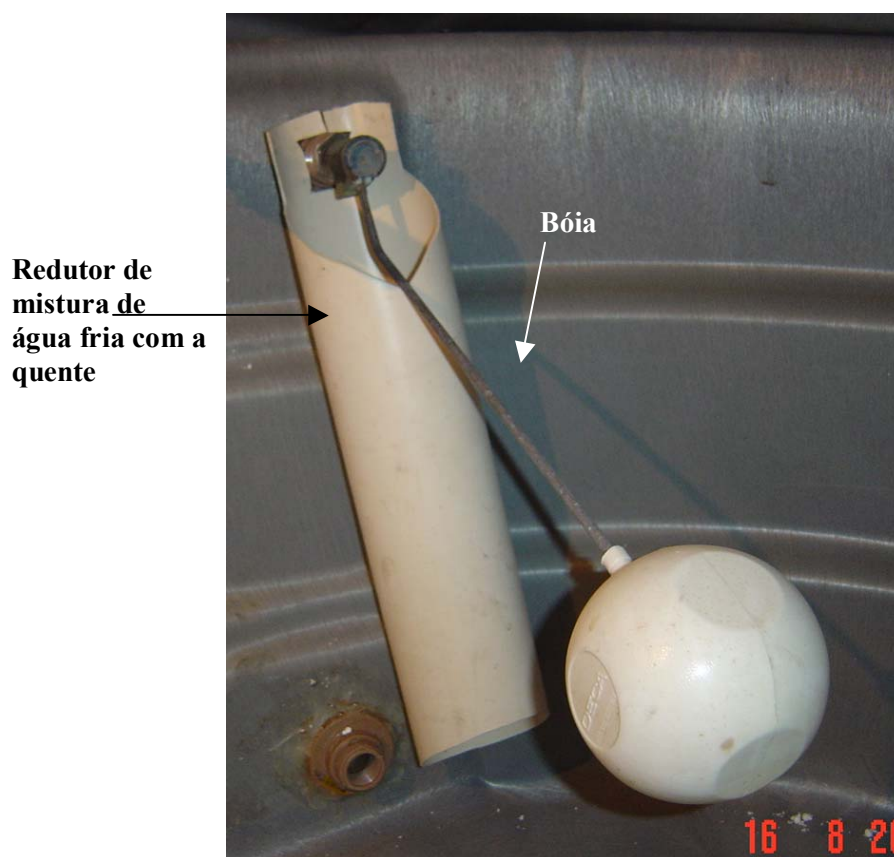
O dispositivo pescador, usado para a captação da água aquecida na parte superior do reservatório, foi feito com um pedaço de mangueira transparente de 40 milímetros de diâmetro. Uma das pontas desta mangueira foi conectada no adaptador tipo flange no fundo do reservatório, saindo para o barrilete de alimentação do chuveiro. Na outra ponta foi amarrada uma pequena garrafa tipo PET para servir de flutuador. O ajuste na posição da mangueira foi dado em função da quantidade de água que havia dentro da garrafa, quanto mais água se colocava para um nível mais baixo a ponta da mangueira descia. Esta mangueira ficava mais rígida com temperaturas baixas e mais flexível com temperaturas altas. Durante os meses mais frios era necessário diminuir o volume de água na garrafa e no verão aumentar a quantidade de água, sendo necessário inclusive a colocação de algum tipo de peso dentro da garrafa para servir de lastro. Existem outros tipos de pescadores mais rígidos ou semi-rígidos desenvolvidos para o ASBC que poderiam ser usados (SoSol, 2006), Deu-se preferência a este tipo de pescador pois já existia a mangueira e o adaptador para a flange.



**Ilustração 18 – Entrada do barrilete de alimentação do chuveiro adaptado o dispositivo pescador.**

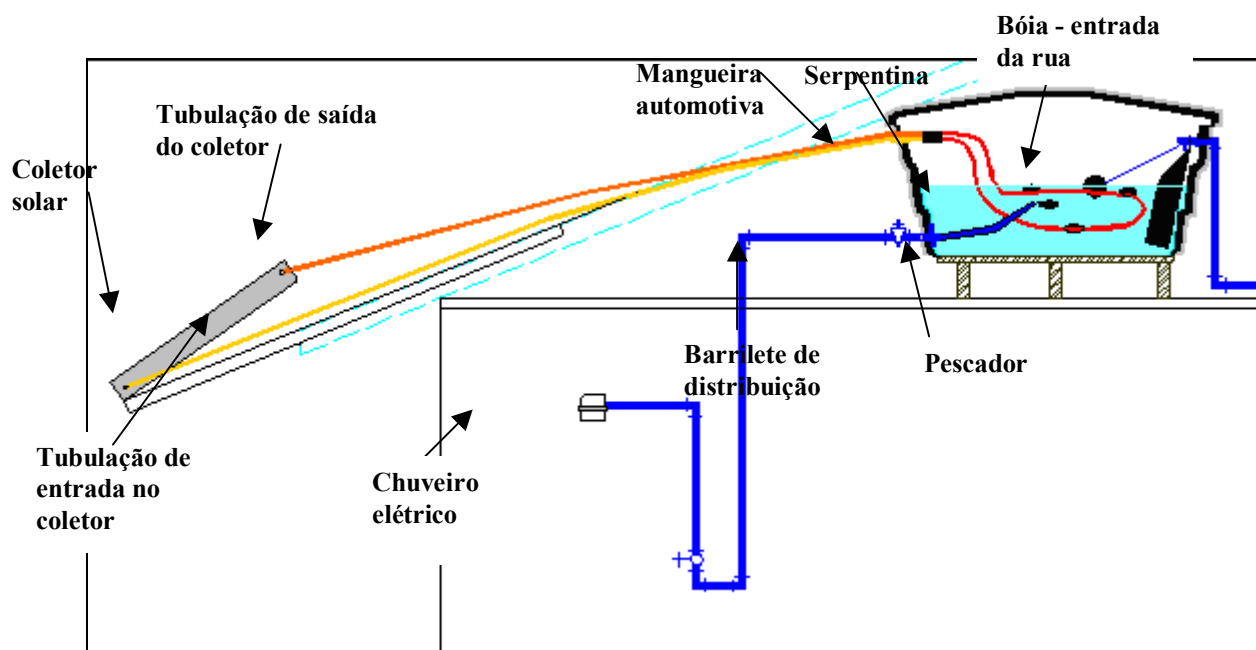


O redutor de turbulência, para a entrada da água no reservatório, foi feito com um pedaço de tubo de 100 milímetros de diâmetro. Havia sido testado um diâmetro menor (50mm) mas este transbordava quando a velocidade da água da rua aumentava. Este redutor de turbulência foi cortado em formato de “v” e amarrado ao tubo na saída de água da bóia. A função deste tubo era fazer a água entrar pela parte de baixo do reservatório e evitar a mistura das camadas de água (ver Ilustração 19). O corte em formato de “v” possibilitava que o braço da bóia continuasse abrindo e fechando a água com a variação de volume do reservatório.



**Ilustração 19 – Redutor de mistura - faz a água fria entrar por baixo evitando a mistura. Mantém a separação atmosférica entre a rede de abastecimento e o reservatório.**

Além destes dois dispositivos, a montagem do experimento teve ainda o isolamento térmico do reservatório, a instalação do coletor, da tubulação e da serpentina, e ainda a colocação dos termopares e do equipamento de leitura de temperatura e armazenamento dos dados. Estes itens são descritos a seguir:



**Ilustração 21 - Esquema de montagem do sistema de aquecimento solar com isolamento do reservatório.**

### 3.5 MONTAGEM DO ISOLAMENTO TÉRMICO DO RESERVATÓRIO.

A colocação do isolamento térmico nos reservatórios residenciais poderia ser um processo industrial, incorporado ao próprio reservatório durante a sua fabricação. Não foram identificados no Brasil, para o uso residencial, produtos que viabilizassem controlar a temperatura da água fria que foi reservada, exceto em casos especiais. Aparentemente, as indústrias ainda não deram uma maior importância a este tipo de produto.

Neste experimento buscou-se analisar algumas maneiras de fazer um isolamento térmico em um reservatório que já estivesse instalado ou em fase de instalação. Alguns detalhes da construção dificultam este trabalho, como a baixa altura do telhado, a falta de alçapões e acessos ou a passagem de materiais com grandes dimensões pelos vãos do ripamento que seguram as telhas (ver figura 9).



**Ilustração 22 -Espaço limitado sob o telhado e dificuldades para entrada de materiais entre as ripas das telhas.**

O primeiro material estudado para o isolamento térmico foi a espuma de poliuretano expandido, isolante que possui uma baixa condutibilidade térmica, aproximadamente  $0,018 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  e é composto por dois componentes que, quando misturados, reagem na presença do oxigênio. Dos pontos levantados como problemas para este tipo de isolamento, o preço da espuma de poliuretano é um item a ser considerado, pois pode custar quase o dobro dos outros tipos de materiais isolantes, embora somente necessite uma espessura de parede mais fina para dar o mesmo resultado. Além disto, é necessário montar uma forma externa para segurar a espuma e dar o formato e dimensões necessárias, isto pode inviabilizar o seu emprego pela falta de espaço embaixo do telhado. Este produto é um excelente material isolante e poderia ser melhor estudado para esta finalidade, sendo um tópico indicado para futuras pesquisas.

A lã de rocha ou a lã de vidro, por apresentarem fibras soltas, foram materiais a princípio descartados deste experimento. Apesar de bons isolantes houve uma maior preocupação com o manuseio pelo usuário, que poderia apresentar algum tipo de alergia a estas fibras.

### 3.5.1 Dimensionamento do isolamento térmico

Da análise dos produtos foi escolhido o poliestireno expandido (EPS) em placas como melhor opção de isolamento, principalmente pela facilidade de montagem pelo usuário. Estas placas são vendidas no comércio com dimensões de 100mm por 50mm em diversas espessuras variando de centímetro a centímetro. Na determinação da melhor espessura para este experimento foi usada uma simulação

com dados do reservatório. Esta simulação apontou para uma placa com espessura de 5cm (ver anexo 4), com o custo levantado na época da montagem de aproximadamente 4 dólares por placa.

