

SISTEMA ALTERNATIVO DE AQUECIMENTO SOLAR

Luiz Guilherme Meira de Souza;

João Maria Bezerra

UFRN – CT – Depto. de Engenharia Mecânica

Campus universitário – Natal – RN.

CEP: 59072-970 – Fone: (84) 215-3740.

RESUMO

O trabalho desenvolvido busca uma alternativa para redução do uso da energia elétrica obtida da forma convencional como uma maneira de amenizar diretamente a matriz energética estadual, bem como contribuir para a diminuição do consumo nacional de energia elétrica, através da utilização de uma fonte de energia renovável, limpa e abundante, no aquecimento de água para fins de banho e uso em cozinha por energia solar.

O sistema que tem sido normalmente empregado para o aquecimento de água residencial e indicado pela literatura especializada trabalha no regime de termo-sifão; o trabalho presentemente desenvolvido usa o regime de fluxo contínuo com uma única passagem pelos coletores solares e busca mostrar que pode ser usado com eficiência em função dos objetivos a serem atingidos, podendo se constituir num sistema que opera com um consumo mínimo de energia elétrica, diminuindo o custo operacional para o usuário.

Palavras Chaves: Energia Solar, Energia Elétrica, Fontes Alternativas de Energia

1. INTRODUÇÃO

De todas as fontes alternativas de energia estudadas, quais sejam, a eólica, a solar, a de biomassa, a geotérmica, a maremotriz e a hidráulica, a que mais tem merecido destaque é a energia solar, por ser uma fonte renovável, limpa e não poluente, disponível em qualquer localidade da Terra. De uma forma geral, todas essas fontes de energia podem ser resumidas apenas em solar e geotérmica, visto que todas as demais fontes são formas indiretas da energia solar. De todas as possibilidades de uso da energia solar, a que tem se evidenciado como uma das mais viáveis é o aquecimento de água para fins residenciais e industriais, sendo sua aplicação a mais difundida e utilizada em todo o mundo, principalmente na França, Estados Unidos, Israel, Índia, Canadá, dentre outros. No Brasil, por ser um país tropical, esta fonte de energia encontra-se de forma bastante abundante em todo o território nacional, principalmente na região nordeste, onde se estima que apresenta um alto nível de insolação ficando na ordem de 500 a 700 W/m², conforme BEZERRA(1986).

Segundo LAMBERTS, R. et all (1996), 42% do consumo de energia elétrica no Brasil é direcionado para o setor de edificações, dos quais 84,1% indica a construção por empresas e famílias e 15,9% pela administração pública, envolvendo 13,8% do Produto Interno Bruto do país. Ainda de acordo com LAMBERTS, R. et all (1996) , o setor residencial responde por 25% do consumo nacional de energia e coloca o chuveiro elétrico como segundo maior consumidor de energia em uma residência com 25% do consumo total perdendo apenas para o refrigerador com 30% deste consumo. Dados da CEMIG – Companhia Energética de Minas

Gerais, constantes em FIGUEIREDO (1990), indicam que o uso de chuveiro elétrico no Brasil atinge o horário de pico das 18:00 h às 19:00 h, quando em pelo menos 50% das unidades habitacionais que dispõe de chuveiro elétrico existe pelo menos uma pessoa tomando banho, o que provoca uma demanda de aproximadamente 8,5% da demanda nacional de energia que está sendo utilizada neste horário. Portanto, se, pelo menos, mantiver-se a qualidade e disponibilidade dos serviços reduzindo o consumo de energia, se estará aumentando a eficiência da matriz energética. Estes dados indicam ser a utilização cada vez mais crescente de unidades habitacionais com sistema de aquecimento de água por energia solar como sendo um caminho claro e viável para o alívio do sistema energético nacional, que ora encontra-se numa situação bastante difícil devido a falta de investimentos do Governo Federal para instalação de novos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica pela via convencional, agravado pela questão dos recursos hídricos existentes que, por sua vez, em algumas regiões também encontram-se já com sua capacidade para acomodação de usinas hidrelétricas praticamente esgotadas.

