

## **ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DE COLETORES SOLARES CONSTRUÍDOS COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO NO AQUECIMENTO DE ÁGUA**

**Rafael Santana Bispo, rafaelsbispo@gmail.com<sup>1</sup>**

**Thamy Cristina Hayashi, thamy@ufba.br<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Mecânica Computacional. Rua Mendeleiev, s/n - Cidade Universitária Zeferino Vaz - Barão Geraldo - Caixa Postal 6122 - CEP: 13.083-970 - Campinas - SP - Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Química. R. Aristides Novis, 2, Federação. CEP - 40210-630 - Salvador, BA - Brasil.

**Resumo.** Atualmente, a busca pela adoção de fontes renováveis de energia como forma de redução de impactos ambientais e do efeito estufa tem se destacado como projetos e metas a serem alcançadas. Dentre essas fontes, a energia fotovoltaica e térmica solar vem conquistando espaço neste cenário. Considerada como boa alternativa em substituição ou complementação ao chuveiro elétrico, a utilização do aquecimento solar de água tem crescido em hotéis, prédios e residências. Entretanto, o elevado custo de aquisição ainda interfere na maior expansão deste sistema. No Brasil, existem vários projetos de coletores solares alternativos construídos de materiais recicláveis, de baixo custo e disponíveis em ferro-velho, que buscam disseminar o uso da energia solar, na tentativa de reduzir os custos de produção dos coletores. Neste trabalho é estudada a viabilidade econômica da utilização de coletores solares de baixo custo em situações onde a demanda por água aquecida é maior que em residências. O coletor alternativo é construído com garrafas de refrigerante, caixas de leite longa vida, sacolas plásticas, tubos e conexões hidráulicas em PVC. A viabilidade foi alcançada avaliando os custos de aquisição do sistema de aquecimento solar de água convencional com o sistema de aquecimento alternativo e a economia proporcionada pela adoção do sistema alternativo. A possível necessidade de um sistema auxiliar em dias nublados ou de baixa insolação também foi considerada. Para obtenção de dados de demanda de água quente foi simulado a utilização em um colégio de ensinos fundamental e médio. Por fim, é determinado o tempo de retorno do investimento, considerando a economia com energia elétrica dos sistemas alternativos e tradicional.

**Palavras-chave:** Energias renováveis, Aquecimento solar, Materiais recicláveis

### **1. INTRODUÇÃO**

A preocupação mundial em tentar reduzir ou minimizar os impactos ambientais provocados pela expansão industrial tem levado muitos países a introduzir fontes de energias renováveis em suas matrizes energéticas, em especial fontes que promova redução significativa na emissão de gases lançados à atmosfera principalmente os causadores do efeito estufa. Segundo o estudo do *Renewables 2007 Global Status Report*, produzido pela Rede de Energias Renováveis para o Século XXI (REN21) citado em ANEEL (2008), em colaboração com o *Worldwatch Institute*, no período entre 2002 e 2006 foi verificado um aumento entre 20 e 60 % a capacidade instalada de fontes alternativas não oriundas de combustíveis fósseis. Entretanto, a participação dessas fontes alternativas ao combustível fóssil representam apenas 435 TWh (terawatts-hora) de uma oferta total de 18.930 TWh, como mostra na tabela 1.

No Brasil, em 2003, com base na Lei no 10.438, de abril de 2002 foi criado o Proinfa, maior programa nacional para estímulo à produção de energia elétrica através de fontes renováveis. Com esse programa o Brasil produziria inicialmente cerca de 3,3 mil MW em energia. Dessa potência instalada cerca de 1,2 mil MW seriam correspondentes a 63 PCHs (pequenas centrais hidrelétricas), 1,4 mil MW a 54 usinas eólicas e 685 MW a 27 usinas de pequeno porte à base de biomassa. Posteriormente à primeira fase do programa a meta é que as três fontes eleitas tenham participação de 10% na matriz da energia elétrica nacional. Em outubro de 2008, no entanto, do total inicialmente previsto, estão em operação comercial 34 PCHs, 19 usinas a biomassa e 7 eólicas. Segundo o Banco de Informações de Geração (BIG), ANEEL (2008), em novembro de 2008, estão em operação no país 17 usinas eólicas, 320 PCHs, um empreendimento fotovoltaico e três usinas termelétricas abastecidas por biogás, cuja matéria-prima é a biomassa obtida em aterros sanitários (lixões).