As equações para o dimensionamento da espessura do isolante térmico foram as seguintes:

$$G = mc(T_{i,v} - T_e)/3600 \quad (1)$$

Onde:

$G$	Insolação sobre o plano inclinado do coletor	(W)
$\dot{m}$	Vazão mássica	(kg/l)
$c$	Calor específico da água; adota-se 4180	(J/kg°C)
$T_{i,v}$	Temperatura interna	(°C)
$T_e$	Temperatura externa	(°C)

$$Ut_{\text{agua}} - Ut_{\text{ar}} = mc / dt(-T_{\text{agua}} + T_{\text{agua,velha}}) \quad (2)$$

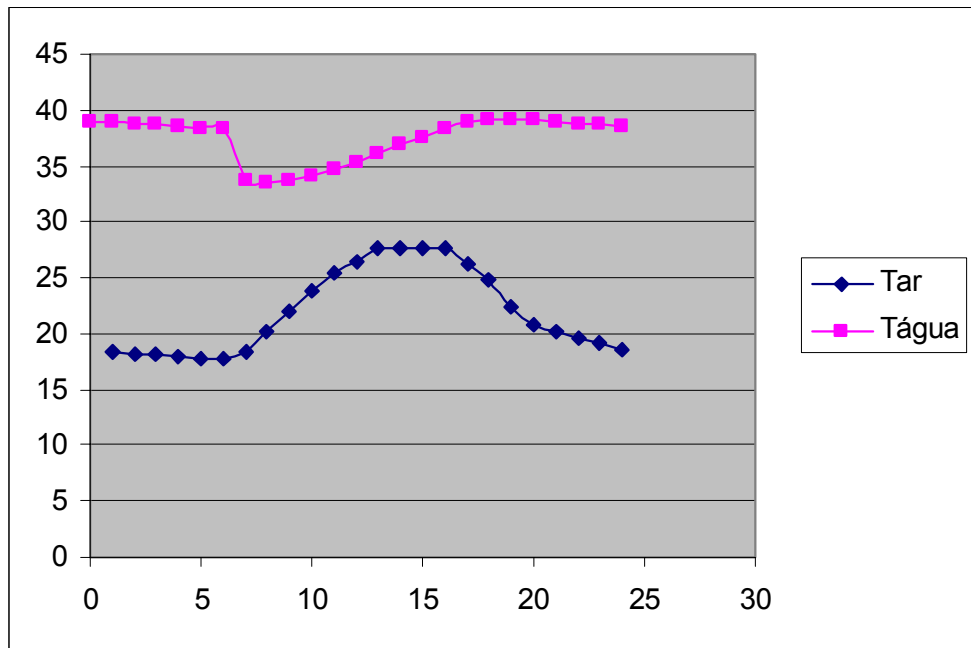
Onde:

$Ut_{\text{agua}}$	Energia da água	(W)
$Ut_{\text{ar}}$	Energia do ar	(W)
$T_{\text{agua}}$	Temperatura da água que entra	(W)
$\dot{m}$	Vazão mássica	(kg/s)
$c$	Calor específico da água; adota-se 4180	(J/kg°C)
$T_{\text{agua,velha}}$	Temperatura da água no instante anterior	(°C)

$$U(T_{\text{agua}} - T_{\text{ar}}) = mc(-T_{\text{agua}} + T_{\text{agua,velha}}) \quad (3)$$

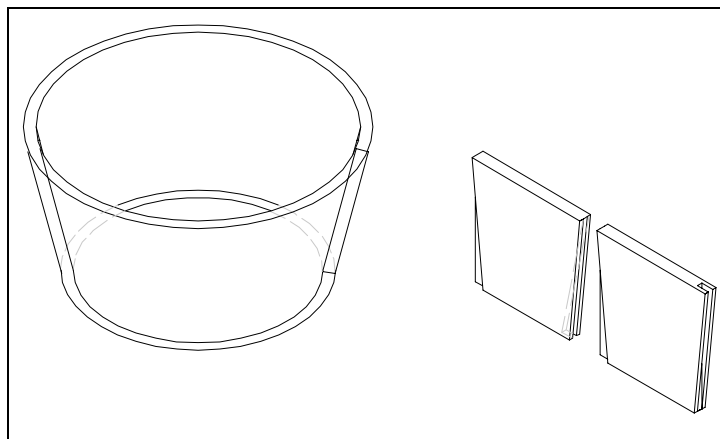
$$(U - mc / dt - T)T_{\text{agua}} = (-T_{\text{ar}} + T_{\text{agua,velha}}(mc / dt)) \quad (4)$$

$$T_{\text{agua}} = -(Ut_{\text{ar}} - T_{\text{agua,velha}}(mc / dt))/(U - mc / dt)$$



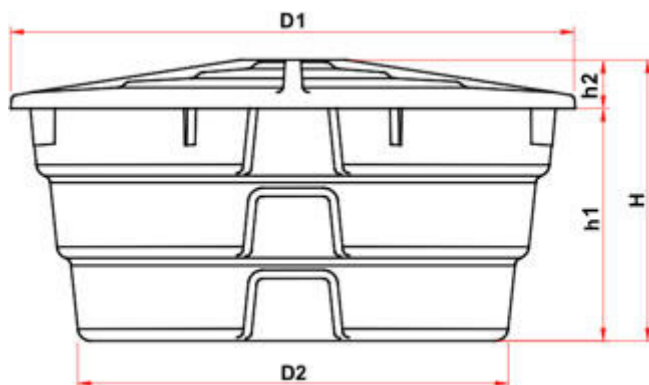
**Ilustração 23-Gráfico simulando o aquecimento da água dentro do reservatório para uma espessura de 5cm de isolante (EPS)**

Para a montagem do isolamento, foi necessário fazer um projeto de aproveitamento das placas, especificando a posição dos cortes e dos encaixes (ver



**Ilustração 24 – Esquema do formato cônico e arredondado do reservatório e placas de EPS cortadas com encaixe.**

O reservatório apresentava um formato cônico e arredondado, com dentes nas paredes laterais e também na parte superior da tampa.



Cotas	Valores
D2	1008,8
H	670,31
h1	550,69
tampa	
Cotas	Valores
D1	1344,89
h2	119,62

**Ilustração 25 - Reservatório de 500 litros utilizado no experimento.**

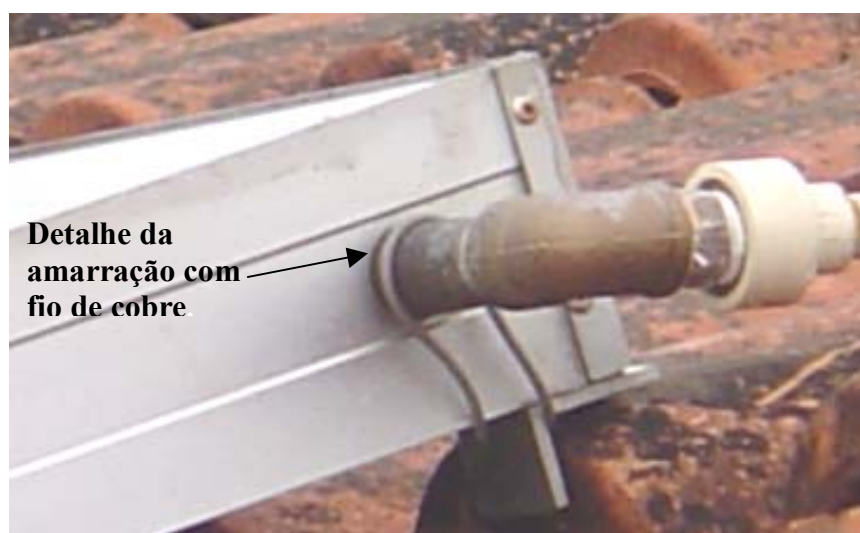
**Fonte:** Catálogo Tigre

Este formato dificultou a colocação das chapas isolantes que eram retas, e apesar dos encaixes estudados, as placas se soltavam facilmente uma das outras. Foi necessária a utilização de tiras metálicas estampadas para dar um aperto na fixação das placas. Enquanto se apertava a cinta, a placa se deformava ficando com o formato arredondado da caixa. Durante o aperto das cintas usou-se pedaços de papelão para evitar que as tiras metálicas cortassem as placas de EPS.

### 3.6 CARACTERÍSTICAS DO COLETOR SOLAR E SUA FIXAÇÃO SOBRE O TELHADO

O coletor solar instalado foi cedido pela empresa Aquamec da região de Curitiba, que há cerca de 20 anos trabalha com aquecimento solar. Esta placa apresentava uma estrutura em chapas de alumínio rebitadas, com vidro de 4mm e uma tubulação interna em cobre de 22mm de diâmetro. A área do coletor é relativamente pequena, com 0,90 metros quadrados, sendo a dimensão total de 885mm x 1135mm, e dimensão efetiva de incidência de raios solares de 830mm x 1080mm. Com estrutura de alumínio e vidro e as tubulações em cobre, a placa tem um peso de 13,5kg quando vazia, o que para o manuseio de apenas uma pessoa pode ser considerado como razoável. Porém, esta placa apresenta uma estrutura bastante lisa e sem lugares de pega para as mãos, o que dificulta o manuseio sobre o telhado. A fixação dos coletores solares normalmente é feita aproveitando a rigidez da tubulação de cobre. No caso do experimento, a tubulação de CPVC não conseguiu dar a mesma rigidez e neste caso poderia ocorrer a quebra da tubulação e o escorregamento do painel, principalmente quando houvesse um vento muito

forte. O coletor foi então amarrado na armação do telhado usando-se fios de cobre (ver Ilustração 26 ). Para o usuário esta amarração do coletor não se torna tão trabalhosa, já que o fio de cobre apresenta grande flexibilidade e pode passar pelas frestas das telhas sem maiores dificuldades, sendo necessário apenas retirar duas telhas, no caso de amarração em apenas dois pontos superiores da placa, ou quatro telhas para fazer esta amarração nos quatro cantos da placa. Para esta fixação é necessário marcar as telhas que serão retiradas, medindo-se a placa ou colocando-se a placa sobre o telhado na posição que se deseja, em seguida retira-se o coletor e as telhas, amarra-se um fio que seja suficiente para segurar o painel (aproximadamente 50cm) em seguida coloca-se a telha novamente e o painel e amarrando-se os quatro cantos preferencialmente na tubulação de cobre que sai do coletor.



**Ilustração 26 – Detalhe da fixação do coletor solar sobre o telhado**

Alguns coletores solares possuem elementos de fixação para o telhado que ajudam a dar maior rigidez. É possível também a colocação de tiras de aço aparafusadas para fazer esta fixação, porém deve-se ter cuidado com a oxidação causada pela diferença de potencial entre o aço da tira e alumínio da placa ou o cobre da tubulação, sendo necessário neste caso que haja um isolamento entre estes materiais.

A fixação diretamente sobre o telhado, sem um suporte apropriado, faz com que o ângulo de inclinação do coletor acompanhe o caimento do telhado. Segundo Cabirol (1982), para coletar a maior quantidade possível de energia durante o ano



todo em coletores fixos, deve-se orientar a placa com um ângulo em relação à horizontal igual à latitude do lugar acrescido de aproximadamente  $10^\circ$ , voltados para o norte no hemisfério sul, sendo reduzida a energia captada em aproximadamente 15% caso a orientação seja a nordeste ou noroeste.



**Ilustração 27 – Ângulo de inclinação da placa acompanhado o telhado**

No caso deste experimento, o ângulo de inclinação acompanhou o telhado em  $22^\circ$ , a posição da casa e o tipo de telhado em duas águas, forçaram a colocação da placa orientada a noroeste, que para a pesquisa foge do ideal de  $35^\circ$  em função da latitude de Curitiba (latitude  $25^\circ + 10^\circ$ ). Numa segunda fase da pesquisa, onde foram feitos ajustes no sistema, mudou-se a posição do coletor para abaixo do beiral, apoiado em um suporte feito com perfis de alumínio. Então foi possível aumentar o ângulo de inclinação para  $35^\circ$ , mas não foi possível girar o painel para conseguir a direção Norte, ficando ainda voltado para Noroeste. Este suporte facilitou a fixação da placa coletora e melhorou o desempenho do sistema, porém deixou o coletor em uma posição mais vulnerável, pois pode ser alcançado pelo lado externo da casa. O suporte de alumínio que foi adaptado ao painel solar teve que ser fixo no ripamento das telhas, entrando pelo beiral, isto fez com que a sua posição em relação ao Norte acompanhasse o caimento do telhado. Foram



analisadas outras possibilidades de instalação, como a de instalar o coletor servindo de abrigo para a porta de entrada da casa. Porém, isto mudaria a direção das tubulações e também o posicionamento dos reservatórios, o que acabou não sendo viável para o término deste experimento.

