

ANÁLISE EXPERIMENTAL DE COLETORES SOLARES PLANOS PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES

André Luiz Barcellos Jr.; Filipe H. C. Medeiros; Eduardo H. Notomi, Nathan Mendes; Luís Mauro Moura

Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR

Laboratórios de Sistemas Térmicos

Rua Imaculada Conceição, 1155 – Prado Velho

Curitiba – PR, 80.215 - 901 – Brasil

e-mail: argusaquecedores@uol.com.br, filipe.med@bol.com.br, notomi@netpar.com.br,
nmendes@ccet.pucpr.br, lmoura@rla01.pucpr.br

RESUMO

As fontes de energia convencionais ainda a disposição para o consumo, não por muitas vezes racional, vêm sofrendo indícios de extinção e paralelamente de desequilíbrios ecológicos, o que faz com que o custo unitário de sua utilização e as crises energéticas aumente substancialmente, tornando-se cada vez mais oneroso o uso de tais fontes.

Entre todas as fontes de energias alternativas em uso atualmente, pode-se considerar a energia solar como uma das mais promissoras, sendo esta limpa, segura e gratuita, podendo ser destinada em diversos campos como: secadores, destiladores, geração de energia elétrica, aquecimento de água etc.

Dessa forma, tendo como objetivo verificar o rendimento térmico em coletores solares planos para aquecimento de água e, visando-se a uma melhor razão custo-benefício, empregaram-se diferentes condições de operações e de materiais. O cumprimento do objetivo exigiu a montagem de bancada, com um modelo com características comerciais como referência e outros dois módulos distintos, permitindo a comparação de resultados em termos de diferença de temperatura e fluxo de calor através da superfície de base do coletor. Resultados mostraram que coletores sem cobertura podem prover uma melhor eficiência térmica a um custo reduzido.

ABSTRACT

Conventional energy sources - still available for consumption, which use is often irrational - start to show indications of extinction, with consequent ecological disequilibria, which makes their cost to gradually increase and energy crises to be more evident.

Among all alternative energy sources in use nowadays, the solar one should be considered as the most promising for being clean, safe and totally free. Besides that, it is remarkable its large field of applications in engineering such as in dryers, distillers, electric energy generation systems and water heating systems among many others.

In this way, as the main goal is verifying flat-plate solar collectors efficiency for residential water heating systems, we have used different conditions of operations and materials. The fulfillment of this objective required experiments with a commercial model as the reference collector and other two different modules, allowing making comparisons of results in terms of temperature difference between the collector inlet and outlet and of heat flux across their lower surface as well. Results have shown that collectors without a cover material may give better thermal efficiency with a lower cost.

1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios do ser humano é, sem dúvida, o abastecimento energético mundial, com o crescente consumo da energia convencional como os derivados de petróleo, energia elétrica, carvão dentre outros, tornando-se cada vez mais necessária a sua racionalização, evitando oscilações de preços e a escassez futura.

Entre todos os problemas enfrentados atualmente devido às crises energéticas provocadas pelo consumo desenfreado de energia, o homem vem procurando meios de supri-la a partir de fontes alternativas como a energia eólica e a energia solar, tendo esta seus efeitos térmicos aproveitados desde épocas imemoriais.

Uma das formas de aproveitamento da energia solar, é a sua utilização para aquecimento de água residencial, tendo em vista que este sistema já vem sendo utilizado no Brasil desde meados de 1970, quando um dos mais sérios problemas energéticos mundiais eclodiu, chamado de crise energética.

O sistema de aquecimento solar, com o objetivo de aquecer água, possui elevado custo de aquisição, mas, considerando que o Brasil é praticamente um país de clima tropical, torna-se viável o seu custo-benefício devido à longa vida útil do sistema. Desta forma, faz-se necessária a compreensão funcional do sistema, baseado em dados técnicos e experimentais, visando assegurar a demanda necessária a um dimensionamento eficiente.

Mveh et al. (1998) realizaram estudos de eficiência térmica em coletores solares sem cobertura para produção de água quente em locais onde a temperatura é baixa. Segundo os autores, nesse caso a eficiência é muito mais afetada pela temperatura ambiente e pela velocidade do vento.