Tabela 1. Produção de energia elétrica no mundo em 2006

	%	TWh
Petróleo	5,80	1.097,94
Carvão	41,00	7.761,94
Gás Natural	20,10	3.804,93
Energia Nuclear	14,80	2.801,64
Hidráulica	16,00	3.028,80
Outras Fontes Renováveis	435,39	
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>18.930</b>

Fonte: IEA, 2008, extraído ANEEL (2008)

Considerando apenas a energia solar, segundo o Plano Nacional de Energia 2030 o Brasil registra uma radiação solar entre 8 a 22 MJ (megajoules) 1 por metro quadrado (m<sup>2</sup>) durante o dia, sendo que as menores variações ocorrem nos meses de maio a julho, variando de 8 a 18 MJ/m<sup>2</sup>. Além disso, na região Nordeste a radiação solar é comparada a radiação da cidade de Dongola, no deserto do Sudão, e a região de Dagget, no Deserto de Mojave, Califórnia sendo estas regiões consideradas mundialmente como melhores em incidência solar. Apesar dos ótimos números o aquecimento solar não é explorado no país, já que, segundo o BIG, no Balanço Energético Nacional, em 2008, apenas uma usina fotovoltaica - Araras, no município de Nova Mamoré, no Estado de Rondônia, com potência instalada de 20,48 kW aparece como empreendimento na área de energia solar.

A geração de energia elétrica e o aquecimento de solar de água são as duas principais formas de aproveitamento da energia proveniente do sol. Na produção de energia elétrica existem dois sistemas de geração: O sistema heliotérmico onde a irradiação solar é convertida em calor e utilizadas em usinas termelétricas e o sistema fotovoltaico onde a irradiação é convertida diretamente em energia elétrica. No aquecimento de água a irradiação solar é utilizada para criar um efeito estufa dentro de uma câmara chamada de placa ou coletor solar aquecendo a água. Composto de um processo compreendidos em 4 fases (coleta da irradiação, conversão em calor, transporte e armazenamento) o sistema heliotérmico necessita de locais com alta incidência de irradiação solar direta, isto é, locais com baixo índice pluviométrico como no semi-árido brasileiro. O sistema fotovoltaico não requer obrigatoriamente alta incidência solar podendo trabalhar em dias nublados. Entretanto, devido a sua construção, de Souza (2006), o alto custo e a baixa eficiência são principais fatores que inviabilizam a implantação em grande escala desse sistema. de Souza (2004), como substituição total ou parcial ao uso do chuveiro elétrico nas residências, hotéis e apartamentos o aquecimento solar de água pode ser capaz de reduzir em 12,8% (equivalente a 6.800 MW) na demanda máxima do sistema elétrico brasileiro. Uma das restrições técnicas à difusão de projetos que aproveitem a energia solar é a baixa eficiência dos sistemas de conversão de energia que torna necessário o uso de grandes áreas para a captação de energia em quantidade suficiente para que o empreendimento se torne economicamente viável. Em contrapartida, existem vários projetos no Brasil de coletores solares alternativos construídos de materiais recicláveis, de baixo custo e materiais disponíveis em ferro-velho, que buscam disseminar o uso da energia solar, reduzindo os custos de produção dos coletores, e excluir a utilização de alumínio das placas, já que a extração deste metal requer bastante energia elétrica. Entretanto, a maioria desses coletores não proporciona um rendimento e eficiência térmicos próximo aos coletores disponíveis no mercado, desestimulando a empresários e a consumidores.

## 2. SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

O Sistema de Aquecimento Solar (SAS) de água é composto de coletor solar (ou placa solar), reservatório térmico, aquecimento auxiliar (se necessário), acessórios (termostatos, misturadores, etc) interligados hidraulicamente por tubulações de cobre, aço, CPVC, polipropileno e PEX, além da alimentação de água fria por uma caixa d'água. O coletor solar é responsável pela criação do efeito estufa responsável pelo aumento de temperatura da água. O reservatório térmico é responsável pelo armazenamento da água aquecida pela placas. Na maioria das vezes, são cilindros de aço inoxidável isolados termicamente. Desta forma, a água é conservada aquecida para consumo posterior. A caixa de água fria alimenta o reservatório térmico do aquecedor solar, mantendo-o sempre cheio. Em sistemas convencionais, a água circula entre os coletores e o reservatório térmico através de um sistema de circulação natural chamado termossifão. Nesse sistema, a água dos coletores fica mais quente e, portanto, menos densa que a água no reservatório. Assim a água fria desloca a água quente iniciando um processo de *circulação natural*. A circulação da água também pode ser feita através de moto bombas em um processo chamado de *circulação forçada* ou bombeada, e são normalmente utilizados em piscinas e sistema de grande volume.

## 2.1 Coletores Solares

O coletor solar é o responsável pela transferência de energia provinda da irradiação solar à água que circula nas tubulações internas ao coletor. Existem dois tipos de coletores solares: o coletor plano, e os concentradores (tipo parabólico e tipo Fresnel). Os coletores planos recebem e utilizam a irradiação solar em uma mesma superfície, através de uma placa absorvedora plana unida a feixes de tubos. Conforme Hudson and Markell. (1985), os coletores planos são utilizados em temperaturas de trabalho abaixo de 93<sup>o</sup> C, já os concentradores que também utilizam uma placa absorvedora, porém de formato convexo, se for do tipo parabólico, ou côncavo para os concentradores do tipo Fresnel, são indicados para temperaturas de água entre 50 a 150<sup>o</sup>C conforme Boyle (1996).