### 3.7 CARACTERÍSTICAS DA SERPENTINA E TUBULAÇÕES

Na montagem da tubulação entre o coletor e a serpentina, optou-se por utilizar tubos de CPVC (cloreto de polivinila clorado). A vantagem observada foi o uso do adesivo no lugar da solda de estanho usada na tubulação de cobre. Apesar da tubulação de cobre resistir a maiores temperaturas, a emenda desta tubulação com o uso do maçarico e ainda a ser realizada em um plano inclinado (sobre o telhado), representou uma maior dificuldade para o usuário que, a princípio, não teria um treinamento para fazer este tipo de solda. A diferença de custo levantada entre o CPVC e o cobre não é grande quanto a diferença entre o PVC (cloreto de polivinila) e o cobre. Não foi, então, determinada uma vantagem significativa de custo entre estes dois materiais.

Foi também analisado o uso do PVC como ocorre em alguns sistemas de aquecimento solar de baixo custo (SoSol, 2006), porém a temperatura recomendada pelo fabricante para os tubos de PVC não deve ultrapassar os 35°C, para que não ocorram problemas com o adesivo. O sistema de aquecimento poderia ultrapassar esta temperatura comprometendo o experimento. Portanto, neste caso optou-se por não usar o PVC. Já o CPVC, apesar de custar mais que o PVC, resiste a temperaturas de até 80°C e pressão de 6 kgf/cm<sup>2</sup>, segundo o catálogo do fabricante, sem problemas de descolamento das emendas. Outro material estudado foi a tubulação de polipropileno. Este material resiste a até 100°C, porém como a emenda deste tipo de tubulação é feita com termo fusão ou rosca, concluiu-se que também poderia dificultaria a montagem para o usuário. Como outra opção para este material, poderia ser usado polipropileno em forma de mangueira, e as emendas seriam com conectores cônicos rosqueados diretamente no coletor solar e na serpentina. Como a maior parte da tubulação ficaria pendurada sob o telhado, esta mangueira flexível poderia deformar causando pontos de acúmulo de ar, impedindo o fluxo da água. O polipropileno é um produto importado, o que o torna mais difícil de ser encontrado no comércio local.

O trocador de calor foi montado em forma de serpentina. Foi feito com um tubo de cobre flexível sem emendas com cinco metros de comprimento. Com diâmetro externo de 1/2”(correspondente a 15mm), espessura de 0,79mm, e indicação da pressão de serviço na ordem de 60 kgf/cm<sup>2</sup> dada pelo fabricante. Esta tubulação por sofrer tratamento térmico após a trelifação possui boa flexibilidade é normalmente usada em instalações de gás, sendo vendido no comércio em rolos. Este tipo de tubo não exige muito esforço para ser dobrado, caso seja feito um ângulo muito fechado de curvatura pode ocorrer o amassamento e a interrupção total no fluxo da água. Para distribuir bem a serpentina por dentro do reservatório deve-se curvar a tubulação trecho a trecho, usando de preferência algum tipo de gabarito arredondado. No inverno com temperaturas baixas, este tubo se torna mais frágil podendo quebrar durante a sua dobragem, deve-se evitar fazer a curvatura dentro do reservatório com a água muito fria.

### 3.8 CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

Para a aquisição dos dados de temperatura do experimento foi usado um termômetro digital com datalogger, da marca Voltcraft modelo K204, para 4 leituras simultâneas programado para guardar os dados a cada 10 minutos.



**Ilustração 28 – Detalhe do datalogger posicionado na estrutura de madeira do telhado, próximo aos dois reservatórios.**

A memória do equipamento permitia a coleta de dados durante vários dias seguidos, porém foi necessário instalar uma fonte para usar a eletricidade da casa, já que a carga da bateria não era suficiente para alimentar o equipamento durante o tempo necessário. Estas leituras foram posteriormente descarregadas no computador, analisadas e transformadas em gráficos.



**Ilustração 29 – Termômetro digital usado como apoio nas leituras complementares.**

Outros dois termômetros digitais, com duas leituras simultâneas cada, foram usados para leituras auxiliares, porém estes termômetros não tinham armazenamento de dados. Os termopares usados faziam parte dos equipamentos, e são do tipo k, isolados com PVC. Os pontos de medição foram colocados no fundo e na superfície de cada caixa, além de pontos na saída e na entrada de água na serpentina. As medidas no ponto do chuveiro foram feitas com o termômetro digital, fazendo-se uma leitura a cada 5 litros de água retirada.

### 3.9 PROBLEMAS DE MONTAGEM E INSTALAÇÃO

Foram observadas e anotadas as dificuldades encontradas durante a instalação e uso do sistema pesquisado. A intenção destas observações, descritas abaixo, foi a de relatar as falhas do sistema para a sua correção futura, minimizando as dificuldades de montagem e de uso do sistema.

- No momento da montagem do circuito o sistema não funcionou. - Quando foi colocada água pela primeira vez e o sol começou a aquecer o coletor, o sistema não

deu a partida, ou seja, não aconteceu a troca de calor. Este fato foi evidenciado pelo não aquecimento da serpentina, quando o sistema funciona é possível sentir a diferença de temperatura entre a entrada e saída da água, apenas segurando com a mão a tubulação de cobre. Somente com auxílio da mangueira ligada na rede pública foi possível fazer o sistema funcionar, retirando o ar preso na tubulação.

- A braçadeira que prendia a mangueira da ligação entre a serpentina e a tubulação de CPVC oxidou - O vapor da água dentro do reservatório acelerou este processo, dificultando a retirada da braçadeira e a manutenção do sistema (colocação de água), além de provocar neste ponto o vazamento do líquido de transferência de calor da serpentina para dentro do reservatório. A solução foi a troca da braçadeira por outra mais resistente ao processo de oxidação.



**Ilustração 30– Braçadeira metálica apresentando sinais de oxidação**

- Superaquecimento na tubulação de CPVC – em um momento da pesquisa, quando aconteceu um vazamento do líquido de transferência de calor, a água dentro da tubulação de CPVC ficou parada aumentando a sua temperatura à medida que os raios solares incidiam sobre o coletor. Algumas medições feitas dentro deste sistema, nestas ocasiões, mostraram temperaturas próximas a 80°C. Não foram, porém, registrados vazamentos nas emendas dos tubos ou conexões. Notou-se apenas um forte cheiro de adesivo dentro da tubulação vazia quando o circuito foi aberto. Devem ser evitados os vazamentos, verificando periodicamente se nível de água dentro do circuito abaixou.
- O pescador ficou preso na serpentina não acompanhando o nível da água para o abastecimento das instalações. - Neste caso deve ser colocado em uma posição que não fique próximo da serpentina ou usar outro tipo de pescador (ver

revisão bibliográfica). A garrafa PET amarrada na ponta do pescador, que serve para regular o nível de captação dentro do reservatório, tem seu peso alterado com aumento ou diminuição da temperatura da água. A água colocada como lastro dentro da garrafa aumenta ou diminui de volume com a variação da temperatura, causando a saída do pescador para fora da água ou o seu afundamento demasiado. A solução encontrada foi a colocação de pesos dentro da garrafa. Porém no frio estes pesos devem ser retirados.

- Foi constatada a perda de calor para o ambiente na tubulação de CPVC, sendo necessário a colocação de isolante térmico ao seu redor. O catálogo do fabricante cita como vantagem desta tubulação, que não é necessário o isolamento térmico pois o CPVC já seria um bom isolante. Como a tubulação estava aparente, as perdas puderam ser notadas por radiação e convecção a partir da face externa do tubo e pela melhora no desempenho do sistema depois da colocação do isolante térmico.
- Foi constatado o aparecimento de uma fina camada de zinabre recobrendo a tubulação de cobre. Esta camada tenderá a aumentar sendo necessária uma limpeza futura como forma de manutenção do sistema.



**Ilustração 31 – Tubulação da serpentina apresentando camada de zinabre, que pode ser facilmente removida com um pano seco.**

- Na montagem do isolamento com uso de placas de EPS, o formato cônico da caixa dificulta a fixação das cintas metálicas que tendem a descer na medida em que se dá o aperto. Foram usados pequenos blocos de EPS em forma de cunha para auxiliar a fixação e evitar o escorregamento da cinta metálica.



**Ilustração 32 - Revestimento de EPS do reservatório – a cinta metálica prende as placas**

- Cabirol (1980) cita alguns acessórios que podem ser usados nas instalações de aquecedores solares, entre eles a válvula de retenção horizontal para evitar o fluxo em sentido inverso quando o coletor solar estiver mais frio que o reservatório. Porém, esta válvula introduz uma elevada perda de carga num circuito cujo diferencial de pressão já é reduzido.

No sistema do ASBC foi desenvolvida uma válvula para o circuito aberto em forma de membrana, bastante leve, que é usada na saída da tubulação que vem do coletor, dentro do reservatório, impedindo a circulação em sentido contrário (SoSol, 2006). No experimento realizado os dados de temperatura coletados dentro do sistema de aquecimento, levaram em um primeiro momento a suspeita de que havia um possível retorno da água fria do coletor para dentro do reservatório. Pois a temperatura da água dentro da tubulação próxima a serpentina, apresentou-se por diversas vezes menor que a da temperatura da água de dentro do reservatório.

Foi então desenvolvida uma pequena válvula de retenção para tentar solucionar este problema. Usou-se para isto pequeno pedaço de tubos de CPVC com diâmetro de 28 mm encaixado na tubulação de 15 mm. Dentro deste, foi colocado um pequeno cone de base arredondada, feito em plástico de engenharia. Como a tubulação se encontrava inclinada, o cone deslizava dentro do tubo,

fechando a passagem de água quando houvesse circulação em sentido contrário e, sendo bastante leve, a água o empurrava para cima parando nas bordas menores da tubulação e deixando a água passar. Este dispositivo foi instalado na tubulação de CPVC na saída do coletor, por alguns dias para verificar a sua eficiência, porém notou-se que este não conseguia bloquear totalmente o líquido, pois o cone interno tinha deficiência em seu formato arredondado, e os dados de temperatura ainda permaneciam com as mesmas características. Este dispositivo foi então retirado para evitar maiores perdas de carga.

- Cabirol (1980) cita ainda o emprego da câmara de expansão e da válvula de segurança para evitar problemas de rompimento da tubulação pela dilatação da água quando aquecida. Como citado anteriormente, o emprego da mangueira automotiva, tanto na tubulação de entrada como na de saída da serpentina, amenizou o problema da dilatação. Porém, neste experimento houve vazamento em uma destas mangueiras. A braçadeira de aço usada para apertar a emenda nos tubos de CPVC e de cobre apresentou notável oxidação, principalmente por ter ficado dentro do reservatório sujeita ao vapor da água. Não foi possível dizer se o vazamento aconteceu pela falha no aperto da braçadeira, devido à oxidação, ou se água dentro da tubulação dilatou provocando a movimentação e o afrouxamento da braçadeira. Este vazamento em particular não foi detectado visualmente, já que toda a tubulação que estava dentro do reservatório permanecia sempre umedecida pelo vapor da água. Somente sendo detectado quando o circuito foi aberto.

As leituras de temperatura da água, dentro da tubulação, coletadas entre a entrada e a saída de serpentina, apresentavam grande variação e inversões de temperatura, principalmente quando não havia mais a radiação solar. Cogitou-se no erro do equipamento de leitura ou na falta de isolamento dos termopares. Foi então feita uma verificação com o uso dos outros termômetros digitais, e não foi detectada uma variação significativa nas temperaturas lidas. Buscou-se isolar de uma melhor maneira os cabos dos termopares.

