



## III ENCONTRO NACIONAL I ENCONTRO LATINO-AMERICANO

Gramado, RS, 4 a 7 de julho de 1995

### COLETORES SOLARES DE BAIXO CUSTO PARA RESIDÊNCIAS, CONJUNTOS HABITACIONAIS, ESCOLAS PÚBLICAS E CRECHES

**Profa. Elizabeth Marques Duarte Pereira**

Departamento de Engenharia Mecânica da PUC - MG  
Rua Dom José Gaspar 500 -Coração Eucarístico CEP: 30535-610 BH/MG  
Tel.: (031) - 319 - 1260 Fax: (031) - 342 - 3977

**Eng. Lúcio César de Souza Mesquita**

Agência Energia - Projetos e Consultoria em Engenharia Térmica  
Av. do Contorno 6777 - Sala 1207 - Santo Antônio CEP: 30110-110 BH/MG  
Telefax.: (031) - 342-3977

**Luís Renato Costa Bueno e Ronaldo de Faria Antunes**

Departamento de Engenharia Mecânica da UFMG

#### RESUMO

Este projeto apresenta três alternativas para coletores solares de baixo custo: Coletores Solares de Areia, de Concreto e Integrado. Os testes de desempenho térmico indicam a viabilidade técnica dos protótipos, orientando alterações nos processos de fabricação e materiais empregados, principalmente para os coletores de areia e integrado, afim de torná-los mais competitivos. A substituição de chuveiros elétricos por coletores solares é justificada pela economia para o usuário, pela postergação de investimentos pelas Concessionárias de Energia Elétrica e por representar medidas efetivas de preservação do meio ambiente.

#### ABSTRACT

This project presents three alternatives for low-cost solar fias plates- collectors : Sand, Concret and Integrated solar collectors. The thermal performance test indicate the technical viability of the prototypes, orientating alterations in the manufacturing processes am materiais used, mainly for the sand and integrated solar collectors with the purpose of making them more competitive. The substitution of the electric showers for solar collectors is justified by the economy for the consumers, by the prorogation of investiment by the Electric Energy Concessionaries and for representing effective, resolutions to the preservation of the environment.

#### PALAVRAS-CHAVE

Energia Solar; Conservação de Energia; Coletores Solares Baixo Custo; Eficiência Térmica

## 1 - INTRODUÇÃO

A Tecnologia Solar aplicada principalmente para o aquecimento de água a temperaturas moderadas, da ordem de 50° C, é hoje totalmente dominada no Brasil. Tanto no que se refere à qualidade dos coletores solares disponíveis no mercado nacional, quanto ao projeto, dimensionamento e instalação de sistemas solares de pequeno, médio e grande portes. Finalmente, esta fonte de energia que sempre foi vista pela maioria das pessoas como uma energia alternativa para o futuro, chegou ao seu tempo: hoje.

Uma série de motivos podem ser apresentados como justificativa para que a substituição dos chuveiros elétricos em residências por aquecedores solares fosse fortemente incentivada no Brasil, único país no mundo a utilizá-lo. Sejam eles, do ponto de vista do usuário, das concessionárias de energia elétrica ou dos setores envolvidos Da preservação do meio ambiente.

A redução obtida na demanda de energia elétrica por parte de consumidores residenciais, permitiria às Concessionárias uma postergação de investimentos, no momento em que estes são bastante escassos, além de viabilizar uma melhor distribuição dos recursos atuais para os 1 setores industriais -e de serviços. Para o meio ambiente esta substituição traria como consequência natural uma redução nas áreas a serem inundadas na construção de novas hidrelétricas, minimizando também a necessidade de se construir termoeletricas ou usinas nucleares previstas atualmente, caso se configurem os cenários mais otimistas de desenvolvimento e crescimento industrial.

Quanto ao usuário, pode-se afirmar que, os benefícios advindos; da substituição do chuveiro elétrico comum, aquecedores de acumulação ou aquecedores de, passagem de alta potência pelo coletor solar dependem basicamente da sua classe econômica e conseqüentemente do nível de conforto e economia, solicitados. Para os usuários das classes A e B, conforme mencionado anteriormente, a Tecnologia Solar encontra-se completamente desenvolvida, fornecendo ao comprador conforto, economia e segurança a custos compatíveis com as edificações atuais.

Para as camadas menos favorecidas da população, verifica-se que a economia obtida da substituição é o fator preponderante, desde que estudos preliminares têm mostrado que a participação do aquecimento de água na conta de energia pode atingir valores da ordem de 65%. Do ponto de vista, das Concessionárias, deve-se salientar que este consumidor se encontra na faixa em que o kWh recebe o maior subsídio. Apesar deste quadro, a Tecnologia Solar ainda se mostra, inaccessível devido aos custos iniciais envolvidos, incompatíveis com o poder aquisitivo desta faixa da população.