Os concentradores, devido ao seu princípio de funcionamento, possuem um aproveitamento maior da radiação do que os planos, entretanto, necessitam de uma montagem sob um mecanismo motorizado de rastreamento do movimento solar, pois a radiação deve incidir no refletor ou na lente com um ângulo correto para ser focalizado sobre o absorvedor conforme Lima (2003). Em sua construção, o coletor plano possui uma placa absorvedora enegrecida e não reflexiva, em alumínio, aço inox ou cobre, para que ocorra uma maior captação da radiação solar, tubulações de cobre que conduzem e transferem energia térmica para a água, além de um isolamento em fibra de vidro nas laterais e na parte inferior minimizando assim as perdas para o ambiente. Esses itens são acomodados numa caixa metálica composta por uma chapa e perfis de alumínio e vedados com uma cobertura de vidro. A utilização destes materiais além da forma de montagem do mesmo dentro do coletor é necessária para que seja gerado, além da troca de calor entre a aleta e a água, um efeito estufa no interior do coletor resultando assim no acréscimo de temperatura da água. O efeito estufa é obtido utilizando-se da placa enegrecida e a cobertura transparente de modo que a radiação incidente, ao refratar a cobertura transparente, modifique seu comprimento de onda a tal ponto de ser absorvida e emitida continuamente pela superfície negra conforme A. G Pereira and Costa (2000).

Ainda é possível utilizar, na tentativa de aumento de rendimento, o recurso dos concentradores nos coletores plano. Contudo, alguns fatores inviabilizam a utilização deste recurso como: a complexidade de ajuste para as aplicações práticas, principalmente para fins domésticos; a necessidade do aumento da área necessária para instalação dos coletores, pois o distanciamento entre placas deve ser acrescido para que na movimentação não provoque sombreamento; a elevação do custo relativos a implantação e manutenção conforme Arruda (2004).

## 2.2 Reservatório Térmico

O sistema de aquecimento de água descrito tem como finalidade suprir a demanda de água aquecida principalmente nos períodos em que não há insolação disponível. Desta forma, como um sistema de acumulação, é necessário o armazenamento da água aquecida para evitar perdas até o momento do consumo, essencialmente à noite. Todavia, os sistemas solares não devem ser projetados para suprir toda demanda de água quente. Assim, os reservatórios possuem uma resistência elétrica de baixa potência para atender com água quente quando o período sem insolação tão extenso suficiente que a captação solar seja insuficiente para elevar a temperatura da água ao nível desejado. Assim sendo, o dimensionamento reservatório térmico é determinado em função do perfil da demanda, do volume de consumo diário e da relação entre a temperatura de utilização e da temperatura de armazenamento da água. Em termos práticos, para pequenas instalações em residências isoladas, este volume corresponde de 100% a 150% do valor do consumo diário que já são considerados no dimensionamento por fabricantes destes sistemas conforme Arruda (2004).

Na fabricação dos reservatórios são empregados materiais como aço inoxidável, ou cobre e o aço esmaltado com ânodo de proteção, na confecção da cápsula interna, lã de vidro ou poliuretano expandido sem CFC para isolamento térmico, além de um acabamento externo de alumínio ou aço inox atuando como proteção às intempéries. Usualmente, são utilizados formatos cilíndricos na montagem dos reservatórios.

## 3. TIPOS DE CONFIGURAÇÃO DOS SAS

Os sistemas de aquecimento solar de água podem ter quatro configurações operacionais distintas: Sistema passivo direto, sistema passivo indireto, sistema ativo direto e sistema ativo indireto. O termo *direto* é empregado quando a água faz o papel de fluido de trabalho, ou seja, o fluido utilizado na troca de calor é a própria água utilizada no consumo, diferente do sistema indireto onde existe um fluido intermediário que primeiramente é aquecido e troca calor com a água. A circulação da água no sistema pode ser feita por termossifão, configurando um sistema *passivo*, ou por um sistema de bombeamento, denominado sistema *ativo*. Doravante será tratado apenas o sistema passivo direto.

### 3.1 Circulação Natural ou em Termossifão

O princípio da circulação natural ou termossifão se dá através do seguinte fenômeno: o aumento de temperatura no interior do coletor causado pela transferência de energia provoca diferença de densidade entre as águas presentes no reservatório e no feixe de tubos internos ao coletor. Essa diferença de densidade gera uma força motriz responsável pelo