Os dispositivos utilizados para a captação da energia solar são chamados de coletores solares, que podem ser classificados de baixa, média e alta concentração dependendo do nível de temperatura requerido. Os coletores mais utilizados para esse fim são os coletores de placa plana que são constituídos de uma caixa isolada termicamente nas partes lateral e inferior. Sobre o isolamento inferior é colocada uma placa absorvedora que pode ser pintada de preto fosco ou com uma tinta seletiva. Nessa placa, pode-se colocar tubos absorvedores ou não, caso o seu uso seja para o aquecimento de água ou de ar, respectivamente. A parte superior do coletor é fechada com uma ou duas placas de vidro plano transparente, dependendo da temperatura que se deseja atingir. O seu funcionamento se baseia na absorção da radiação solar pela placa absorvedora, que transforma esta radiação em calor e o transfere para o fluido de trabalho.

2.1. O SISTEMA PROPOSTO

No âmbito do Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar da UFRN sempre priorizou-se a importância dada ao desenvolvimento de coletores solares que, além de atenderem ao fim para o qual haviam sido projetados, tivessem um baixo custo em relação aos coletores dito convencionais disponíveis no mercado, apresentando uma relação custo x benefício satisfatória. Com este intuito, foram construídos e estudados seis modelos de coletores solares alternativos que variaram bastante quanto a pontos fundamentais, tais como o material a ser utilizado para a confecção dos tubos absorvedores bem como sua disposição (em série ou em paralelo), o número de unidades absorvedoras e a geometria a ser empregada.

O sistema proposto neste trabalho será utilizado como base para se analisar dois pontos fundamentais para o uso destes sistemas solares: sua operacionalidade e o desempenho de dois coletores similares com tubos absorvedores de diferentes diâmetros.

Para se ter uma posição definida quanto à viabilidade econômica do sistema, foi efetuada uma simulação no que diz respeito ao consumo de água quente e à utilização da energia elétrica necessária para dar suporte ao sistema, para uma residência padrão, definida como uma média dos padrões de unidades habitacionais existentes nesta região.

No presente estudo, procurar-se-á chegar a um sistema solar de aquecimento de água para fins residenciais, que apresente satisfatória relação custo x benefício, que mantenha um bom nível de operacionalização, atendendo ao objetivo para o qual se propôs, se bem adequando à realidade e que se apresente como uma alternativa prática e acessível para uso imediato no mercado consumidor.

2.2. CONSTITUIÇÃO DO SISTEMA

O sistema em estudo foi montado com a finalidade de se simular uma situação de consumo a mais próxima possível de uma residência. Este sistema constituiu-se, basicamente, de duas caixas de fibrocimento (uma de 250 litros e uma de 500 litros), dois coletores solares planos, complementado por um aporte elétrico constituído por uma resistência elétrica de 2000W de potência, uma bóia de controle de nível de 10 A, um contactor e um termostato.

Os coletores solares utilizados para a montagem do sistema apresentavam uma área de exposição a radiação solar correspondente a $1,5\text{m}^2$ ($1,0\text{m} \times 1,5\text{m}$), tubos absorvedores de cobre com diâmetro de $3/4"$ (Coletor I) e $1/2"$ (Coletor II), em número de 17, dispostos em série e cobertura com uma placa de vidro plano transparente de 3mm de espessura. A relação quantidade de unidades absorvedoras x disposição das unidades está diretamente relacionada com a curvatura mínima conseguida em laboratório nos tubos de cobre),

2.3. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

Pode-se dimensionar um sistema solar para aquecimento de água de forma direta ou indireta. A seguir, faz-se um breve resumo sobre cada um destes métodos de dimensionamento: No método direto o dimensionamento é feito em função do número de pessoas a usar o sistema ($0,7\text{m}^2/\text{pessoa}$) e no indireto a área de captação é determinada de acordo com o volume do reservatório de água quente (vazão pequena – 2 l/min; vazão confortável – 5 l/min e vazão farta – 10 l/min).

2.4. DEFINIÇÃO DA RESIDÊNCIA PADRÃO E HÁBITOS DE CONSUMO

Com a finalidade de se definir um modelo padrão de residência que representasse uma média das unidades habitacionais da região nordeste, foram definidas como hipóteses simplificadoras, uma residência que constasse do casal com dois filhos totalizando 4 (quatro) pessoas, 3 (três) banhos por dia por pessoa, um tempo médio de banho igual a 6 (seis) minutos e uma vazão do chuveiro de 5 (cinco) litros por minuto (vazão confortável).

O reservatório de água fria foi alimentado através da rede pública, sendo responsável pela manutenção da vazão requerida em níveis constantes e pela alimentação dos coletores solares I e II. A água, ao sair aquecida dos coletores solares, que foram ligados em série, seguia para o reservatório de água quente do sistema, onde se mantinha armazenada até o consumo. As figuras 1 e 2 mostram os principais componentes do sistema proposto.