Assim, o objetivo principal deste projeto foi o de *“Colocar à disposição da comunidade, projetos de aquecedores solares apropriados à substituição do chuveiro elétrico, confiáveis, de custo compatível e de fácil aquisição ou preparo”*. Os coletores projetados - **Coletor Solar de Areia e Coletor Solar de Concreto** dispensam mão-de-obra especializada, podendo ser construídos em regime de mutirão pelos próprios moradores ou estudantes das escolas públicas. Estes coletores utilizam apenas materiais disponíveis no mercado da construção civil. O coletor integrado poderia ser comercializado praticamente pela metade do preço dos coletores comerciais, além de proporcionar condições favoráveis de instalação.

## 2 - METODOLOGIA DE TRABALHO

As etapas seguidas no desenvolvimento dos projetos dos **Coletores Solares de Areia e Concreto e Coletor Solar Integrado** podem ser assim sumarizadas:

**Etapa 1 - Revisão Bibliográfica:** evidenciando as p físicas dos materiais a serem utilizados para os diferentes componentes dos coletores solares como: cobertura transparente, absorvedor, tubulação e isolamento.

**Etapa 2 - Desenvolvimento dos Projetos, Seleção de Materiais e Processos de Fabricação :** a fase atual do projeto, refere-se à avaliação técnica e econômica dos coletores projetados, ficando para uma etapa posterior o desenvolvimento final do produto.

**Etapa 3 - Construção dos Protótipos :** no caso dos coletores de areia e concreto a construção foi feita pelos próprios estudantes e pelos pedreiros do Departamento de Manutenção da UFMG, evidenciando-se seu alto grau de facilidade construtiva.

**Etapa 4 - Testes de Eficiência Térmica Instantânea:** foram desenvolvidos de acordo com as normas NBR 101-48 e ASHRAE 93-86 para possibilitar a comparação com os modelos convencionais de coletores solares disponíveis no mercado. Para teste do coletor integrado foi feita uma adaptação das referidas normas devido às suas especificidades.

**Etapa 5 - Análise Econômica :** para avaliação do seu potencial de instalação em residências de baixo custo.

### 3 - COLETORES SOLARES DE BAIXO CUSTO

#### 3.1 - Coletor Solar de Areia

O módulo construído do coletor de areia tem as dimensões de ( 0.80 x 0.60 x 0.135 ) M<sup>3</sup> e está mostrado na Figura 3.1. Para o absorvedor foi feita uma mistura de areia comum , bentonita, como ligante, e o xadrez em pó preto nas proporções : 100: 12:5.

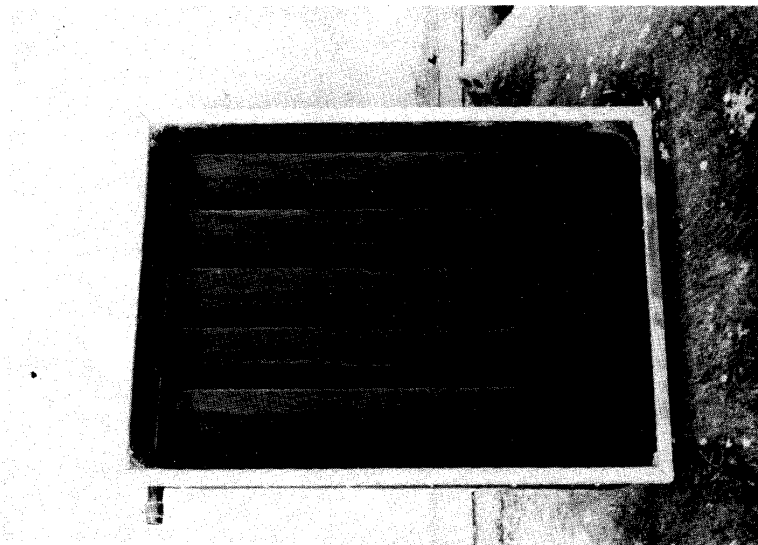


FIGURA 3.1 - COLETOR SOLAR DE AREIA

Como cobertura, empregou-se o vidro liso de 2 mm de espessura, devido à sua alta transmissividade e custo inferior ao vidro de 3 e 4 mm, embora menos resistente ao próprio peso. Utilizou-se como caixa externa, refugo de caixa d'água de amianto, resultado de quebra em sua fabricação ou comercialização. Este material apresenta características interessantes para esta função devido à facilidade de manuseio, grande durabilidade, bom acabamento, reduzindo necessidade de vedação, além de ser isolante térmico. Assim, a placa de isopor utilizada, teve como função principal propiciar a execução do coletor solar de acordo com os parâmetros geométricos otimizados a partir de simulações matemáticas realizadas com o software SISCOS. (Pereira et al., 1991).