deslocamento da massa de fluida, presente no feixe de tubos, fazendo com que a mesma retorne ao reservatório. Como a circulação é dependente da quantidade de energia que é transmitida ao fluido, a vazão de circulação da água é ajustada pela intensidade da radiação solar, diferentemente da circulação forçada onde a vazão é originada de uma pressão externa ao sistema, por exemplo, o uso de uma moto-bomba. No SAS, a ligação hidráulica entre o coletor e o reservatório é chamada de circuito primário. Já o circuito hidráulico responsável pelas alimentações do reservatório térmico, com água fria e os pontos de consumo são denominados circuito secundário. A circulação natural inicia-se quando o gradiente de temperatura, causado pela absorção de energia através do coletor, é suficiente para estabelecer uma diferença entre de pressões entre o coletor e o reservatório térmico. A energia oriunda dessa diferença de pressões é responsável pelo deslocamento do fluido, vencendo assim perdas de carga e peso do fluido. Desta forma, para que a circulação realmente ocorra por termossifão é necessário adotar alguns critérios no posicionamento dos coletores, reservatórios, tubulações, conexões e acessórios na instalação na tentativa de reduzir perdas de carga, formação de bolhas além de aumento no rendimento do sistema.

### 3.2 DIMENSIONAMENTO DE SAS FUNCIONANDO EM TERMOSSIFÃO

Para o seguinte estudo, utilizou-se uma situação para aquecimento solar de água do colégio Emanuel LTDA, de ensino fundamental e médio localizado no município de Dias D'Ávila. O colégio pretende, nos vestiários de um anexo recém construído, instalar um sistema de aquecimento solar para banho dos alunos após as aulas de educação física, e necessitava de um estudo sobre a viabilidade econômica desse sistema. As aulas de educação física são realizadas de segunda a sexta-feira, no horário das 13:00 às 14:40h, com todos os alunos do ensino fundamental ao médio. Entretanto, ocorre um rodízio entre as turmas conforme explicitado na Tabela (2).

Tabela 2. Distribuição das aulas de educação física por turmas

Turmas	Alunos/turma	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Turma 1	12	13:00 às 14:40	-	-	-	-
Turma 2	10	13:00 às 14:40	-	-	-	-
Turma 3	14	-	13:00 às 14:40	-	-	-
Turma 4	16	-	13:00 às 14:40	-	-	-
Turma 5	12	-	-	13:00 às 14:40	-	-
Turma 6	13	-	-	13:00 às 14:40	-	-
Turma 7	16	-	-	-	13:00 às 14:40	-
Turma 8	15	-	-	-	13:00 às 14:40	-
Turma 9	16	-	-	-	-	13:00 às 14:40
Turma 10	12	-	-	-	-	13:00 às 14:40
Turma 11	14	-	-	-	-	13:00 às 14:40
<b>Total</b>	150	22	30	25	31	42
Média	de Alunos	30				

Nessa realidade, a execução das aulas no novo anexo fica inviabilizada economicamente devido aos altos gastos com energia elétrica para suprir a demanda de banho de 150 alunos. Os custos são apresentados Tabela (3), considerando a base de 150 alunos a cada 5 dias. Além disso, nos meses de maio à agosto a potência do chuveiro elétrico foi considerada de 4,4 kW devido a opção inverno. Nos outros meses, a posição verão utiliza uma potência de 3,6 kW. Devido a este alto custo anual, estudou-se a possibilidade de implantação de um sistema alternativo à energia elétrica. Foi sugerido um estudo para implantação de um sistema de aquecimento solar já que este sistema é movido, basicamente, por uma energia limpa e gratuita: a energia do Sol. Para o estudo levou-se em consideração a cotação de reservatórios térmicos e placas e coletores solares, excetuando-se assim, as tubulações e outros acessórios que dependem de cada local de instalação e distância entre os equipamentos e os vestiários. Atualmente, esses sistemas de aquecimento são construídos de materiais como alumínio, cobre, vidro entre outros, e padronizados em forma de placas (construído com materiais metálicos, isolamento térmico, feixe de tubos, placa de absorção e cobertura transparente), e reservatórios térmicos cilíndricos e isolados. Recentemente, estudos comprovam uma boa relação de custo/benefício de modelos de aquecimento solares alternativos. Trata-se de modelos desenvolvidos no Brasil que utilizam na sua construção materiais como garrafas PET, caixas de leite tipo longa vida, sacolas plásticas, entre outros materiais recicláveis ou de baixo custo conforme descrito em D T do Carmo and Pinto (2007).

Desta maneira, foi estudada a viabilidade da utilização dos dois modelos. A modelagem e simulação de possibilidades e custos foram desenvolvidas por rotinas de cálculo. O banco de dados da planilha foi alimentada com informações e preços de reservatórios térmicos, placas solares, reservatórios para água fria além de materiais para a confecção do coletor alternativo. Não foram considerados na rotina custos devido à tubulação, dispositivos eletrônicos, suportes e acessórios destinados a sistemas de aquecimento, já que, para o dimensionamento de coletores solares é necessário, além

das condições geográficas e climáticas de cada região, a capacidade de cada reservatório térmico que fornece água para os coletores. Na possibilidade de estudo de viabilidade econômica da instalação do sistema de aquecimento solar, esses fatores devem ser considerados.