Siqueira et al. (1998) desenvolveram uma correlação para a determinação da eficiência térmica diária em média mensal de um sistema de aquecimento solar de água operando em regime de termo-sifão. A equação mostra que a eficiência é uma função linear das condições meteorológicas, da qualidade do coletor empregado e dos parâmetros de projeto que relacionam o volume do tanque, volume de demanda e área de coleta. Essa correlação é útil já que é uma alternativa simples e rápida para o cálculo da eficiência em média mensal sem a necessidade de se recorrer a determinação experimental ou a simulação computacional.

Estudos de campo também foram realizados por Neto (2000) que testou diferentes protótipos de coletores solares parabólicos para levantamento de curvas de eficiência térmica, constantes de tempo, e eficiências óticas representadas pelos ângulos de incidência solar, na tentativa de otimizá-los. Gomes e Fico (2000) também realizaram estudos de otimização, mas com uma metodologia teórica do desempenho de coletores de placas. Eles introduziram um degrau no perfil da aleta para quatro materiais com diferentes espessuras de placas.

Com o intuito de desenvolver coletores solares energeticamente eficientes e a baixo custo, esse trabalho foi conduzido experimentalmente de forma a permitir a análise térmica de coletores solares planos, a partir da utilização de sistemas em operação passiva ou termo-sifão (escoamento por convecção natural no circuito), sendo este o mais comum em países de clima tropical. A análise do sistema baseia-se no levantamento da diferença de temperatura entre a entrada e a saída de coletores e do fluxo de calor através de suas superfícies inferiores, visando o melhor desempenho com materiais de menor custo (plástico e sem cobertura).

2. METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado na Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), a uma latitude de 25,4° Sul e com altitude média de 800 metros acima do nível do mar. O experimento foi montado no terraço do Bloco 2 do Parque Tecnológico, onde montaram-se duas bancadas de ensaios, sendo uma delas considerada como referência, possuindo um coletor solar plano interligado a um reservatório térmico, sendo este alimentado por uma caixa d'água formando assim o sistema por

circulação natural de água através de forças de empuxo. Todo esse aparato foi conectado a um sistema de aquisição de dados Agilent 34970A.

2.1 Materiais e Métodos

A metodologia empregada na análise de sistemas geradores de água quente, através da energia solar, foi vinculada à medição e análise de temperatura de entrada de água fria e saída de água quente dos coletores solares e reservatórios térmicos, variação de diferentes coberturas de superfície como vidros pontilhados e vidros lisos, chapa alveolar *Termoclear* de policarbonato e também a análise de coletores solares sem cobertura de superfície. Os coletores foram orientados para o norte com inclinação correspondente a latitude da cidade de Curitiba. Mediu-se também o fluxo de calor que atravessa a superfície inferior do coletor.

2.2 Montagem do Experimento

Cada sistema foi composto de uma caixa d'água de 50 litros, um reservatório com isolamento térmico em manta de lã de vidro com volume de armazenamento de 50 litros e um coletor solar de 1,0 m² em diferentes níveis, formando o sistema por circulação natural (termo-sifão), entre as tubulações de entrada de água fria para os coletores, saída de água quente dos coletores, interior dos reservatórios térmicos, corpo negro e caixa externa traseira do coletor (Figuras 1 e 2).

A caixa d'água em nível superior alimenta o reservatório térmico pela entrada de água fria localizado na parte inferior, este em nível superior ao coletor solar o alimenta pela calha inferior, o qual, pela calha superior do coletor solar, interliga-se novamente pela entrada superior do reservatório térmico. Este reservatório possui um ponto para o consumo d'água e respiro, completando assim o ciclo de trabalho e permitindo a circulação natural de água quente pelo sistema.



a)



b)

Figuras 1: Vistas Isométrica (a) e Frontal (b) do Sistema de Aquecimento Solar

Foram fixados termopares e fluxímetros de calor (Figuras 2 e 3) ao sistema ilustrado na Figura 2, permitindo monitoramento e armazenagem de dados através do sistema de aquisição Agilent 34970A .