- Os problemas com as leituras e a desconfiança de que havia uma perda muito rápida de energia causada pelo retorno da água fria, além do problema com o vazamento, levaram a uma mudança no sistema. Uma medição sobre o nivelamento do coletor em relação à serpentina indicou que apesar do coletor estar bem próximo ao beiral, a tubulação de entrada de água estava a apenas 4 cm abaixo do fundo do reservatório e a saída da água estava praticamente no mesmo nível da água de

dentro do reservatório. Cometta (1982) recomenda que o bordo superior do painel solar esteja entre 50 a 60 centímetros abaixo do trocador de calor. Já Cabirol (1980) afirma que o funcionamento do termosifão é caracterizado pela sua carga hidromotora, chamada de corrente de carga e que depende de dois fatores: a diferença de temperatura da água entre o trocador e o coletor e a diferença de altura entre meio do trocador e o meio do coletor solar. Quando esta diferença de altura for menor que 30 centímetros deverá ser usada uma válvula de retenção para evitar o fluxo em sentido inverso. A mudança no circuito deixou a saída de água do coletor a aproximadamente 20 centímetros abaixo do fundo do reservatório. Esta mudança alterou os dados coletados de temperatura e as suas curvas em função do tempo não apresentaram mais as inversões percebidas anteriormente.

- Durante a mudança feita no sistema de aquecimento, foi necessário retirar a água do coletor e notou-se a falta de uma torneira para o esvaziamento e limpeza do circuito.

### 3.10 O SISTEMA DE AQUECIMENTO COMO UM PRODUTO

Segundo Aldabó (2002), o Brasil apresenta um ótimo índice de radiação solar, principalmente no nordeste, onde possui valores entre 1752 kWh/m<sup>2</sup> a 2190 Wh/m<sup>2</sup> por ano. Para comparação, a França recebe entre 1000 kWh/m<sup>2</sup> e 1500 kWh/m<sup>2</sup> por ano. Aproveitar uma pequena parte desta energia para aquecer a água é sem dúvida uma grande vantagem. Nas construções, o uso desta energia para o aquecimento natural do ambiente e iluminação é algo tão normal que é quase despercebido pelas pessoas que a utilizam. Porém, quando o assunto é aquecimento de água usando este tipo de energia, aparecem sempre polêmicas em relação a sua eficiência e ao seu uso nos períodos em que o sol não está presente. Talvez esta polêmica apareça pela falta de entendimento da população de como funcionam os sistemas de aquecimento solar. Acredita-se, possivelmente, que o aquecedor solar seja apenas o coletor visível sobre o telhado e não um sistema de captação e armazenamento.

Pensando no tipo de aquecedor mostrado neste experimento e na exigência dos consumidores, surge a dúvida de como colocar no mercado um produto para aquecer água que não apresente uma eficácia total, necessitando outro tipo de aquecedor, no caso o chuveiro elétrico, para que funcione adequadamente. É de se esperar que o consumidor tenha grandes dúvidas antes de adquiri-lo. Porém, a



resposta é simples, este produto na realidade não deve ser vendido como um aquecedor solar, e sim como um algo que vai economizar a energia elétrica do chuveiro. A percepção de seu desempenho não é dada a cada banho pois, apesar do usuário fazer a regulagem da potência do chuveiro, este talvez não consiga notar qual é a fonte de energia que esta sendo mais usada naquele momento. A maneira mais correta de avaliar o desempenho neste caso é verificando a redução ocorrida na conta de energia elétrica referente ao consumo mensal, ou seja, a soma de toda economia conseguida durante o mês.

Outro fator importante é a forma de aquisição deste produto. A maioria dos aquecedores solares é vendida por empresas especializadas, que tem grande experiência no ramo e contam com equipes treinadas. Mesmo quando o produto é vendido em lojas de materiais de construção, existe uma assistência técnica que normalmente faz a instalação, por vezes tendo que executar serviços auxiliares que vão desde a parte hidráulica, elétrica e até alvenaria. O custo desta mão de obra acaba aumentando o preço final do produto, além de intimidar um tipo de consumidor que não tolera obras ou movimentação de operários em sua residência.

Na elaboração do sistema de aquecimento usado nesta pesquisa, buscou-se facilitar a sua instalação, propiciando que o consumidor, numa situação ideal, possa fazer ele mesmo a instalação dentro do reservatório e sobre o telhado da edificação, sem auxílio de um encanador. Neste caso, também a forma de venda e entrega do produto deve ser estudada para facilitar esta montagem. No entanto, mesmo se não pode se considerar finalizada a tarefa de desenvolver um *kit* de montagem acessível ao usuário, pode-se dizer já se tratar de um produto de razoável praticidade ao técnico especializado.

Apesar de ser possível montar todo o sistema de maneira artesanal, é recomendado que alguns itens sejam industrializados, principalmente o coletor solar, já que existem normas e tecnologias apropriadas para conseguir o melhor desempenho e durabilidade deste produto. Isto permite ainda evitar o uso indiscriminado de improvisos, que podem causar a ineficácia do sistema. Uma das soluções encontradas para o transporte e venda do sistema seria o uso do próprio coletor solar como embalagem. Dentro dele, é possível transportar a serpentina pré-dobrada, as mangueiras e os acessórios como as braçadeiras, luvas, os cachimbos, adesivos para o CPVC, fitas metálicas e os flutuadores. Os coletores são montados normalmente em caixas de alumínio bem vedadas para evitar a entrada de água.

Neste caso a tampa deveria ter uma boa vedação, com dobradiças e uma sistema de fixação para que não abra com o vento. Depois de retirado os produtos de dentro, fecha-se novamente para usá-lo como coletor.

As tubulações de CPVC são vendidas em barras de 3 metros de comprimento, porém é possível dividi-las com o mesmo tamanho da maior lateral do coletor, fazendo com que possa ser vendido junto ou dentro da embalagem. Para as emendas usam-se as luvas, caso a quantidade de tubulação seja insuficiente, o consumidor pode recorrer às lojas de materiais de construção.

As peças maiores seriam os blocos de EPS, que ocupam maior espaço na embalagem, e os tubos de entrada de água que evitam turbulência. Para um reservatório de 500 litros, seriam usados aproximadamente 10 blocos de EPS de 1,00m por 0,50 m, variando de acordo com o tipo de reservatório.

O coletor poderia ser estudado para uma dimensão apropriada para a embalagem. No caso do experimento foi usado um coletor com 0,885m x 1,135m x 0,10m. Considerando este coletor, a dimensão total da embalagem seria de aproximadamente 0,90 x 0,60 x 1,15m e um peso estimado de 20kg. O custo deste sistema foi avaliado pelo material gasto na montagem do experimento. Pode existir variação de preço em função de cada região pesquisada e também pelo custo do coletor solar que engloba a mão de obra e do isolamento térmico, itens que tem maior peso na composição do custo (ver Tabela 4).

Este levantamento foi realizado, na sua maior parte, em lojas de materiais de construção que vendem apenas no varejo. A industrialização deste produto, com a aquisição dos insumos no atacado e processos gerenciais apropriados, pode propiciar uma redução ainda maior neste custo.

**Tabela 4 -Relação de Material utilizado na montagem do experimento**

<b>Especificação</b>	<b>Un.</b>	<b>quantidade</b>	<b>preço unitário</b>	<b>preço total</b>
Tubo de cobre flexível 15mm (1/2" )	m	5	R\$ 9,80	R\$ 49,00
Tubo de Cpvc 15mm	br	3	R\$ 15,00	R\$ 45,00
Mangueira preta p/ radiador 15mm	cm	20	R\$ 0,15	R\$ 3,00
Conector solda rosca cpvc 15mm x 3/4"	pç	2	R\$1,50	R\$3,00
Joelho cobre 90°x22mm	pç	2	R\$ 1,60	R\$3,20
Braçadeiras metálicas	pç	4	R\$ 0,75	R\$ 3,00
Luva cpvc 15mm	pç	2	R\$1,10	R\$2,20
Tubo Pcv 100mm	ml	0,5	R\$ 4,00	R\$2,00
Mangueira trasparente	ml	1,0	R\$ 1,50	R\$1,50
Adesivo cpvc	gr	0,1	R\$ 15,00	R\$1,50
Placa coletora solar *	un	1	R\$ 400,00	R\$400,00
Cinta metálica	ml	20	R\$1,00	R\$20,00
Isolante térmico para tubulação cpvc	ml	6	R\$1,20	R\$6,60
Placas de EPS	pl	10	R\$8,00	R\$80,00
<b>Total</b>				<b>R\$620,00</b>