Tabela 3. Custo Mensal do uso do chuveiro elétrico na situação de uso diário

Mês	Potência do chuveiro elétrico (kW)	Tarifa de energia (R\$/kW)	Dias letivos	Tempo de banho (min)	Custo Mensal (R\$)
Janeiro	3,6	0,46	0	10	0,00
Fevereiro	3,6	0,46	12	10	99,36
Março	3,6	0,46	20	10	165,60
Abril	3,6	0,46	21	10	173,88
Mai	4,4	0,46	20	10	202,40
Junho	4,4	0,46	17	10	172,04
Julho	4,4	0,46	12	10	121,44
Agosto	4,4	0,46	21	10	212,52
Setembro	3,6	0,46	22	10	182,16
Outubro	3,6	0,46	23	10	190,44
Novembro	3,6	0,46	20	10	165,60
Dezembro	3,6	0,46	12	10	99,36
<b>Total</b>					<b>1784,80</b>

### 3.3 Modelo Convencional: Seleção do reservatório térmico

Para a seleção do reservatório térmico, é preciso estimar a demanda de água quente do colégio. Essa estimativa é realizada considerando-se a quantidade de usuários do sistema e multiplicando pelo consumo por pessoa. Em banho de duração entre 8 e 10 minutos, os fabricantes de coletores fornecem médias de consumos que podem ser utilizados como parâmetro para dimensionamento. Os valores de consumo diário de água quente por pessoa variam de acordo com cada fabricante e são descritos na Tabela (4). Baseando-se na mediana entre os valores de consumo para chuveiro adotou-se o valor de 70 litros/pessoa/dia. Para os demais pontos de utilização consideraram-se os valores da empresa 01 por não serem significativamente maiores do que os demais, mas garantindo um resultado conservativo e assim proporcionarem uma maior faixa de segurança para o sistema. Com as determinações dos pontos de utilização de água quente e da quantidade de usuários do sistema, calculou-se a demanda total de água quente:

$$C_T = U.P \quad (1)$$

onde  $C_T$  representa o consumo total de água quente em litros, U são os pontos de utilização e P o número de usuários.

Tabela 4. Consumo de água quente para residências

Pontos de utilização	Empresa 01 (litro/pessoa/dia)	Empresa 02 (litro/pessoa/dia)	Empresa 03 (litro/pessoa/dia)
Chuveiro	80	50	70
Lavatório	8	5	-
Ducha Higiênica	6	5	-
Cozinha	18	15	-
Lavanderia	15	15	-
Lava-louça	8	-	-
Banheira pequena	130	-	-
Banheira média	170	-	-
Banheira grande	260	-	-

Como nem todas as turmas realizam as aulas de educação física no mesmo dia, a demanda de água quente não foi calculada com o total de alunos do colégio, e sim pela maior quantidade de usuários nos vestiários durante um dos dias da semana. Desta forma, a situação mais crítica é de 42 usuários resultando num valor de  $C_T = 2940$  l. Com a demanda total de água quente definida, buscou-se nos catálogos de fabricantes e revendedores de reservatórios térmicos aquele que melhor atendesse a capacidade de cada instalação. Devido à grande dificuldade de fornecimento de preços por parte dos fabricantes, foram utilizados apenas modelos e preços dos reservatórios térmicos de uma das empresas.



Tabela 5. Reservatórios térmicos em aço carbono com tratamento anticorrosivo em epóxi e pressão até 5 mca

Modelo	Potência da resist. elétrica (W)	L (mm)	D (mm)	Capacidade (litros)	Preço (R\$)
BSE-50/3kW	3000	600	480	50,00	713,00
BSE-75/3kW	3000	800	480	75,00	788,00
BSE-100/3kW	3000	1000	480	100,00	863,00
BSE-150/3kW	3000	1450	480	150,00	938,00
BSE-200/3kW	3000	1200	560	200,00	975,00
BSE-300/3kW	3000	1200	670	300,00	1200,00
BSE-400/3kW	3000	1600	670	400,00	1350,00
BSE-500/3kW	3000	1900	670	500,00	1463,00
BSE-600/3kW	3000	2300	670	600,00	1650,00
BSE-700/3kW	3000	2400	670	700,00	2025,00
BSE-800/6kW	6000	2900	800	800,00	2400,00
BSE-1000/6kW	6000	3300	800	1000,00	2925,00

Neste trabalho, definiu-se por utilizar somente reservatórios térmicos de aço carbono com revestimento em epóxi por serem mais baratos do que os reservatórios com aço inox ou cobre conforme listagem da Tabela (5). O emprego destes materiais é justificado quando existe forte poder de oxidação por salitre, por exemplo, ou a água da rede de abastecimento é corrosiva, o que não é o caso do município onde se localiza o colégio. Segundo Arruda (2004), o sistema de aquecimento solar não é dimensionado para suprir toda a demanda de água quente em todos os períodos de utilização, já que, ao trabalhar em dias chuvosos ou de pouca radiação solar deve existir um dispositivo auxiliar de aquecimento. Assim, determina-se como fração solar a parcela de energia fornecida, para aquecimento, pelo SAS.