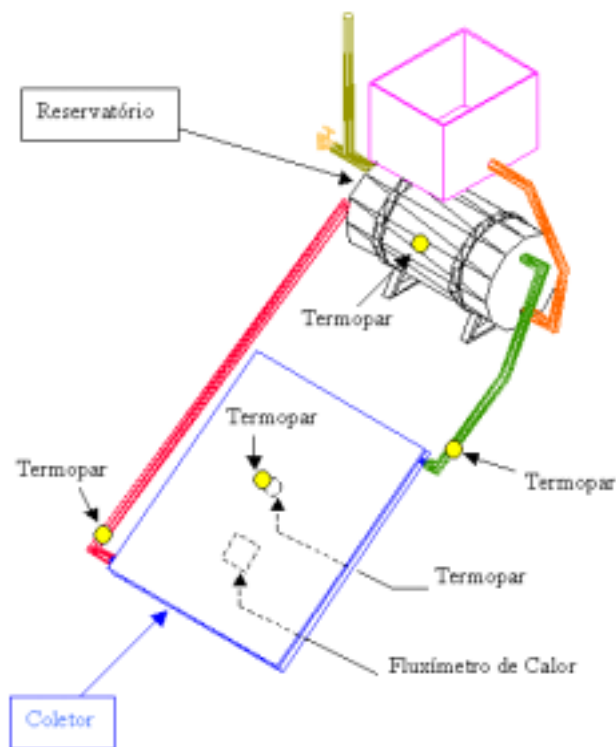


Figura 2 – Croqui Com Posicionamento de Termopares e Fluxímetros

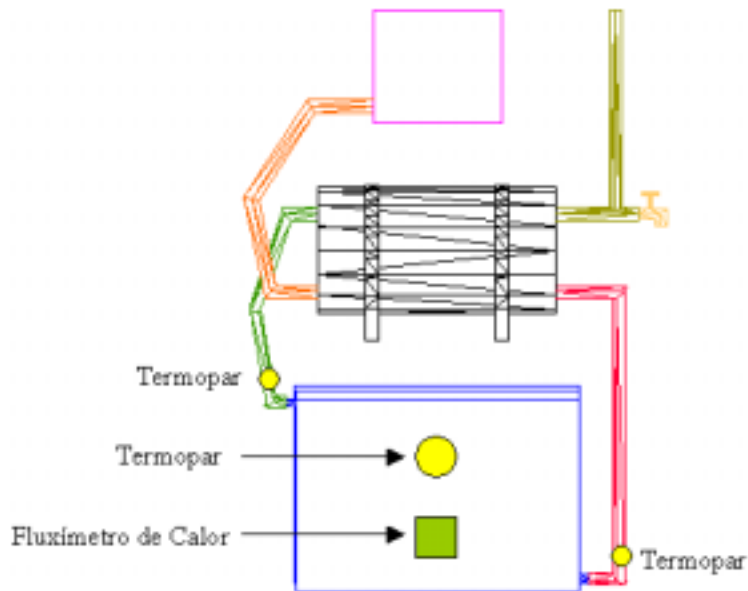


Figura 3 – Vista Traseira do Aquecedor Solar

As medições efetuadas nos coletores solares tiveram um tempo médio aproximado de aquisição de três dias por coletor, sempre comparando o coletor referência com o coletor amostra, permitindo através do sistema de aquisição de dados obter diversas variações nos diferentes pontos de monitoramento, assim comparando o diferencial de temperatura e as perdas de calor tanto em dias ensolarados, nublados e no período noturno.

2.3 Tomada de Dados

Os ensaios realizados foram feitos na base da substituição de diferentes tipos de coletores que sejam de interesse para a pesquisa (coletores amostra). A diferença entre eles está relacionada com o tipo de proteção do coletor (vidro, plástico, etc.) e o tipo de isolamento térmico. Cada um desses coletores amostra foi comparado com um coletor de referência, fixo, de material e isolamento pré-determinados. A Tabela 1 mostra os modelos dos coletores utilizados nos ensaios.