2.5. CUSTO DE FABRICAÇÃO DOS COLETORES SOLARES

Para cada coletor fabricado utilizou-se 25 metros de tubos de cobre de R\$ 4,00 por metro para os de $3/4"$ e R\$ 2,50 para os de $1/2"$. Para cobertura de cada coletor utilizou-se $1,5\text{m}^2$ de placa de vidro de 3mm de espessura ao preço de R\$ 10,00 por metro quadrado. A estrutura foi confeccionada em perfil de alumínio (R\$20,00 para cada seis metros) com chapas, absorvedora e de fundo, de alumínio com 5mm de espessura (R\$10,00 por metro quadrado). O isolamento térmico utilizado foi a lã de vidro (R\$10,00 a manta de $0,60\text{m} \times 1,20\text{m}$), o elemento de vedação borracha de silicone (R\$5,00 a bisnaga) e a pintura dos elementos absorvedores feita com preto fosco (R\$5,00 o litro).

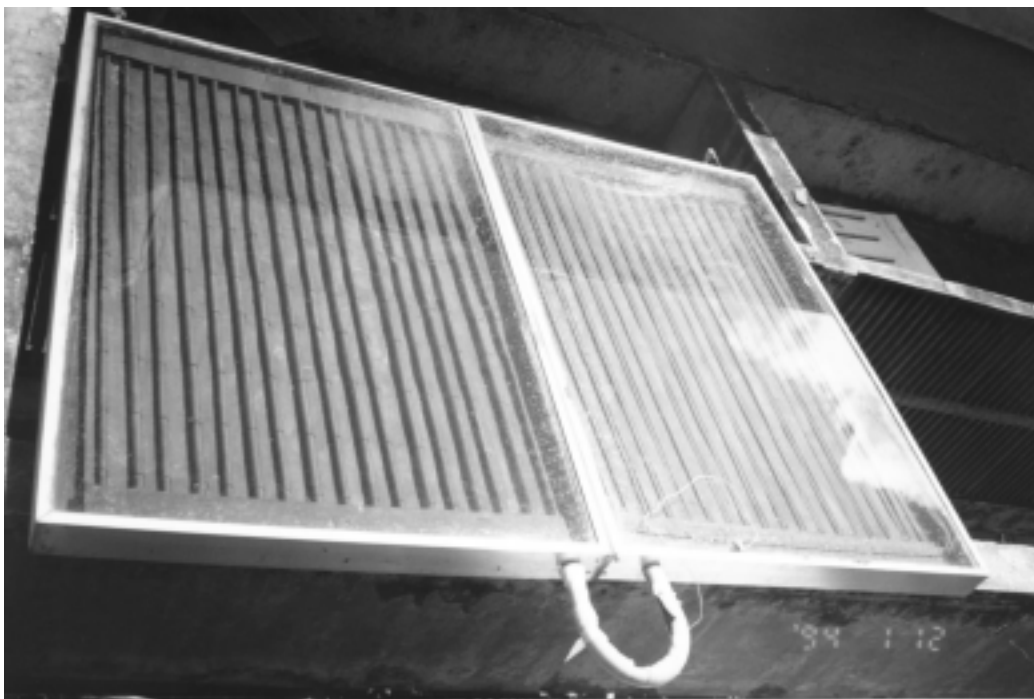


Figura 1 - Coletores do sistema de aquecimento proposto



Figura 2 - Reservatório de água quente do sistema de aquecimento

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O desenvolvimento experimental deste trabalho consistiu, primeiramente, em se fazer um ensaio dos dois coletores a serem usados no sistema a ser estudado, procurando fazer-se

uma análise comparativa dos mesmos quanto à relação custo x benefício; numa segunda etapa, foi realizada uma simulação prática do real consumo diário de uma residência padrão, estudando-se o desempenho operacional do sistema instalado, usando-se para isto, as hipóteses simplificadoras citadas no item anterior. Com estes dados, foi estabelecido o consumo diário desta residência que serviria de base de cálculo para determinar-se o consumo médio mensal desta unidade habitacional.