$$f_s = \frac{L_0 - L_e}{L_0} = \frac{L_s}{L_0} \quad (2)$$

onde  $f_s$  é a fração solar,  $L_0$  a energia total requerida pelo sistema (energia útil + perdas) em Joules,  $L_e$  a energia da fonte auxiliar em Joules e  $L_s$  a energia solar útil também em Joules. Segundo Dias (2005), para Uberlândia, com dados da Estação Meteorológica da Universidade de Uberlândia, entre 2000 e 2003 foi assumida uma fração solar de 90%, ou seja, cerca de 10% dos dias ocorrem chuvas ou períodos de pouca insolação. Devido à indisponibilidade de dados sobre a região de Salvador, e como forma de avaliação da metodologia aplicada no presente trabalho, foi adotada uma fração solar de 90% para períodos de verão, 60% para inverno e 80% para as demais estações. Vale ressaltar a importância da obtenção destes parâmetros. O modelo mais barato, encontrado em casas de materiais de construção, de chuveiro elétrico possui uma potência nominal de 4,4 kW. Para a comparação econômica, foi estimada, em Uberlândia, a utilização da potência nominal de 4,4 kW somente nos 4 meses de inverno. No restante do ano o chuveiro é utilizado com sua chave na posição *verão*, que representa uma potência nominal de 3,6 kW, segundo análise dos dados obtidos da Estação Meteorológica de Uberlândia. Portanto, neste trabalho, considerou-se 4 meses de inverno, já que a região onde se encontra o colégio, tem o clima mais quente do que o estado de Minas Gerais. Assim, nos meses de julho a setembro a potência nominal considerada foi de 4,4 kW, e nos demais, 3,6 kW. No caso do sistema auxiliar, o chuveiro elétrico convencional em banhos de 10 minutos foi considerado com sistema auxiliar nos dias nublados considerados através do cálculo da fração solar. Os dias de utilização do chuveiro são determinados através da fração solar para cada época do ano. Assim, o custo com sistema auxiliar é de R\$ 425,96 por ano de energia elétrica conforme Tabela (6).

### 3.4 Modelo Convencional: Dimensionamento dos coletores solares

O dimensionamento da área necessária para aquecer o volume total do reservatório depende do clima da região onde serão instalados os coletores, da orientação em relação ao norte geográfico e da quantidade de água a aquecer. Para este dimensionamento, cada fabricante, através de metodologias próprias, determina a área necessária para o aquecimento. Segundo a ENALTER (2008), o cálculo da área necessária dos coletores para a demanda de água quente é realizada da seguinte forma:

$$A_c = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot C}{100} \quad (3)$$

onde  $A_c$  é área total necessária dos coletores em m<sup>2</sup>,  $K_1$  o fator de correção para diversos climas assumindo 1,33 em regiões frias, 1,00 em regiões temperadas e 0,80 regiões quente (céu limpo);  $K_2$  o fator de correção para orientações divergentes do norte verdadeiro (leste ou oeste) adotando 1,00 até 15°, 1,05 de 15 a 20° e C a capacidade total do(s)

Tabela 6. Custo Mensal do uso do chuveiro elétrico como sistema auxiliar

Mês	Potência do chuveiro (kW)	Tarifa de energia (R\$/kW)	Dias letivos	Fração solar	Dias de utiliz.	Tempo de banho (min)	Custo Mensal (R\$)
Janeiro	3,6	0,46	0	0,9	0	10	0,00
Fevereiro	3,6	0,46	12	0,9	1	10	8,28
Março	3,6	0,46	20	0,9	2	10	16,56
Abril	3,6	0,46	21	0,8	4	10	33,12
Mai	4,4	0,46	20	0,8	4	10	40,48
Junho	4,4	0,46	17	0,8	3	10	30,36
Julho	4,4	0,46	12	0,6	5	10	50,60
Agosto	4,4	0,46	21	0,6	8	10	80,96
Setembro	3,6	0,46	22	0,6	9	10	74,52
Outubro	3,6	0,46	23	0,8	5	10	41,40
Novembro	3,6	0,46	20	0,8	4	10	33,12
Dezembro	3,6	0,46	12	0,8	2	10	16,56
<b>Total</b>							<b>425,96</b>

Tabela 7. Modelos de coletores solares

Modelo	$A_c$	Preço (R\$)
Modelo 01	1,0000	379,00
Modelo 02	1,5725	479,00
Modelo 03	1,5725	580,00

reservatório(s) térmico(s) em litros. Na seleção foram utilizados os modelos de coletores que possuem aletas com tubos de alumínio ao invés de cobre que são cerca de 52% mais caros.

Seguindo o exemplo dos reservatórios, segue um exemplo sobre a seleção da área necessária para aquecimento da demanda de água quente.