**\*Levantamento julho/2005.**

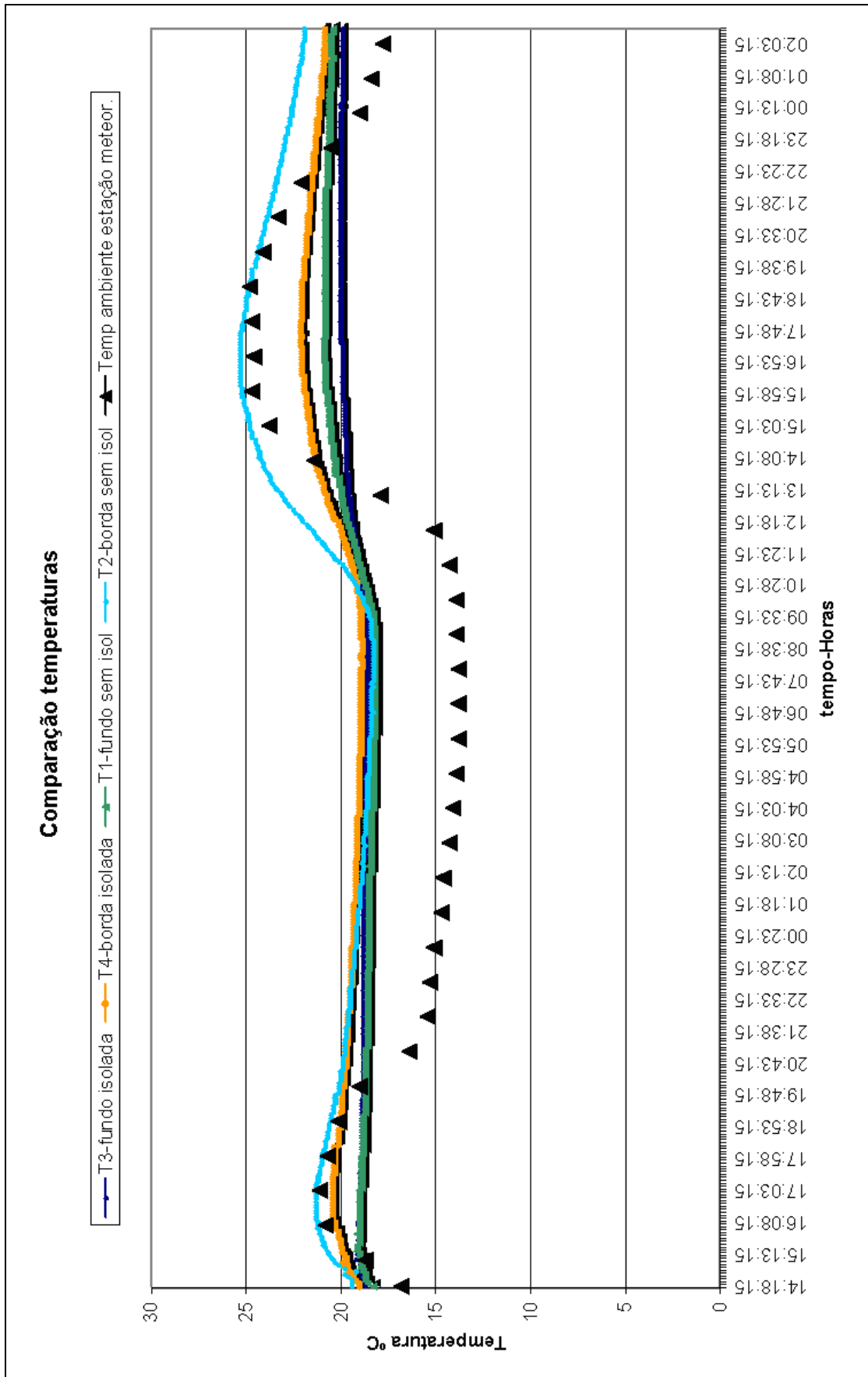
## CAPÍTULO IV

### 4. COLETA DE DADOS

#### 4.1 SISTEMA DE COLETA DE DADOS

Os dados de temperatura dos reservatórios foram coletados a partir de três momentos distintos. O primeiro foi já na instalação do sistema de aquecimento solar dentro do reservatório. O propósito destas leituras era o de verificar qual a diferença de temperatura ocorrida entre as duas caixas, fazendo então uma correlação entre um sistema normal, sem aquecedor solar e sem isolamento térmico e outro sistema com estas modificações. Além disso, servia para verificar o desempenho do sistema de isolamento térmico nos momentos em que não existisse a troca de calor entre o coletor e a serpentina. Foram instalados sensores de temperatura para as leituras na superfície e no fundo de cada volume de água. Os dados de temperatura dos dois reservatórios foram coletados durante alguns dias seguidos, com um intervalo entre leituras de dez minutos. Buscou-se manter as leituras durante períodos de tempo que contemplassem grandes intensidades solares, moderadas intensidades e fracas intensidades, ou seja, leituras em dias ensolarados com poucas nuvens e totalmente encoberto por nuvens. Os dados levantados foram passados para uma planilha eletrônica e nesta foram incorporado também os dados de temperatura ambiente e radiação solar. Estes dados foram conseguidos da estação meteorológica automática que existe dentro da UFPR no Centro Politécnico, e fica a aproximadamente 100 metros da casa onde o experimento foi montado.

Neste período, porém, começaram a surgir dúvidas sobre as medições da temperatura realizadas, já que o volume de 500 litros do reservatório deveria proporcionar uma inércia térmica fazendo com que o aquecimento ou resfriamento do volume de água fosse gradual. Porém, os pontos de medição nas partes superiores dos reservatórios apresentavam grande amplitude de temperatura nos períodos de maior incidência solar sobre o telhado. As temperaturas lidas na caixa sem isolamento chegaram a se mostrar superiores às leituras da caixa isolada apesar desta ter o sistema de aquecimento funcionando. Os pontos lidos no fundo de ambas as caixas não mostraram uma variação tão significativa (ver ilustração 32).

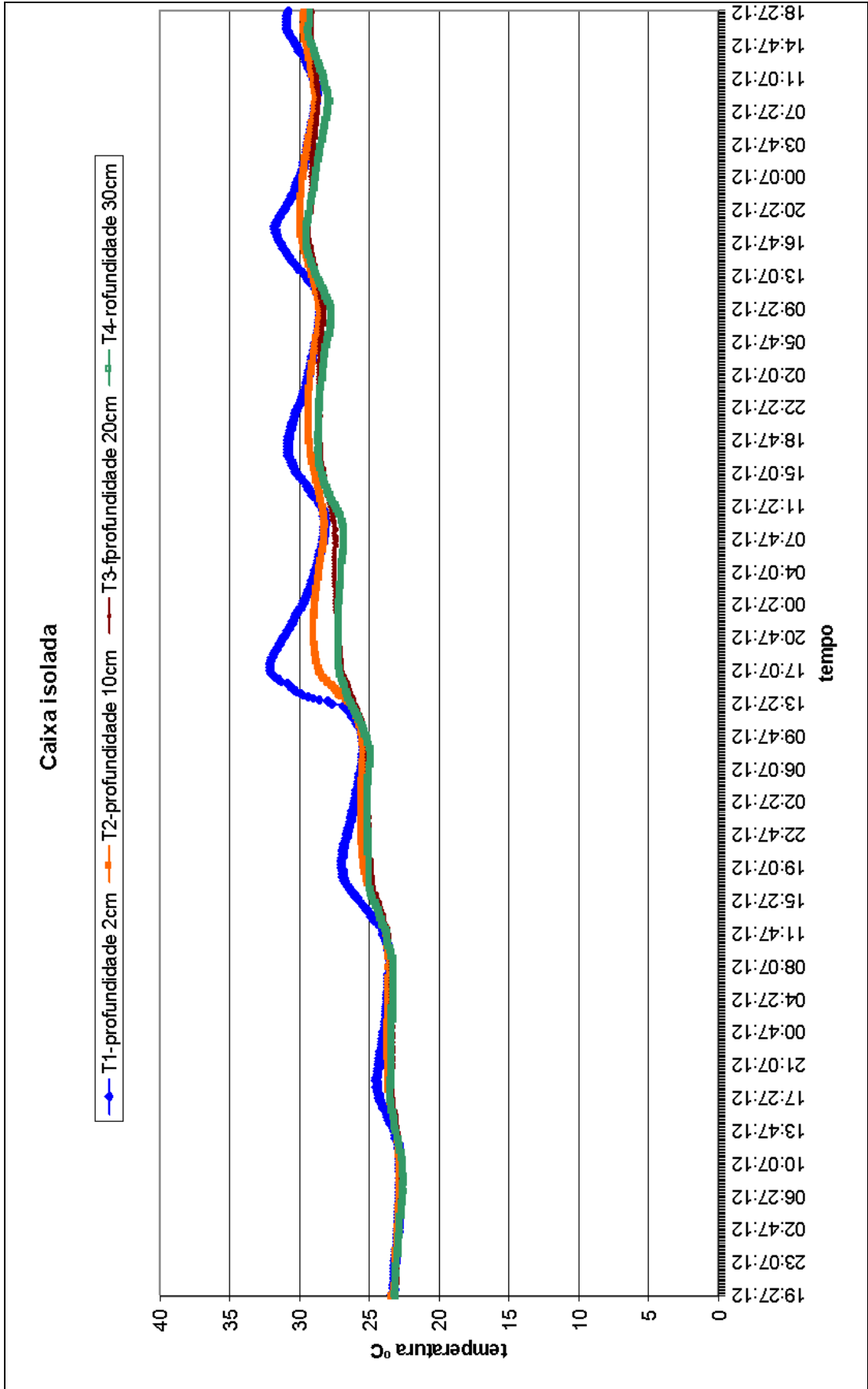


**Ilustração 33 - Temperaturas medidas de 27 a 29 de setembro de 2006.**

Depois de consultar professores especialistas na área, foi entendido que as medições estavam sendo influenciadas pela temperatura do ar dentro do reservatório. Durante o posicionamento dos termopares buscou-se captar a leitura na camada mais elevada do reservatório, onde seria coletada a água pelo pescador. Para isto foi deixado um pedaço de EPS flutuando sobre a água e por ele passou o termopar que ficou com sua ponta mergulhada na água a apenas 1,5 centímetros de profundidade. O cabo do termopar ficou totalmente para fora da água enquanto que para as leituras do fundo do reservatório o cabo ficava submerso.

A temperatura sob o telhado e acima dos reservatórios chegava a 30°C enquanto houvesse incidência solar. Esta temperatura ambiente elevada e mais a irradiação da própria telha, que ficava muito próximo das tampas, aumentava a temperatura do ar interno dos reservatórios. Na caixa isolada esta influência era menor, porém na caixa sem isolamento ocorria uma troca de calor por condução entre o ar interno e a água influenciando rapidamente esta camada de interface, onde estavam sendo feitas as leituras. Acredita-se que este fenômeno levou a algumas leituras do reservatório sem isolamento serem maiores do que as do reservatório com isolamento. Estes dados não puderam ser usados na comparação de desempenho entre os reservatórios, embora tenham sido importantes para o entendimento do fenômeno ocorrido.

Em um segundo momento, houve uma preocupação maior em relação ao isolamento dos termopares e a seu posicionamento dentro do reservatório. Foram feitas leituras em diversas camadas do reservatório usando para isto pequenos arames com comprimentos diferentes e fixos em um EPS, que serviam para segurar os cabos dos termopares que passaram a ficar submersos na água. Pôde-se então fazer leituras a cada 10 centímetros de profundidade. Os gráficos de temperatura entre camadas a partir de 10 centímetros de profundidade não mostraram grandes diferenças nos traçados, nota-se porém a amplitude da variação ocorrida na curva de 2 centímetro de profundidade (ver Ilustração 34 ). Desta maneira a leitura na parte superior do reservatório passou a ser feita um pouco acima de 10 centímetros de profundidade. Nos gráfico apresentado o sistema do coletor-serpentina continuava a funcionar.



### **Ilustração 34 - Temperaturas medidas de 13 a 19 de dezembro de 2006.**

Existia uma expectativa de que a diferença de temperatura entre o fundo da caixa sem isolamento e a parte superior da caixa isolada chegasse próximo a 10°C, com o passar dos dias, caso não houvesse uma baixa repentina na temperatura ambiente. Porém, isto não acontecia e nas medidas seguintes a diferença permanecia muito pequena, apesar de a temperatura ambiente continuar em elevação. Ou seja, tanto a caixa com o sistema de aquecimento solar, quanto a caixa sem o sistema elevavam a temperatura proporcionalmente. Este fato começou a representar uma baixa transferência de energia do coletor para o reservatório.

Para saber se isto de fato era real, passou-se a coletar os dados diretamente da serpentina e do coletor solar, para uma análise mais apurada sobre o desempenho do sistema. Foram introduzidos termopares nos tubos de ligação entre a serpentina e o coletor solar. Colocou-se um termopar dentro da tubulação em um ponto próximo da saída de água da serpentina em direção ao coletor e outro próximo a entrada de água vinda do coletor para a serpentina. Nesta medição foram feitas leituras também da temperatura da água na parte de cima do reservatório e da temperatura do ar externo junto ao reservatório (ver Ilustração 35).

As leituras de temperatura da água de dentro da tubulação, coletadas entre a entrada e a saída de serpentina, apresentavam grande variação e inversões de temperatura, ou seja, a entrada de água vinda do coletor deveria estar mais aquecida do que a água que saía da serpentina. Isto não estava acontecendo a julgar pelas leituras apresentadas. Suspeitou-se da inversão de leituras durante a aquisição dos dados. Poderia ter sido anotada a posição incorreta do termopar. Porém as leituras posteriores apresentaram as mesmas características.

Além da inversão, surgiu a desconfiança que havia uma perda de calor no sistema pois, apesar dos dias seguidos de temperatura ambiente alta e boa intensidade solar, a água dentro do reservatório não aumentava a sua temperatura.

O vazamento detectado conforme relatado no capítulo anterior (ver item 3.9) e a possibilidade de que o fluxo da água estivesse em sentido contrário provocada pelo resfriamento do coletor durante a noite levaram a uma mudança no sistema. Foi abaixado o coletor em relação ao reservatório, e aperfeiçoado o isolamento das tubulações de CPVC.

No terceiro momento de coleta dos dados, depois das alterações realizadas, foi quando finalmente o sistema de aquecimento começou a dar sinais que estava



funcionando adequadamente. Com as leituras sendo mais confiáveis pôde se fazer obter a eficiência do sistema pelo emprego do modelo físico descrito nos itens a seguir. Nesta fase, foram feitas leituras de dados com extrações de água dos reservatórios. Estas extrações serviram para dar uma maior aproximação nas condições reais de uso de uma residência.