Tabela 1 – Tipos de Coletores Utilizados

Tipo de Coletor	Material de Cobertura Utilizado	Tipo de Isolamento
Referência – Ref	Vidro Pontilhado	Manta de Lã
Amostra – A1	Plástico	Manta de Lã
Amostra – A2	Sem Cobertura	Manta de Lã

A tomada de dados compreendeu o preenchimento de uma planilha para cada coletor solar com uma duração média de 72 horas, contendo as variáveis necessárias a análise do sistema.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta sessão, apresentam-se resultados em termos de diferença de temperatura e fluxo de calor para os coletores listados na Tabela 1, i. e., alternando-se apenas o material utilizado para cobertura (vidro pontilhado, plástico ou sem cobertura).

As Figuras 4 a 7 mostram a comparação do fluxo de calor e da diferença de temperatura, substituindo-se o material utilizado para cobertura do coletor solar, mas mantendo-se o isolamento de manta de lã.

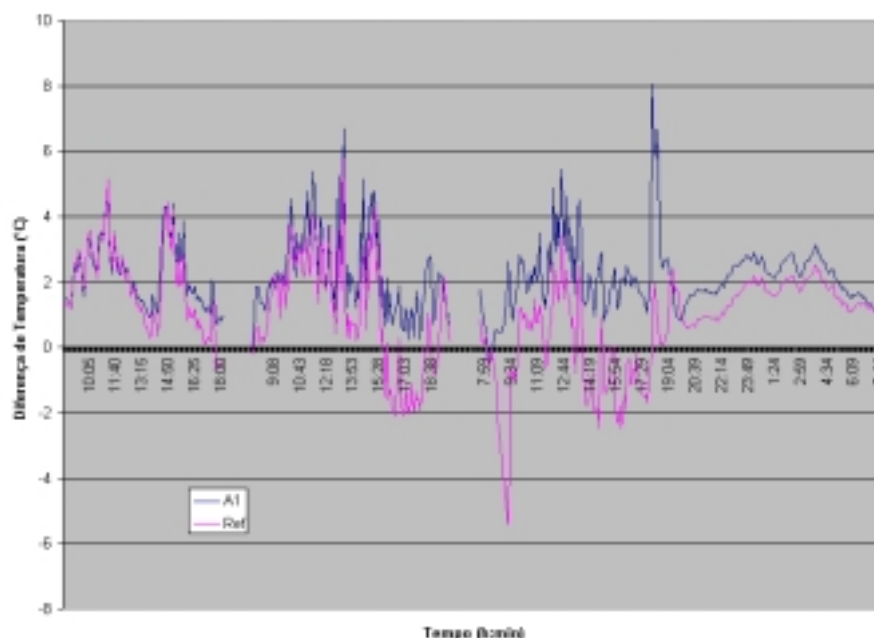


Figura 4 – Comparação em termos de diferença de temperatura entre a entrada e a saída dos coletores com cobertura de plástico (A1) e de vidro pontilhado (Ref.)