Modelo 01

Área de coletor = 1,00 m<sup>2</sup>

$$A_c = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot C}{100} = \frac{1,00 \cdot 1,00 \cdot 600,00}{100} = 6,00 \text{ m}^2 \quad (4)$$

O custo de 6 coletores do **modelo 01** é de R\$ 2274,00, totalizando um investimento de R\$ 6822,00 na possível aquisição de 30 coletores deste modelo para os 5 reservatórios do modelo BSE-600/6kw. O cálculo do custo foi feito para todos os modelos de coletores. Para a situação proposta é mais econômica a utilização de 4 coletores para cada reservatório do modelo BSE-600/6kw, totalizando 20 coletores do **modelo 03** de 1,5725 m<sup>2</sup> cada, resultando num investimento de R\$ 9580,00.

### 3.5 Modelo Alternativo: Descrição do Aquecedor Solar

Preocupado com o destino final de materiais como garrafas de PET, caixas de leite tipo longa vida, sacolas plásticas e isopor, José Alcino Alano e família desenvolveram um coletor solar alternativo que utiliza estes materiais, além de outros com valor de aquisição baixo, na tentativa de incentivar de sistemas ecologicamente corretos. Devido ao baixo custo dos materiais empregados na construção o sistema proposto também pode ser implantado em residências de famílias de baixa renda e em instituições com fins sociais disseminando os benefícios de economia de energia associada ao uso da energia solar para todas as pessoas, independente de sua renda. Para este fim, foi desenvolvido um manual sobre a construção e instalação do aquecedor solar com descartáveis.

Este projeto é patenteado junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Industriais  $\ddot{U}$  INPI para que, segundo o autor, sejam respeitados os seguintes requisitos: **01**) que o aquecedor solar com descartáveis não possa ser produzido em escala industrial por empresas, mas somente por associações ou cooperativas de catadores e instituições sociais, como um gerador de renda complementar para as famílias envolvidas; **02**) que jamais se utilize o mesmo com fins eleitoreiros, de barganha política partidária, mas liberado para políticas sociais. O sistema alternativo tem a possibilidade de funcionamento tanto em circulação natural como em circulação forçada. Entre as preocupações desse projeto a redução de custos, em substituição aos tubos de cobre ou alumínio, aplicado nos coletores convencionais, é a mais importante. No coletor, são utilizados materiais mais simples, porém, menos eficientes nas colunas de absorção térmica e na tubulação de interligação

do circuito primário e secundário, como tubos e conexões de PVC. A caixa metálica e a cobertura transparente dos coletores convencionais são substituídas pelas garrafas PET. O feixe de tubos e a chapa de absorção foram substituídos pela caixa de leite longa vida e por colunas de PVC, ambas pintadas de preto fosco. O reservatório térmico é substituído por uma caixa d'água, comumente aplicada nas residências, em fibra de vidro e com um isolamento de isopor. Para a confecção do coletor podem ser utilizados dois tipos de garrafas PET (de 2 litros): garrafas transparentes lisas ou cinturadas.

Segundo Alano (2008), em sua residência foi instalado um SAS composto de um coletor com 100 garrafas PET, totalizando uma área útil de 1,80 m<sup>2</sup>, conectado a uma caixa d'água de 250 litros, como reservatório, e revestida com isopor de 20 mm de espessura, com isolante térmico. No verão, com uma exposição solar de 6h por dia, foi verificada, ao final do aquecimento uma temperatura de 52°C na parte superior da caixa d'água. Com base em testes efetuados em um coletor com 100 garrafas, demonstrados nas tabelas 29 a 34, num total de 2 m<sup>2</sup>, em vazão de 0,02 l/s, quando o rendimento médio instantâneo alcançado foi de 36%, realizados em 3 ciclos de aquecimento diário no inverno e no verão.

### 3.6 Modelo Alternativo: Dimensionamento do Reservatório Térmico

Segundo Alano (2008), uma caixa d'água de 310 litros (utilizada comumente para distribuição hidráulica de residências) revestida com camada de isopor de 20 mm de espessura, desempenha o papel de reservatório térmico do sistema. Esse reservatório supre a necessidade de água quente para banho de 4 pessoas, em banhos que não ultrapassem 8 minutos. Com esse modelo de caixa d'água, o consumo de cada usuário é de 77,5 litros/pessoa/dia que difere das taxas das empresas consultadas. Assim, para efeitos de padronização dos estudos, também foi utilizada uma taxa de 70 litros/pessoa/dia no dimensionamento dos coletores alternativos. Na construção do coletor é sugerido a utilização da seguinte relação de uma garrafa para cada litro de água a aquecer (1 garrafa/litro de água). Vale ressaltar que, segundo o manual, em sistemas instalados com coletores compostos com mais de 1000 garrafas constatou-se aumento na eficiência do sistema. Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os modelos de caixa d'água em polietileno vendidas em materiais de construção. As caixas d'água em polietileno são produzidas utilizando resina poliéster, fibra de vidro e *gel coat* como matérias-primas. Elas estão disponíveis nas materiais de construção em modelos de 310 a 25.000 litros. Caixas d'água com capacidades maiores do que 1000 l são fabricadas por encomenda. Como informado na Tabela(8), na tentativa de padronização dos comparativos, utilizou-se apenas caixas-d'água de até 1000 litros já que os reservatórios listados na Tabela (5) tem capacidade máxima de 1000 l. No manual não é indicado a inviabilização desse sistema em projetos de maiores demandas de água quente. Apenas existe uma indicação de que: caso sejam utilizados dois ou mais reservatórios, os mesmos estejam interligados entre si por dutos posicionados próximos ao fundo e a 60% da altura.