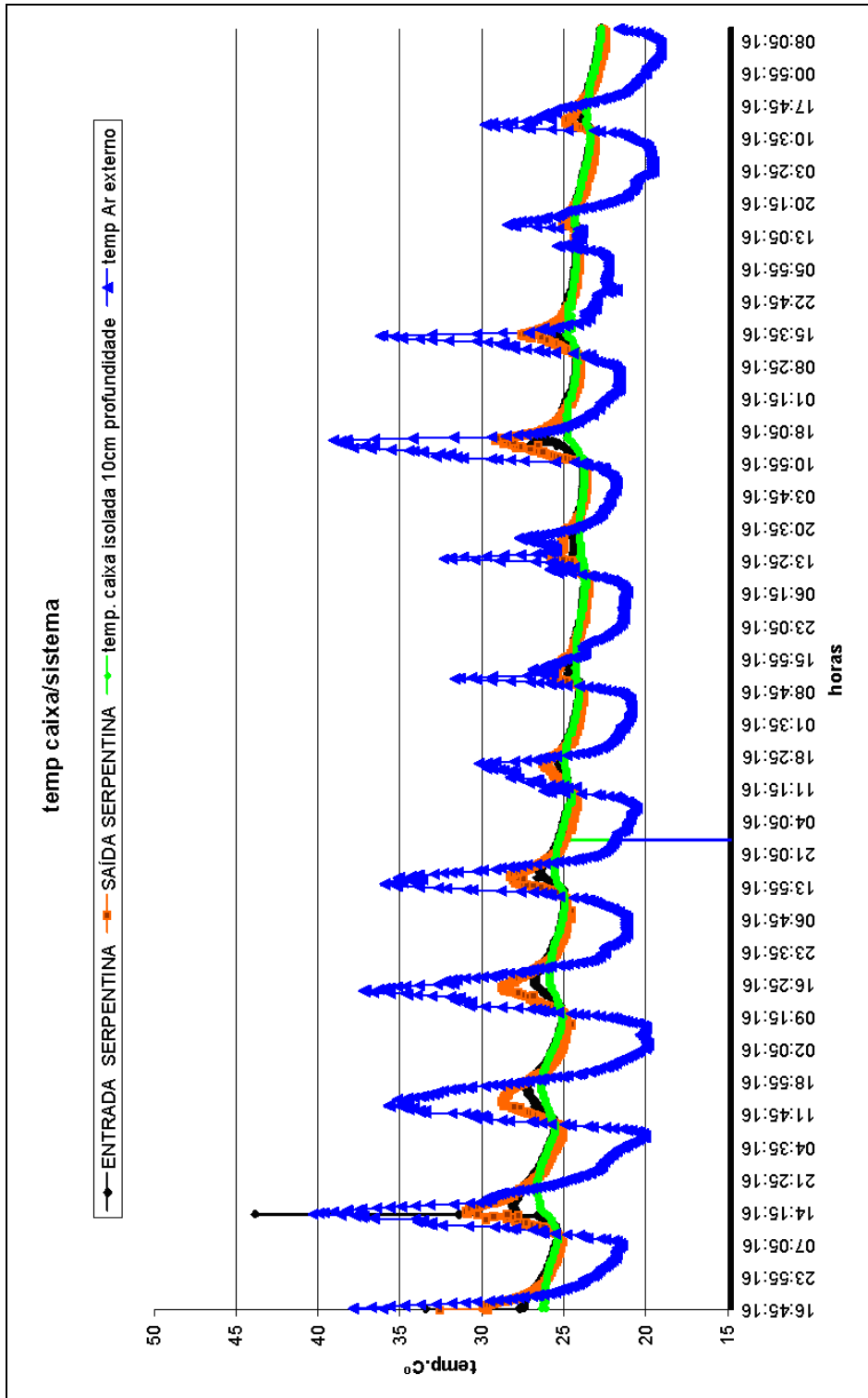


Ilustração 35 - Referente as medições dos dias 27 de dezembro de 2006 a 08 de janeiro de 2007.

## 4.2 ANÁLISE DOS DADOS

Para análise dos dados foi utilizada uma planilha (ver anexo 5) que seguiu os cálculos do modelo físico apresentado abaixo. Nesta planilha puderam ser lançados os valores reais da temperatura ambiente e da irradiação solar retirados da estação meteorológica. A planilha faz a correção necessária da incidência solar conforme a data e a posição do coletor (que difere do plano horizontal considerado pela estação meteorológica). Outros dados são necessários como as dimensões do coletor, do trocador de calor e do reservatório, além da temperatura inicial da água medida dentro do reservatório. Com os dados inseridos é possível encontrar a perda ocorrida na tubulação entre a serpentina e o coletor e também o rendimento do sistema.

O modelo físico descrito baixo representa a energia que o coletor recebe do sol descontando-se as perdas por radiação e convecção estimadas, além das perdas nas tubulações. Considera-se também que existe uma resistência térmica entre a superfície externa dos tubos e o ar atmosférico formando um isolante térmico e limitando as perdas de calor à convecção.

A Insolação sobre o plano inclinado do coletor ( $G$ ) é considerada uma variável independente, ficando porém duas variáveis dependentes a vazão mássica ( $\dot{m}$ ) e a diferença de temperatura da água ( $\Delta T_a$ ) para serem resolvidas. Para eliminar uma variável deve-se compreender o princípio do termossifão, já que é o aquecimento da água que provoca sua movimentação. Então ( $\Delta T_a$ ) é responsável pela pressão de empuxo, que faz com que a água mais quente suba e a mais fria baixe, fazendo surgir o próprio fluxo de massa ( $\dot{m}$ ). Este fluxo é tal que iguala o ganho de pressão por empuxo e a perda de pressão por atrito.

Para encontrar este fluxo de massa ( $\dot{m}$ ) foi adotada uma linearização na redução na massa específica da água para as temperaturas entre 20°C e 60°C. Encontrou-se uma equação relacionando a perda de carga com a vazão mássica e velocidade da água, considerando que as perdas de carga do circuito devam igualar os ganhos por empuxo. Pôde-se então resolver numericamente a equação que apresentava as duas variáveis dependentes.

A eficiência do trocador de calor é dada pela razão entre  $\Delta T_a$  teórico e  $\Delta T_a^*$  real. E pode então ser determinada a partir das medições realizadas, substituídos os valores do comprimento, diâmetro e utilizando ainda as temperaturas do ar

atmosférico ( $T_{\infty}$ ) e os valores de (G) sobre o plano do coletor, obtidos dos registros meteorológicos. O valor da irradiação solar (G) não é obtido diretamente, mas requer cálculos geométricos .

#### 4.3 MODELO FÍSICO DO SISTEMA COLETOR- RESERVATÓRIO

O sistema utilizado no experimento é representado da seguinte maneira.

O balanço de energia no coletor solar é representado por:

$$G + P_c + P_t = \dot{m}c(T_{c,s} - T_{c,e}) \quad (1)$$

Onde:

$G$	Insolação sobre o plano inclinado do coletor	(W)
$P_c$	Perdas de calor por radiação e convecção no coletor	(W)
$P_t$	Perdas de calor na tubulação	(W)
$\dot{m}$	Vazão mássica	(kg/s)
$c$	Calor específico da água; adota-se 4180	(J/kg°C)
$T_{c,s}$	Temperatura da água na saída do coletor	(°C)
$T_{c,e}$	Temperatura da água na entrada do coletor	(°C)

As perdas de calor no coletor solar ocorrem devido à radiação e à convecção.

As perdas de calor no coletor, por radiação ocorrem devido ao fato de as superfícies absorvedoras, no coletor solar, atingirem temperaturas que se afastam em dezenas de graus da temperatura ambiente. No entanto, parte desta irradiação é devolvida aos tubos, pois a tampa de vidro do coletor reflete porção considerável da energia de ondas longas:

$$P_{c,r} = (1 - \rho)\sigma\varepsilon\bar{T}_c^4 \quad (2)$$

Onde:

$P_{c,r}$	Perdas de calor no coletor solar por radiação	(W)
$\rho$	Refletividade da lâmina de vidro à radiação de ondas longas emitida pela superfície externa dos tubos	
$\sigma$	Coeficiente de Stephan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8}$ )	(W/mK <sup>4</sup> )
$\varepsilon$	Emissividade da superfície dos tubos do coletor	
$A$	Área do coletor; adotou-se 0,90	(m <sup>2</sup> )
$\bar{T}_c$	Temperatura absoluta média externa dos tubos do coletor	(K)

As perdas de calor no coletor, por convecção, seguem a lei de resfriamento de Newton:

$$P_{c,c} = \frac{(\bar{T}_c - T_\infty)}{R_c} \quad (3)$$

Onde:

$P_{c,c}$	Perdas de calor no coletor solar por convecção	(W)
$T_\infty$	Temperatura do ar atmosférico	(K)
$R_c$	Resistência térmica entre a superfície externa dos tubos e o ar atmosférico	(m°C/W)

A resistência térmica se refere à convecção na camada de ar sobre os tubos e sob o vidro, à condução através do vidro e à convecção na camada de ar externa adjacente ao vidro:

$$R_c = R_{ar,i} + \frac{e}{\lambda_v A} + \frac{1}{h_e A} \quad (4)$$

Onde:

$R_{ar,i}$	Resistência térmica da camada de ar inclinada, de cerca de 5cm de espessura, confinada; de acordo com Schüle et al. (1997), p. 185, tomada camada de ar horizontal, fluxo de calor de baixo para cima, adotou-se 0,16	(m°C/W)
$e$	Espessura do vidro; adotou-se 0,003	(m)
$\lambda_v$	Condutividade térmica do vidro; adotou-se 1,00	(W/m°C)
$h_e$	Coeficiente de filme na convecção; de acordo com Schüle et al. (1997), p. 179, tomada superfície externa (parede, janela ou telhado), adotou-se 23	(W/m <sup>2</sup> °C)

As perdas de calor na tubulação, por possuir esta camada de isolante térmico, são consideradas limitadas às perdas por convecção

$$P_t = h_a A_{t,s} (T_{c,s} - T_a) + h_a A_{t,e} (T_{c,e} - T_a) \quad (5)$$

Onde:

$A_{t,s}$	Área externa do duto de saída do coletor; adotou-se diâmetro de 0,035m e comprimento de 1,0m e, portanto, área de 0,11	(m <sup>2</sup> )
$A_{t,e}$	Área externa do duto de entrada do coletor; adotou-se diâmetro de 0,035m e comprimento de 2,0m e, portanto, área de 0,22	(m <sup>2</sup> )
$e$	Espessura do isolante térmico; adotou-se 0,01	m
$\lambda_v$	Condutividade térmica do isolante térmico; adotou-se 0,05	W/m°C
$h_a$	Coeficiente de filme na convecção; de acordo com Schüle et al. (1997), p. 179, tomada superfície do atíço, adotou-se 12	W/m <sup>2</sup> °C

O coletor solar e a serpentina constituem um sistema em que interagem os fenômenos:

- aquecimento da água no coletor mediante radiação  
perdas convectivas e radiantes dos tubos aquecidos para o ambiente, com efeito atenuador do vidro
- estabelecimento de força de empuxo que provoca a movimentação da água por termossifão
- estabelecimento de uma resistência ao escoamento devido às perdas de carga.

Este sistema é de modelagem complexa que, em virtude de fugir do escopo da presente dissertação, não será desenvolvida aqui. Ao invés disto, será adotado um valor padronizado de eficiência para o coletor solar em sua montagem real, para, a partir de dados meteorológicos de insolação, estimar-se qual a energia, em cada dia, obtida no reservatório de água.