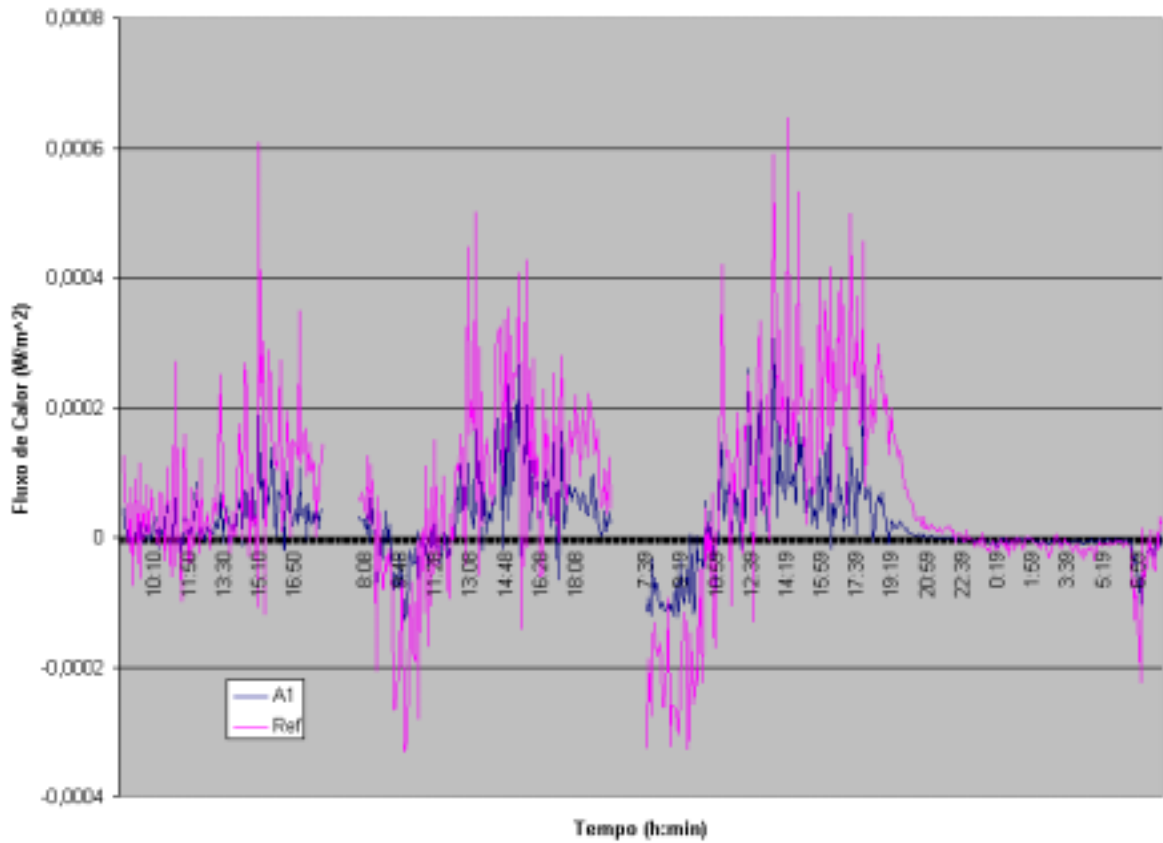


Figura 5 – Comparação em termos de fluxo de calor para os coletores com cobertura de plástico (A1) e de vidro pontilhado (Ref.)