As calhas coletoras e os tubos de distribuição de água, no coletor são de cobre. Dados específicos relativos ao projeto são apresentados na Tabela 1.

### 3.2 - COLETOR SOLAR DE CONCRETO

O protótipo construído foi baseado no modelo proposto por Nayak (1989), que utilizava concreto como absorvedor. Este coletor solar pode inclusive ser projetado para fazer parte integrante da edificação, tendo assim seus custos parcialmente integralizados à obra.

Foram construídos dois módulos do coletor de concreto de dimensões de  $(0.50 \times 0.50 \times 0.10) \text{ m}^3$ , conforme Figura 3.2. Para o absorvedor foi feita uma mistura de cimento, areia / brita zero e água nas proporções :10: 30: 6, e xadrez em pó preto, Uma tela metálica foi colocada na forma de concreto para estruturar a placa absorvedora, dando-lhe maior resistência mecânica.

Como cobertura, empregou-se o vidro liso de 3 mm de espessura, devido à sua maior transmissividade, embora para os primeiros testes tenha-se utilizado vidro fantasia do tipo canelado de menor custo- Utilizou-se blocos de concreto

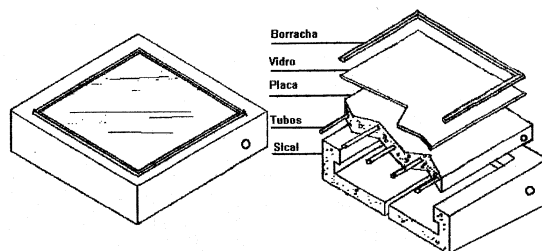


FIGURA 3.2 - COLETOR SOLAR DE CONCRETO

autoclavado como elemento de isolamento térmico e estrutural, As calhas coletoras e os tubos de distribuição de água no coletor são de, CPVC. Dados específicos relativos ao projeto são também apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros básicos de construção dos protótipos

Parâmetros Básicos do Coletor	Concreto	Areia
Largura do absorvedor (m)	0.50	0.54
Comprimento do absorvedor (m)	0.50	0.78
Número de tubos (m)	5	6
Distância placa vidro(m)	0.035	0.043
Espessura do vidro (m)	0.003	0.002
Diâmetro interno do tubo(m)	0.0134	0.0092
Diâmetro externo do tubo(m)	0.015	0.010
Espessura do absorvedor(m)	0.035	0.010
Espessura do isolante da base(m)	0.040	0.051
Espessura da base da caixa (m)	-	0.015
Espessura da lateral da caixa m)	-	0.015
Fator de contato(%)	100	60
Absortividade da tinta	0.9	0.9
Emissividade da tinta	0.9	0.9
Refletividade da tinta	0.1	0.1
Absortivdadc da cobertura	0.05	0.05
Índice de refração da cobertura	1.526	1.526
Coefficiente de extinção do vidro	4	4
Condutividade do isolante(W/mK)	0.10	0.15
Condutividade da base(W/mK)	-	0.41
Condutividade da lateral(W/mK)	-	0.41
Condutividade do absorvedor(W/mK)	1.4	0.5
Condutividade do tubo(W/mK)	0.14	386
Angulo de inclinação do coletor	30°	30°

### 3.3 - COLETOR SOLAR INTEGRADO

O sistema integrado desenvolvido é do tipo triangular, conforme mostrado na figura 3.3. A placa absorvedora é de aço galvanizado, pintada de preto-fosco comercial. Os isolamentos interno e externo são de poliuretano expandido, que também é empregado como elemento estrutural. O princípio de funcionamento deste coletor é o aquecimento da água contida no canal formado pela placa absorvedora e a placa de isolamento interna, em circulação natural (termossifão).

O coletor integrado apresenta maior facilidade de instalação, reduzindo a incidência de erros usuais como tubulação de retorno de água quente descendente. Sua maior vantagem sobre o coletor comercial é a redução na altura mínima necessária na cumieira. Este fato, além de representar uma redução de custos pode viabilizar a instalação de sistemas solares em situações atualmente não recomendadas.