Os coletores solares foram ensaiados individualmente com as vazões de 30 l/h, 40 l/h e 50 l/h, em um período de três dias, em regime de fluxo contínuo. O sistema de aquecimento instalado foi ensaiado com uma vazão de 60 l/h, tendo os coletores sido montados em série e os ensaios realizados em um período de cinco dias, em regime de fluxo contínuo, com uma única passagem e considerando-se um volume de 360 litros de água quente por dia. Tanto para os ensaios dos coletores individualmente quanto para o sistema instalado, os dados foram tomados de meia em meia hora, de 8:00 às 15:00 horas.

Para simular o funcionamento do sistema na residência padrão definida, foram realizadas três descargas de água quente do sistema, representando o consumo diário para banho dos seus usuários. Procurou-se realizar estas descargas de água quente para consumo nos horários de 7:00 h, 12:00 h e 18:00 h, por serem os horários médios que, geralmente, são usados para banho.

Durante o período no qual foi realizado este experimento também foi analisada a funcionalidade dos coletores solares planos empregados, estudando-se os seus rendimentos térmicos para as vazões especificadas. Uma atenção especial será dada ao reservatório térmico utilizado com o intuito de procurar-se ter uma análise mais cuidadosa deste reservatório quanto ao seu material (fibrocimento) e ao seu isolamento.

Para os ensaios realizados com os coletores foram levantados dados das temperaturas de entrada e de saída de água em cada coletor para cada vazão trabalhada e nível da radiação solar. Por sua vez, para os ensaios realizados com o sistema de aquecimento instalado, foram levantados dados das temperaturas nos seguintes pontos: entrada dos coletores, temperatura de saída de água do primeiro coletor (igual a temperatura de entrada do segundo coletor), na entrada do reservatório térmico, no interior do reservatório térmico. Além disso, foram medidos o nível da radiação solar e consumo diário de eletricidade para a vazão determinada. A temperatura da água no interior do reservatório térmico foi tomada na região intermediária do reservatório, procurando-se obter a temperatura média interna do reservatório de água quente.

O consumo de eletricidade foi tomado através do medidor de eletricidade integrante do aporte elétrico do sistema e a radiação solar foi medida por intermédio de um piranômetro, construído no Laboratório de Máquinas Térmicas e Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, acoplado a um multímetro digital.

4.1. ANÁLISE DO DESEMPENHO DOS COLETORES SOLARES

Na primeira etapa, centralizam-se as considerações apenas nos coletores solares estudados e chamados, respectivamente, de coletor I com os tubos absorvedores de 3/4" e, coletor II, com os tubos absorvedores de 1/2".

Para que se possa ter uma melhor visão sobre o desempenho destes coletores, mostra-se na Tabela 1, os dados obtidos para as vazões de 30, 40 e 50 litros por hora para ambos.

Tabela 1. Dados de temperatura e rendimento dos coletores estudados

Q (l/h)	30 l/h	40 l/h	50 l/h
$\Delta T - C1$	23,8	19,6	17,5
$\Delta T - C2$	21,8	18,4	15,1
$\eta - C1$	70,04	71,99	75,08
$\eta - C2$	66,95	69,44	69,46

$\Delta T - C1$: Variação da Temperatura no Coletor Solar I (°C)

$\Delta T - C2$: Variação da Temperatura no Coletor Solar II (°C)

$\eta - C1$: Rendimento Térmico do Coletor Solar I (%)

$\eta - C2$: Rendimento Térmico do Coletor Solar II (%)

Comparando ao dados obtidos de um coletor em relação ao outro, percebeu-se que os valores obtidos no coletor I sempre foram mais elevados do que os valores obtidos no coletor II, tanto no que diz respeito às diferenças das temperaturas de entrada e de saída do fluido, quanto em relação ao rendimento dos mesmos. Em relação às diferenças de temperaturas estes acréscimos foram de 9,17%, 6,52% e 15,89%, respectivamente, para as mesmas vazões de 30, 40 e 50 litros por hora. Para os rendimentos térmicos, estes acréscimos foram de 4,61%, 3,67% e 8,09% para as mesmas vazões.

Os acréscimos obtidos pelo coletor I em relação ao coletor II, conforme visto, situaram-se em patamares bastante modestos, salientando-se que ambos os coletores foram construídos com as mesmas características, alterando-se apenas o diâmetro dos tubos absorvedores e que foram colocados sob as mesmas condições de trabalho.

A escolha de qual dos dois coletor seria o mais indicado para utilização em um sistema de aquecimento de água para banho recairia naquele que melhor apresentasse a relação custo x benefício, já que ambos satisfazem às exigências técnicas. Diante deste fato, é importante lembrar-se os custos de fabricação de cada um dos coletores, cujo resumo se encontra na tabela 2.