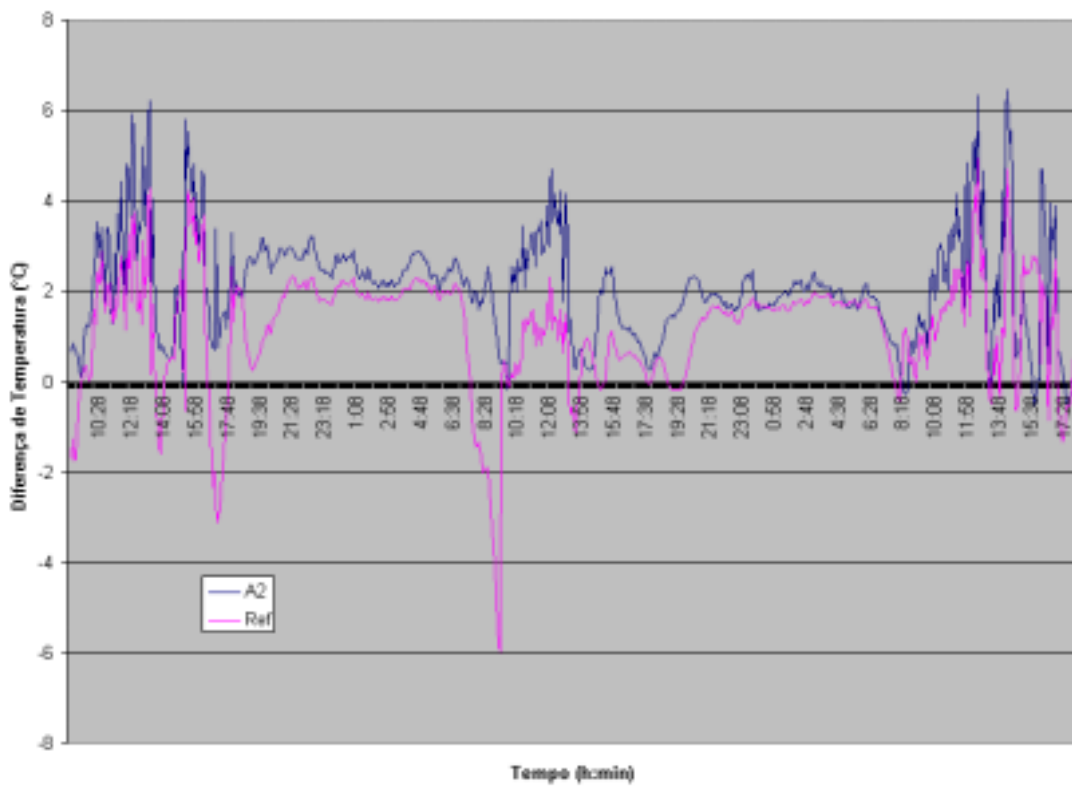


Figura 6 – Comparação em termos de diferença de temperatura entre a entrada e a saída dos coletores sem cobertura (A2) e com cobertura de vidro pontilhado (Ref.)

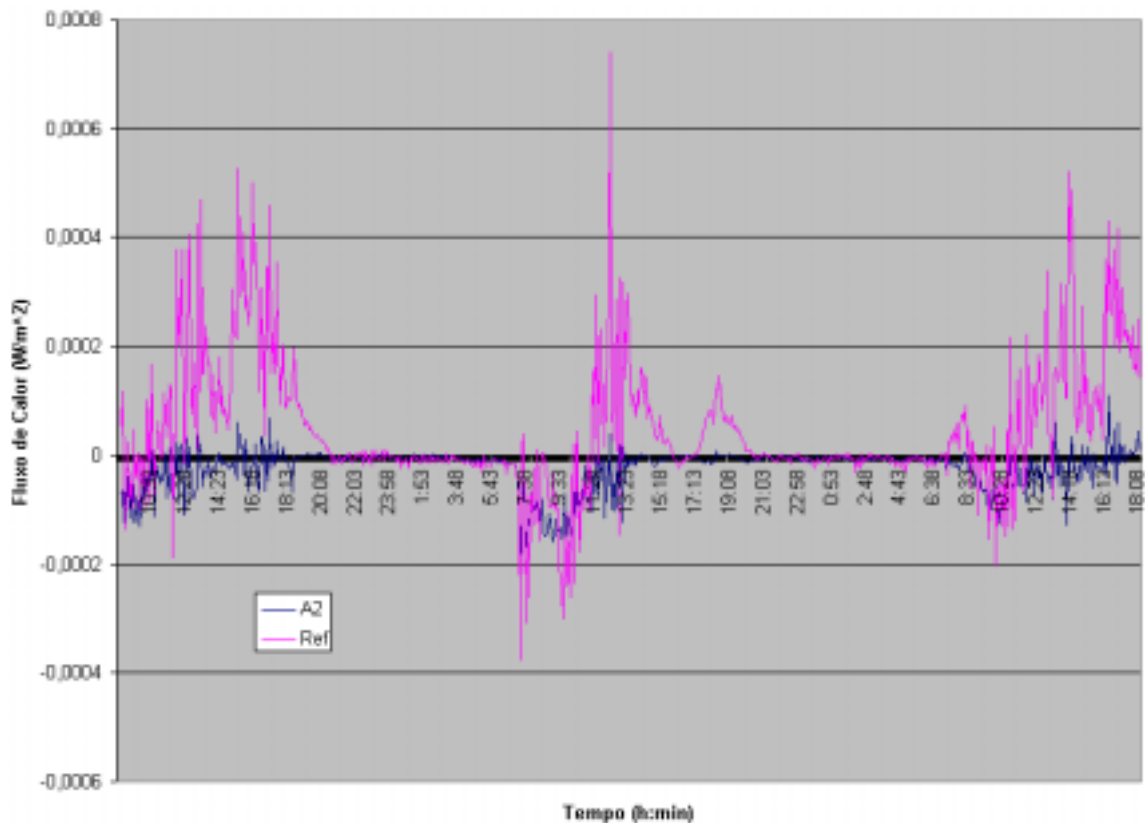


Figura 7 – Comparação em termos de fluxo de calor para os coletores sem cobertura (A2) e com cobertura de vidro pontilhado (Ref.)