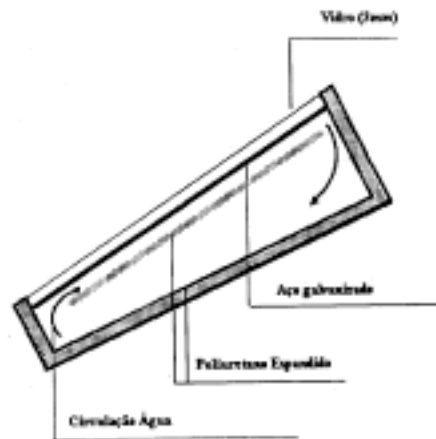


FIGURA 3.3 - COLETOR SOLAR INTEGRADO

As características físicas do protótipo são:

Volume: 60 litros

Superfície Absorvedora : Aço Galvanizado 16 ( Área : 0,50 M<sup>2</sup>)

Isolamento : poliuretano expandido ( 50 mm)

A partir da construção do protótipo elaborou-se uma planilha de custos, chegando-se ao custo final de R 156.60/ m<sup>2</sup> incluídos mão de obra, custos indiretos e margem de lucro. O custo final do sistema convencional é de R 378.00/ m<sup>2</sup>. Deve-se salientar ainda que o sistema integrado apresenta grande potencial de redução de custos, diferentemente dos coletores convencionais.

## 4 - RESULTADOS e CONCLUSÕES

A curva comparativa dos testes de eficiência térmica instantânea para os coletores solares de areia e de concreto e para o coletor comercial de menor custo disponível no mercado brasileiro é mostrada na figura 4.1.

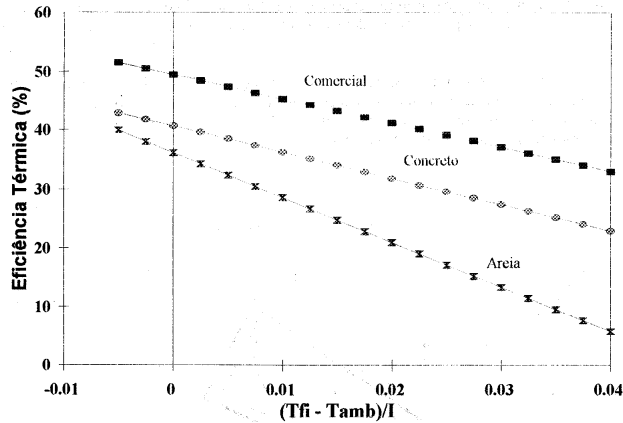


FIGURA 4.1 - CURVA COMPARATIVA DE COLETORES SOLARES

Com base na teoria apresentada por Duffie e Beckmann (1991) a inclinação da reta de eficiência pelo método das perdas corresponde ao produto  $-F_R U_T$ , entre o coeficiente global de perda e o fator de remoção de calor entre a placa e o fluido de trabalho, neste caso, água. O ponto onde a reta corta a abscissa, representa o produto  $-F_R \tau \alpha$ , que considera a transmissividade do vidro  $\tau$  e a absorvidade  $\alpha$  da tinta utilizada.

Verificou-se na fase de testes, problemas de fabricação relativos ao coletor de areia que comprometeram sua curva de desempenho térmico embora o potencial de sua utilização não possa ser descartado. Durante o preparo da mistura areia - betonita - xadrez, utilizou-se água que não foi completamente evaporada antes do fechamento do coletor, gerando-se umidade interna que comprometia a transmissividade do vidro além de contribuir para um maior coeficiente de perdas. Outro problema surgiu quando da instalação dos sensores de temperatura na tubulação de entrada e saída de água do coletor (Resistência de platina - PT 100). O peso da tubulação e válvulas causou uma torção nos tubos de distribuição de água, reduzindo o contato entre os (Tubos e a superfície absorvedora e conseqüentemente o fator de remoção que considera os efeitos deste contato. Um segundo protótipo foi então construído, estando atualmente em fase de testes. Os resultados preliminares confirmam um aumento em seu desempenho térmico.

Quanto ao coletor de concreto, os resultados foram bastante satisfatórios quando comparados ao coletor comercial. A inclinação das retas é praticamente igual, indicando coeficientes de perda similares. Quanto ao menor valor do produto  $F_R \tau \alpha$  este é atribuído ao xadrez que possui menor absorvidade comparada às tintas comerciais desenvolvidas para coletores planos.

Testes de eficiência média horária para o coletor integrado, de capacidade de 60 litros, mostram que em 3 horas de operação a água atinge temperaturas da ordem de 40° C, para níveis de insolação da ordem de 700 a 1000 W/M<sup>2</sup>.

Assim, podemos concluir sobre a viabilidade técnica de coletores solares de baixo custo para utilização em conjuntos habitacionais, creches e escolas.