A serpentina e a água da camada superior constituem um trocador de calor cuja eficiência é desconhecida. A análise feita até aqui considera que a potência absorvida pela água em circuito fechado, subtraída da parcela perdida no coletor e da parcela perdida na tubulação é cedida à água fria do reservatório. Isto supõe que o trocador de calor tem eficiência igual a 100%, o que não é verdade.

Na verdade, a água da serpentina não se resfriará do  $\Delta T_a$  teórico, mas de um  $\Delta T_a^*$  real e menor. A eficiência do trocador de calor é dada por

$$\eta_{ic} = \frac{\Delta T_a}{\Delta T_a^*}$$

Esta eficiência pode ser determinada a partir das medições realizadas, se substituídos os valores das constantes (L, D, etc.) utilizadas, e ainda as temperaturas do ar atmosférico  $T_\infty$  e os valores G de irradiação solar sobre o plano do coletor obtidos dos registros meteorológicos. G não é obtido diretamente por tratar-se não do plano horizontal para o qual as bases meteorológicas registram a densidade de radiação solar global, mas requer cálculos geométricos. Seu valor em cada instante, G(t), é igual a

$$G(t) = G_h(t) \cos \gamma$$

Onde:

- $G_h$  Densidade da radiação solar sobre o plano inclinado do coletor solar, deduzidas perdas por sombreamento e reflexão no vidro (W/m<sup>2</sup>)
- $\gamma(t)$  Ângulo formado entre a direção momentânea do sol e a direção normal à superfície do coletor solar (W/m<sup>2</sup>)

Enfim, o dado mais útil para utilização no banho pode ser obtido: a temperatura atingida pela camada superior da água do reservatório (onde se encontra a serpentina de aquecimento). Esta temperatura resulta da potência recebida da serpentina e do calor perdido através do isolamento térmico. Este valor ainda depende da espessura considerada para esta camada. Experimentalmente, é possível tanto obter-se uma temperatura média através da mistura de toda a água do reservatório ao final de um período de aquecimento, como também as temperaturas de volumes seqüencialmente extraídos da porção superior: os primeiros 50 litros (correspondentes ao primeiro banho), os 50 litros seguintes (correspondentes ao segundo banho), etc.

#### 4.4 ESTIMATIVA DA EFETIVIDADE DO TROCADOR DE CALOR

De acordo com a teoria de trocadores de calor apresentada em Holman (1983), o fator de eficácia de um trocador de calor pode ser estimado pela razão entre o fluxo de calor teoricamente possível e aquele que (devido a limitações construtivas) é realmente obtido.

No caso da serpentina imersa na água do reservatório isolado, pode-se assumir uma hipótese simplificadora:

a variação de temperatura na água do reservatório é bastante menor que aquela da água na serpentina, podendo ser tomada constante. Logo, a expressão para cálculo da efetividade do trocador de calor é dada por:

$$h = (T_{s,e} - T_{s,s}) / (T_{s,e} - T_r)$$

onde

$T_{s,e}$  Temperatura na entrada da serpentina (°C)

$T_{s,s}$  Temperatura na saída da serpentina (°C)

$T_r$  Temperatura da água do reservatório na camada superior (°C)

Esta fórmula foi aplicada à observação do comportamento das temperaturas na entrada e saída da serpentina, e do reservatório isolado na sua porção superior. No dia 16/02/2007, verificou-se a marcha de temperaturas apresentada na Tabela 5:

**Tabela 5 – Efetividade do trocador de calor**

horário	Temperatura média entrada serpentina (°C)	Temperatura média saída da serpentina (°C)	Temperatura média da caixa isolada a 10cm de profundidade (°C)	Rendimento estimado
8	36,48	23,62	22,73	0,94
9	45,65	25,08	23,25	0,92
10	45,30	27,25	24,12	0,85
11	50,92	28,93	25,17	0,85
12	48,55	30,97	26,35	0,79
13	35,47	32,97	27,23	0,30

Logo, a efetividade do trocador de calor pode ser sabida superior a 80%.

#### 4.5 ESTIMATIVA DE RENDIMENTO GERAL DO SISTEMA

Ao longo dos experimentos foi-se dando conta da quantidade de variáveis a mensurar para uma descrição detalhada do reservatório isolado e dotado de aquecimento solar, ainda mais se for feita concomitantemente a comparação com o reservatório convencional, desprovido de isolamento e de aquecimento solar. Portanto, optou-se por uma observação dos fatores mais externos possível de rendimento . São eles:

- a densidade de radiação solar acumulada em um dia
- o aquecimento total realizado no mesmo dia, no reservatório

Os dados de insolação, como já mencionado, são obtidos de uma estação meteorológica oficial, situada dentro do mesmo campus em que foi realizado o ensaio. Já o aquecimento total realizado é percebido mediante comparação da temperatura do reservatório pela manhã e ao final do dia. Para efeito desta temperatura, embora tenha-se cogitado a mistura do reservatório, foi preferida a extração em condições similares à do consumo de água, de modo a refletir o rendimento total do sistema em termos práticos.

Este rendimento total é, de fato, uma representação abrangente de todos os fatores a seguir:

- orientação e inclinação do coletor solar diferente dos valores considerados ótimos;
- acúmulo de poeira sobre o coletor solar;
- existência de perdas de radiação por reflexão;
- projeção de sombras (por árvores ou edificações) sobre o coletor solar
  
- perdas de calor para o entorno por condução, convecção e radiação a partir do coletor solar;
- perdas de calor através da tubulação de alimentação do reservatório e da tubulação de retorno;
- ineficiência do trocador de calor entre o sistema fechado de água quente originária do coletor e o reservatório;
- perdas de calor a partir do reservatório para o ar externo;
- perdas de calor por condução e convecção através da própria tubulação;



- mistura da camada superior, aquecida, com as camadas inferiores do reservatório, mais frias
- perdas de calor na tubulação que conduz a água do reservatório até o ponto de consumo.

Uma medição deste rendimento foi realizada no dia 23 de fevereiro de 2007.

Às 6h00, quando ainda não havia insolação sobre o coletor solar, tendo em vista sua orientação para oeste, foi medida a temperatura de 26,0°C no reservatório isolado, tanto no fundo, como a 10cm do nível de água. Já no reservatório não-isolado, no fundo, foi medida a temperatura de 24,8°C. A energia solar incidente sobre o plano horizontal, no dia, foi de 7169,2 Wh/m<sup>2</sup>. Ao final do período, foi possível extrair 170 litros de água do reservatório isolado à temperatura média de 31,5°C. Ao cabo deste volume, a água sobre o ponto de extração se exauriu. Extrações foram também realizadas no reservatório sem isolamento, com mesmo volume, tendo-se obtido temperatura média de 27,1 °C.

Cabem aqui duas interpretações. A primeira considera que a temperatura da água originária do reservatório, em virtude da própria inércia térmica, é somente afetada pelo aporte de calor através do coletor solar, e não o seria em virtude de uma eventual elevação da temperatura do ar ambiente a passar sua influência, por através das paredes do reservatório, de modo a aquecer a água.

A segunda, à primeira vista mais acurada, considera que o dia em pauta representou ocasião de um notável aquecimento da atmosfera, em que a água em um reservatório convencional teria sofrido aquecimento mesmo sem receber calor solar através de uma serpentina. Ocorre que este reservatório tem temperatura que oscila mais ao sabor da temperatura externa. Se esta apresentar um movimento descendente, da mesma forma a temperatura da água no reservatório não-isolado decrescerá. Portanto, considerando a maior precisão de uma comparação em mais longo prazo, e não limitada a um dia, aconselha-se desconsiderar o aquecimento espontaneamente verificado no reservatório sem isolamento – também, por que o reservatório isolado praticamente só se aquece em virtude do sol.

Diante disto, é possível calcular-se a energia solar útil, recebida através da água extraída:

$$E_1 = mc\Delta T = 150 \text{ (l)} \times 1 \text{ (kg/l)} \times 4180 \text{ (J/kgC)} \times 5,5 \text{ (}^\circ\text{C)} = 3.448.500 \text{ J}$$

A energia recebida por unidade de área por um plano horizontal vale:

$$E_t = 7169,2 \text{ Wh/m}^2 = 25.808.400 \text{ J}$$

O rendimento do sistema, assim calculado, pode ser considerado de

$$\eta = E_1 / E_t = 13,4 \%$$

No entanto, deve-se considerar que ao final da extração ainda há água aquecida dentro do reservatório, somente que ela não será utilizada diretamente no consumo, mas servirá para pré-aquecer a água fria de reposição, proveniente da rua. A temperatura do fundo da caixa isolada, no momento da extração, era de 27,4°C. O volume remanescente de água era de 500 – 170 – 330 litros. Logo, a outra parcela (não imediatamente disponível) da energia solar recebida pode ser calculada por:

$$E_2 = mc\Delta T = 330 \text{ (l)} \times 1 \text{ (kg/l)} \times 4180 \text{ (J/kgC)} \times 1,4 \text{ (}^\circ\text{C)} = 1.931.160 \text{ J}$$

Logo, o rendimento do sistema pode ser calculado em

$$\eta = (E_1 + E_2) / E_t = 20,8 \%$$

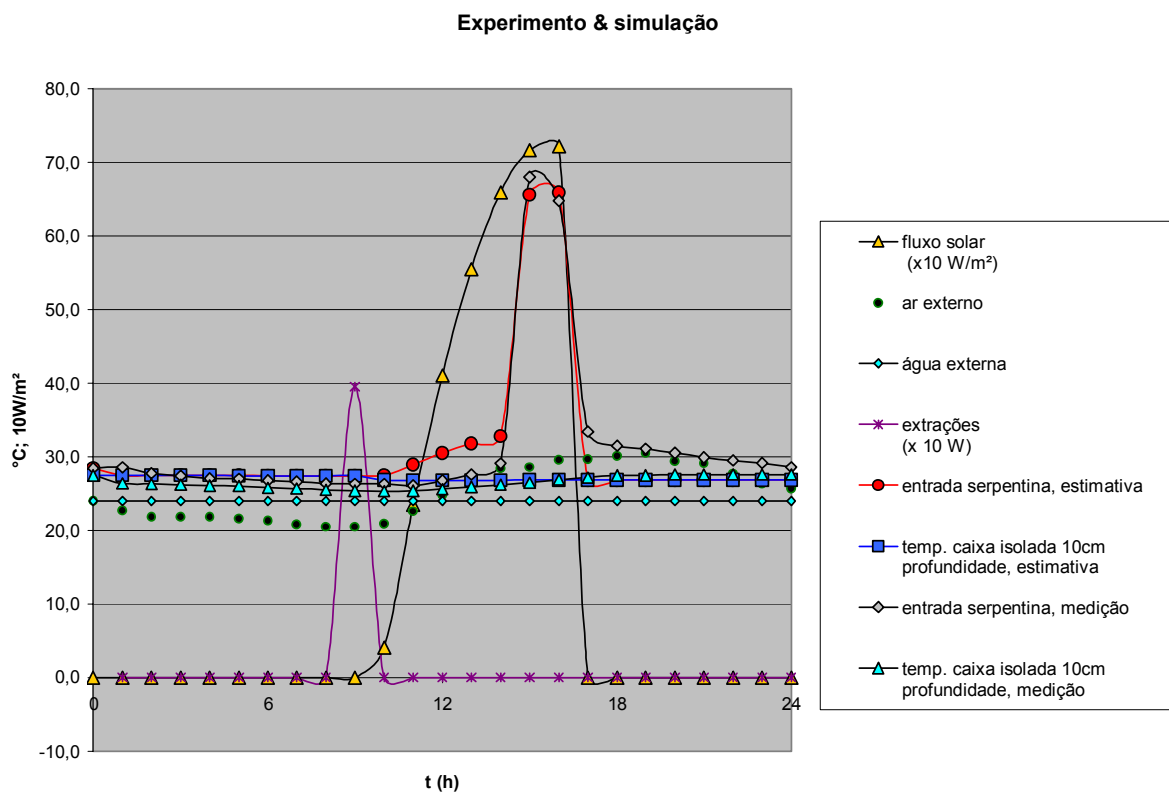
#### 4.5 EXEMPLO DE SÉRIES DE DADOS OBTIDOS

Uma aplicação do modelo físico do sistema coletor-reservatório nas leituras de temperatura feitas no experimento são mostradas a seguir. Foram obtidas usando-se a planilha eletrônica (ver Ilustração 36).