A Figura 4 mostra facilmente que a cobertura com plástico apresentou-se mais termicamente eficiente que a cobertura com vidro pontilhado (Amostra A1). Através da média da diferença de temperatura, a cobertura plástica também se apresentou superior a de vidro em $1,17^{\circ}\text{C}$ para o período analisado tal como mostrado na Figura 4. Os parâmetros favoráveis a esse resultado devem-se possivelmente à alta transmissividade do plástico empregado e a sua baixa condutância térmica.

Na Figura 5, pode-se observar que a perda de calor na base do coletor com cobertura de plástico é inferior àquela do vidro pontilhado. A média do ganho de calor para o coletor referência foi de $1,28 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$, enquanto para a amostra A1 foi de $4,88 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2$. A perda máxima de calor para a referência foi de $9,21 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2$, e para a amostra de $3,59 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2$.

A diferença de temperatura para o coletor sem cobertura é ilustrada na Figura 6, mostrando que o efeito final da cobertura de vidro pontilhado pode ser a redução dos ganhos térmicos para elevação da temperatura da água. Lembra-se que o vidro pontilhado contribui com os aportes térmicos por prover o efeito estufa e por reduzir as perdas convectivas. No entanto, a sua presença reduz a quantidade da energia solar direta absorvida pela placa aletada do coletor. Dessa forma, entende-se, como uma indicação, que esse vidro mostra-se como um material que não possui a transmissividade adequada para ser empregado no tipo de coletor analisado neste trabalho. Para o coletor sem cobertura, conseguiu-se uma média, em termos de diferença de temperatura entre a entrada e a saída do coletor, de $0,94^{\circ}\text{C}$ acima da obtida para o vidro pontilhado.

Da mesma forma que na Figura 5, a Figura 7 apresenta o fluxo de calor na base inferior de cada coletor solar em análise, só que, desta vez, comparando-se o coletor referência com o coletor sem cobertura. Na Referência, o ganho de calor foi de $1,11 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$, e a perda, de $1,7 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2$. Por outro lado, a amostra A2 teve ganho de $2,03 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2$ e perda de $3,4 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2$.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos, observa-se, do ponto de vista de eficiência térmica, que pode-se substituir o vidro pontilhado pelo plástico com aumento do rendimento de aquecimento d'água e redução de custos com material.

Surpreendentemente, observou-se também um bom rendimento térmico para o coletor sem cobertura, o que acarretaria uma redução ainda maior de custos e permitiria a maior disseminação de seu uso para edificações populares. No entanto, a comparação pode ter sido beneficiada pela presença, no coletor utilizado como referência, de um vidro de baixa transmissividade para radiação de ondas eletromagnéticas de alta frequência (ultra-violeta).

Assim, como complemento a este trabalho, sugere-se a avaliação da transmissividade de coberturas em um espectro em frequência acima do correspondente à faixa do visível.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GOMES D.G., FICO N. G., Otimização de Coletores Solares de Placas Planas. In: MERCOFRIO 2000 – CONGRESSO DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO DO MERCOSUL, Porto Alegre, 2000.

MVEH J.D.M., PRIEB C.W.M., KRENZINGER A., Eficiência de Coletores Solares sem Cobertura, In: MERCOFRIO 1998 – FEIRA E CONGRESSO DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO DO MERCOSUL, Porto Alegre, 1998.

NETO J.H.M., Projeto, Fabricação, Montagem e Testes de Diferentes Protótipos de Coletores Solares Parabólicos Compostos “CPCS”, In: MERCOFRIO 2000 – CONGRESSO DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO DO MERCOSUL, Porto Alegre, 2000.

SIQUEIRA A.M.O., KRENZINGER A., Cálculo da Eficiência Diária em Média Mensal de um Sistema de Aquecimento Solar Operando em Regime de Termo-sifão, In: MERCOFRIO 1998 - FEIRA E CONGRESSO DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO DO MERCOSUL, Porto Alegre, 1998.