Tabela 2. Custos de fabricação dos coletores solares

Coletor	Custo/m² (R\$)	Custo Total (R\$)
Coletor I	132,00	198,00
Coletor II	103,70	155,50

De acordo com a tabela acima, nota-se um aumento de R\$ 42,50 no custo do coletor I em relação ao coletor II, o que equivale a um acréscimo de 27,33%.

Diante do exposto, conclui-se que o coletor II seria o que apresentou uma maior viabilidade em função da relação custo x benefício, visto que os ganhos obtidos com o coletor I foram bastante modestos, não compensando o acréscimo de 27,33% nos custos de fabricação.

4.2. ANÁLISE DO SISTEMA DE AQUECIMENTO

Para se analisar o sistema de aquecimento proposto, é de fundamental importância que se compare os dados obtidos com aqueles referentes a um sistema convencional de aquecimento de água para banho, que opere em iguais condições.

Para isso, convém lembrar as características de operação do sistema convencional: -
Objetivo: aquecimento de água para banho, Temperatura mínima da água quente: 40°C;
Usuários: 4 pessoas; - Banhos por dia: 3 banhos; Vazão do chuveiro: 5 l/min (confortável);
Tempo de banho: 6 minutos; Volume de água quente a ser aquecida: 180 litros; Volume
Total de consumo por dia: 360 litros

4.2.1. ANÁLISE DE CUSTO DA ENERGIA DO SISTEMA CONVENCIONAL

Para um chuveiro elétrico aquecer o volume de água quente requisitado trabalharia 72 minutos diariamente, proporcionando as mesmas condições de conforto para os usuários, isto é, um volume de água quente correspondente a 3 banhos por dia com duração de 6 minutos para cada um dos quatro usuários. (obs.: 3 banhos x 6 minutos x 4 usuários = 72 minutos/dia)

Portanto, para o aquecimento de um volume equivalente a 360 litros de água quente por dia, necessitaria-se de uma quantidade de calor a ser determinada pela expressão abaixo:

$$Q_u = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (1)$$

onde: Q_u = quantidade de calor fornecida (kW); m = vazão mássica (kg/s); c_p = calor específico a pressão constante ($4,18 \times 10^3$ kJ/Kg.°C); ΔT = variação entre a temperatura final e inicial do fluido (10°C)

Sendo assim, ter-se-ia que uma quantidade de calor correspondente a 4,17 kWh. Portanto, para aquecer o volume especificado necessitaria-se de 83,4 kWh de energia elétrica por mês que, em termos financeiros, equivaleria ao valor de R\$ 13,34 levando-se em consideração o preço do kWh estimado em R\$ 0,16, conforme dado da concessionária de energia local.

Perceba-se que este é um raciocínio generalizado, visto que o consumo originado pela fonte de aquecimento convencional, tanto pode ser um chuveiro elétrico quanto um aquecedor elétrico de passagem, por exemplo.

4.2.2. SISTEMA SOLAR DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

A eficiência do sistema solar projetado pode ser avaliada pela quase não utilização do aquecimento elétrico para suprir a incapacidade de aquecimento na temperatura desejada por parte do sistema solar.

A quantidade de calor perdida pelo reservatório térmico das 15:00 horas de um dia de ensaio para às 07:00 horas do dia seguinte, atingiu um valor médio de 8,7°C .

Observou-se que estas quedas de temperatura, praticamente, não ocasionaram o acionamento da resistência elétrica do sistema, regulada para ser acionada a 40°C, temperatura mínima desejada da água no reservatório térmico. Apenas no último dia de ensaio foi que o reservatório atingiu uma temperatura inicial de 39,7°C. Esse comportamento implicou o consumo de energia mostrado na tabela 3.

Tabela 3. Consumo elétrico do sistema de aquecimento

Período	Consumo Diário (kWh)	Consumo Semanal (kWh)	Consumo Mensal (kWh)
28.12 – 29.12	1,2	4,5	18,0
29.12 – 30.12	1,1		
30.12 – 31.12	0,5		
31.12 – 01.01	1,7		
MÉDIA SEMANAL	1,1		
MÉDIA MENSAL	4,4		

Pelos valores apresentados, percebe-se que a resistência elétrica do sistema foi muito pouco acionada, lembrando-se que nestes consumos está incluída a energia consumida pelo termostato do sistema que, por ser elétrico, também tem sua parcela de consumo de eletricidade.