**Tabela 6 - Tabela de dados sobre o experimento do dia 24/02/2007**

Dado	Valor
latitude	-25°
<i>Data</i>	
dia	24
mês	2
<i>Coletor solar</i>	
azimute	315°
inclinação	35°
área	0,9 m <sup>2</sup>
<i>Reservatório</i>	
raio superior	0,67 m
raio inferior	0,50 m
altura	0,55 m
espessura parede	0,05 m
material parede	isopor
condutividade parede	0,04 W/m°C
área tampa	1,41 m <sup>2</sup>
área fundos	0,78 m <sup>2</sup>
área parede	1,01 m <sup>2</sup>
área externa total	2,42 m <sup>2</sup>
volume de água	0,60 m <sup>3</sup>
resistência térmica através das paredes e tampa do reservatório	0,727 m°C/W
fator de redução do volume estratificado	1
<i>Trocador de calor</i>	
diâmetro do duto	0,015 m
comprimento do duto	5 m
coeficiente global de transm.térmica	850 W/m <sup>2</sup> °C
área de troca de calor	0,235 m <sup>2</sup>
rendimento do trocador de calor	0,86
rendimento do coletor solar	
<i>Coletor solar e tubos</i>	
rendimento estimado	0,2
<i>Dados iniciais</i>	
Temp.do reservatório a 0h	27,50°C

A variação resultante, expressa em curvas horárias, é mostrada na Ilustração 36:



**Ilustração 36 -Gráfico de dados sobre o experimento do dia 24/02/2007**

Este modelo, apesar de simplificado, permite estimar-se algumas particularidades do sistema. As velocidades de escoamento da água são arbitradas e variadas, até atingir-se a melhor similaridade entre resultados estimados e medidos para as temperaturas de entrada da serpentina e da caixa isolada a 10 cm de profundidade. Uma descrição mais acurada e completa do sistema exigiria um modelo de simulação bem mais complexo.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSÃO

#### 5.1 CONCLUSÕES SOBRE OS DADOS

Entende-se que o funcionamento ideal do sistema acontece quando existe um ganho rápido de energia nos períodos de irradiação solar e uma perda lenta desta energia, garantida por um eficiente isolamento térmico. Isto propicia o uso da água pré-aquecida no chuveiro elétrico mesmo durante a noite, reduzindo por consequência o consumo de energia elétrica. Pela análise dos dados usando o modelo do capítulo 4, pode-se observar que desempenho do sistema ficou abaixo do esperado. Isto explica, em parte, o baixo aquecimento da água dentro do reservatório quando comparado ao reservatório sem isolamento. Algumas leituras que foram feitas durante vários dias sob temperatura ambiente elevada e constantes ciclos de transferência de calor, do coletor solar para a serpentina, não registraram ganhos significativos de energia. Existia um receio que a energia acumulada durante vários dias pudesse trazer problemas para o uso nas tubulações de PVC. Isto não se verificou durante os meses de verão. Apesar de parecer algo interessante do ponto de vista da durabilidade do sistema, um tal rendimento – baixo - implica em pouco aproveitamento da energia solar e menor economia de energia elétrica. Deve haver um ponto de equilíbrio aonde se possa usar com segurança as instalações e que se tenha o aproveitamento maior de energia.

Quanto ao método adotado de análise, é conveniente ressaltar a importância da simulação como ferramenta de análise. Quando existe uma alimentação de dados com experimentos reais acontece um aprimoramento e atualização neste tipo de estudo, aproximando-o mais dos fenômenos reais.

A espessura da camada isolante do reservatório, bem como o isolamento da tubulação de transporte entre o coletor e a serpentina, são itens que merecem uma maior atenção. É necessária a realização de outros experimentos, com a variação da espessura e a troca de materiais para se ter uma determinação exata da perda de calor nestes pontos. Outro ponto crítico é a troca de energia entre a tubulação da

serpentina e a água do reservatório. O comprimento e o número de voltas do permutador foi estimado, porém está dentro do que Cabirol (1982) recomenda, que é em torno de 0,2 m<sup>2</sup> a 0,3 m<sup>2</sup> de superfície de permuta para cada 1 m<sup>2</sup> de coletor solar. Se o permutador foi muito pequeno a água voltará para o coletor ainda quente diminuindo o seu rendimento. Quando for muito grande a água deixará na entrada muitas calorias, deixando cada vez menos calorias à medida que vai descendo, tendo a última parte de tubulação um custo supérfluo, além de provocar perda de carga. Outro experimento importante que pode complementar este sistema é o teste de um trocador de calor industrial, aletado, comumente utilizado para sistemas de aquecimento solar de água do tipo indireto, Este componente deveria receber adaptação de modo a poder ser montado pelo usuário.

## 5.2 CONCLUSÃO SOBRE O SISTEMA

O sistema de aquecimento analisado, embora tenha apresentado algumas falhas na montagem e no seu funcionamento, pôde representar um maneira mais simples da população ter acesso a energia solar para aquecimento de água. Pode, com isto, contribuir para a redução de consumo de energia elétrica sem diminuir o conforto de banho para usuários. Caso este sistema seja implantado de maneira artesanal, é importante que exista bastante informações e esclarecimentos sobre o assunto, com apoio de entidades interessadas no uso racional de energia. E sendo o processo industrializado, é necessário que a indústria aprimore cada vez mais os dispositivos de maneira que o usuário possa sentir menos dificuldades na sua implantação e tenha um melhor retorno do seu investimento.

Alguns produtos podem ser elaborados e outros incorporados com este sistema de aquecimento. É o caso do isolamento térmico pré-fabricado, para o qual a indústria pode desenvolver cortes no EPS de maneira a diminuir o número de peças a ser encaixadas no reservatório, ou mesmo a venda no *kit* de chuveiros com reguladores de potência.

### 5.3 INDICAÇÃO PARA OUTRAS PESQUISAS NA ÁREA

O sistema pode também receber bombas para melhorar o seu desempenho. Isto justifica a realização de outros trabalhos de pesquisa somente para este tema. Pode ser estudado o acionamento de bombas mediante a própria energia solar.

Ainda, a otimização da área do coletor e o uso de coletores alternativos pode ser uma nova frente de pesquisa para este tipo de sistema. Além dos sistemas de embalagens e distribuição do produto.

O presente trabalho não chegou ao fim de todos os passos para a industrialização de um *kit* atrativo comercialmente, que seja de fácil compreensão, seguro e econômico. É necessário prosseguir esta pesquisa desenvolvendo desde desenhos das peças, otimizadas mediante pesquisa continuada em engenharia, até o projeto da embalagem e esquema de distribuição e venda.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAVA. **Introdução à aquecedores solares- O aquecedor solar de água para o setor elétrico e para o usuário final.** São Paulo: ABRAVA, Cap. 1, p.5-6, 1996. Disponível em:<<http://www.portalabrava.com.br>> acessado em março 2006.
- ADAMS, R.W. **Adding solar heat to your home.** United States of America: Tab Books inc., 1979.
- ADKINS, C.J. **Equilibrium Thermodynamics.** New York: Cambridge University Press, 1994.
- ALDABÓ, R. **Energia solar.** São Paulo: Artliber Editora, 2002.
- ALENCAR, F. **Projeto de uma telha coletora de energia solar para aquecimento de água.** Botucatu –SP: Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, 1999.
- ARAUJO,M.A. consultor do IDHEA – **Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica.** Artigo 2004. [www. idhe.com.br](http://www.idhe.com.br). Acessado em dez. 2005.
- ARRUDA, L.B. **Operação de sistemas de aquecimento solar de água com controle de vazões em coletores planos.** São Paulo: Tese de doutorado, Escola Politécnica da USP, 2004.
- ASHRAE. **American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditionig Engineers.** Disponível em: < <http://www.ashrae.org> > acessado em agosto de 2006.
- BARBIERI, J.C. **Desenvolvimento Sustentável Regional e Municipal: Conceitos, Problemas e Pontos de Partidas.** Administração On Line Prática - Pesquisa – Ensino. FGV e FECAP Volume 1 – nº 4, 2000.
- BEZERRA, A. M. **Aplicações praticas da energia solar.** São Paulo: Livraria Nobel S.A.1990.
- CABIROL, T. **O aquecedor solar de água.** Lisboa: Edições Cetop,1980.
- CARDOSO, F.F.; et alii. **Conservação de energia e uso de energias alternativas.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.poli.usp.br/organizacao/Departamentos/menupublicações2.asp>>
- CIDADES SOLARES. **Aproveitamento da energia solar.** Disponível em: <<http://www.cidadessolares.org.br>> acessado em fev.de 2007.



CHAULIAGUET, C. **La energia solar en la edificacion**. Barcelona : Editores Técnicos Asociados S.A, 1978.

COMETTA, E. **Energia solar utilização e empregos práticos**. São Paulo: Hemus Editora Ltda, 1982.

COLLE, S.; PABLO J: SALAZAR, P.S.C; ABREU, S.; GLITZ, K. **Cost Optimization of low-cost solar domestic hot water systems assisted by electric energy**. Solar Energy Laboratory (LABSOLAR) - Department of Mechanical Engineering, Federal University of Santa Catarina.

CPFL. ELETROBRÁS. PROCEL. PUC-RIO. **Pesquisa de posse de eletrodomésticos e hábitos de consumo. Pesquisa CPFL-SP**. Relatório básico. Rio de Janeiro, 1997. disponível em <http://www.cpfl.com.br>

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito **Atlas solarimétrico do Brasil**. Disponível em: < <http://www.cresesb.cepel.br/publicações/atlas/solar.htm>> acessado em março 2006.

DUFFIE, J.A., e BECKMAN, W.A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 2ª.ed., J.Wiley and Sons, New York, 1991.

GREEN SOLAR - **Grupo de Estudos em Energia. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais**. Disponível em: < <http://www.green.pucminas.br> > acessado em julho de 2006.

HEALEY, H. M. **Cost-effective solar applications for commercial and industrial facilities** .Journal Energy Engineering, V. 94, nº 4, p. 34-45, 1997.

HOLMAN, J.P. **Transferência de Calor**. Trad.: L.F. Milanez. São Paulo: McGraw-Hill, 1983.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – **Consulta de dados da Estação Automática Curitiba/centro politécnico**. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br> > acessado em julho 2006.

INMETRO. Programa Brasileiro de Etiquetagem – **Regulamento específico para o uso da etiqueta nacional de conservação de energia ENCE –Sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água**. Disponível em: < [http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtosPBE/regulamentoo/sistema\\_solarPBE\\_rev.07pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtosPBE/regulamentoo/sistema_solarPBE_rev.07pdf)> acessado em março de 2007.

KREITH, F. **Princípios da Transmissão de calor** ; tradução da 3. ed. Americana por Eitaro Yamane. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1977.

LIMA, J.B.A. **Otimização de sistema de aquecimento solar de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa TRNSYS**. São Paulo: Dissertação de mestrado Escola Politécnica da USP, 2003.