Diante do exposto, podemos concluir que o sistema apresentou um desempenho bastante satisfatório no período de ensaios realizados tanto em relação a sua eficiência para aquecimento da água requerida para o consumo quanto à energia elétrica utilizada pelo seu aporte elétrico.

Portanto, pode-se concluir que pode ser indicado o sistema em estudo para uso de aquecimento de água para fins de banho em residências de pequeno porte. É importante salientar que com o uso do sistema de aquecimento proposto, obter-se-ia uma economia mensal do consumo de energia elétrica de 78,4% em relação ao sistema convencional, visto que enquanto o consumo média mensal de um chuveiro elétrico ficaria em torno de 83,4 kWh, o do sistema proposto foi de 18,0 kWh.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Em função da análise dos dados coletados e apresentados neste trabalho, além da observação mantida quanto à operacionalidade, manutenção e desempenho tanto dos coletores solares quanto do sistema de aquecimento empregados, chegou-se às seguintes conclusões:

- a) Os resultados atingidos pelos coletores solares estudados (coletor I – tubos absorvedores de 3/4" e coletor II – tubos absorvedores de 1/2") mostraram a viabilidade operacional de qualquer um dos dois em sistemas de aquecimento de água por energia solar para residências;
- b) Os coletores apresentaram baixo custo de fabricação por metro quadrado (R\$ 132,00 para o coletor I e R\$ 155,50 para o coletor II), quando comparados aos coletores planos convencionais com os tubos ligados em paralelo, sendo de seis a oito por metro de largura e trabalhando em regime de termosifão (R\$ 200,00), conforme LOURENÇO (1998), o que indica a viabilidade econômica dos seus usos;
- c) Com relação à durabilidade dos coletores empregados, pode-se afirmar que os mesmos não sofreram alterações perceptíveis quanto à deformação e desgaste durante o período de ensaios;
- d) O reservatório térmico mostrou-se eficiente com relação a sua funcionabilidade nos dias de ensaio. A caixa de fibrocimento não apresentou vazamento nem desgaste, resistindo bem à temperatura e à pressão. O pó de madeira cumpriu satisfatoriamente a sua função de isolante térmico, garantindo a possível temperatura interna da água no reservatório, com um mínimo de perdas de calor.

- e) O sistema de aquecimento mostrou-se bem mais econômico do que o convencional, visto que projetou um consumo médio mensal de 18,0 kWh (equivalentes a R\$ 2,88) contra 83,4 kWh (equivalentes a R\$ 13,34) obtendo uma economia de 78,4%, o que indica ser bastante promissor a substituição do sistema convencional pelo sistema alternativo proposto.
- f) Os coletores do sistema proposto poderiam ter como elementos absorvedores tubos de PVC, devendo ser estudada a viabilidade de utilização de tal tipo de material de uma forma mais aprofundada, em função de seu baixo custo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEZERRA, A.M. **Energia Solar: Aquecedores de Água**, Editora Universitária – UFPB, 221 p. João Pessoa, 1986.
- DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W.A. **Solar Engineering of Thermal Processes**, II edição, New York, John & Sons, 757 p., 1991.
- FIGUEREDO, J.C.A. **Performance de sistemas de aquecimento solar de água em condomínios**. V Congresso Brasileiro de Energia. Anais – Vol. 1/3. Rio de Janeiro, 1990.
- JAGUARIBE, E.F. **Parâmetros e Modelos Ligados à Captação da Energia Solar**, Boletim da Associação Brasileira de Energia Solar, Ano V, n. 13, João Pessoa/PB, 1983.
- JÚNIOR, F.S. **Otimização e Desempenho Térmico de um Coletor Solar Alternativo com Tubos Absorvedores de Cobre**, Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 1995.
- LAMBERTS, R. et all. **Eficiência Energética em Edificações: estado da arte**. MME/ELETROBRÁS.1996.
- LOURENÇO, J.M. **Estudo de um Coletor Solar Alternativo, usando Tubos Absorvedores de Alumínio**, Dissertação de Mestrado/Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica-UFRN, Natal/RN, 144 p., 1997.
- MEIRA, G.L. **A importância da Energia Solar como Fonte Alternativa e o Desenvolvimento de um Instrumento para medir Radiação Solar Global**, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 70 p., Natal, 1987.
- PALZ, W. **Energia Solar e Fontes Alternativas**, Tradução Noberto de Paula Lima. Hemus Editora Ltda., p. 116, São paulo, 1995.