Tabela 8. Modelos de caixas d'água em polietileno

Modelo	Capacidade (litros)	Preço (R\$)
Caixa-D'água - 250 l	250	97,00
Caixa-D'água - 310 l	310	105,00
Caixa-D'água - 500 l	500	130,00
Caixa-D'água - 1000 l	1000	220,00

Em relação ao isolamento térmico, a recomendação é sempre a utilização de materiais recicláveis. Caso o reservatório seja instalado encoberto pelo telhado e a utilização da água quente seja diária, é necessário um bom isolamento. Nesse caso são sugeridos materiais como isopor, serragem, cascas de trigo, cascas de arroz, grama seca, ou isolamentos mais elaborados e custosos, com a utilização da caixa d'água dentro de um compartimento feito de madeira, tijolos, ou mesmo dentro de outra caixa maior. Caso a instalação do SAS for em creches, escolas ou locais onde o uso da água quente pode não ser diário, não é recomendando o isolamento do reservatório. Assim, durante a noite, a temperatura da água é reduzida evitando que, em dias posteriores, a temperatura da água que circula nas tubulações ultrapasse os limites permitidos pelas propriedades físicas do PVC. Considerando a mesma metodologia para dimensionamento do sistema convencional fez-se a um estudo econômico do modelo alternativo, aplicado para aquecimento da água de chuveiros do colégio tomado como referência. Como no modelo convencional, o chuveiro elétrico foi adotado com sistema auxiliar. Com o estudo, constatou-se que para a escola é mais econômica a utilização de 3 caixas d'água do modelo CAIXA D'ÁGUA - 1000 L de 1000 litros cada, resultando num investimento inicial de R\$ 660,00 para obtenção dos reservatórios.

### 3.7 Modelo Alternativo: Dimensionamento do coletor solar

Segundo Alano (2008), o dimensionamento correto do coletor solar, em relação à caixa d'água ou acumulador, é importante para que a temperatura da água nas tubulações não exceda os limites que afetam a rigidez do PVC (temperatura máxima de 55°C quando aplicado em sistemas com baixa pressão), causando o amolecimento dos materiais e, por consequência, comprometendo a estrutura do coletor solar e de todo o conjunto, ocasionando vazamentos e até destruição



do coletor solar. Segundo Bispo (2008), por efeitos construtivos e de resistência cada coletor alternativo é composto de 200 garrafas e a relação de área necessária é de 1 garrafa para cada litro de água à aquecer. Assim, como cada reservatório possui 1000 l são necessários 15 coletores para atender os 3 caixas d'água do modelo CAIXA D'ÁGUA - 1000 L totalizando um investimento de R\$ 4786,50. na confecção dos coletores solares de baixo custo.

#### 4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para a instalação do sistema convencional no colégio, o investimento inicial de R\$ 17830,00 com a compra dos reservatórios térmicos e coletores contra R\$ 4787,00 do coletor alternativo. Por ano, com a utilização desses sistemas é estimada uma economia de R\$ 1313,76 em comparação ao uso de chuveiro elétrico diariamente. Com estes valores o tempo de retorno do sistema convencional é de 13,57 anos e do sistema alternativo é de 4,12 anos. Os SAS possuem um alto custo inicial devido à aquisição dos equipamentos, mão-de-obra, tubulações, suportes e, em alguns casos, projeto de implantação. Entretanto, durante sua vida útil, este custo inicial é recuperado com a economia de energia elétrica. A maioria dos fabricantes financia os sistemas em até 48 meses. Com este financiamento, o pagamento das parcelas pode ser efetuado com a economia de energia elétrica. Com análise econômica preliminar, o SAS alternativo apresentam vantagem em relação ao convencional. Entretanto, devido a grande demanda de água quente pretendida pelo empreendimento a utilização de outras soluções de aquecimento como bomba de calor elétrica, aquecedores à lenha, aquecedores à gás, aquecedores à Diesel e até mesmo a modificações no próprio projeto do sistema de aquecimento solar como a introdução de coletores específicos e mais baratos e reservatórios térmicos de maiores capacidades e menores custos que provocaria uma redução significativa no investimento inicial.

O aquecedor alternativo apresenta um ótimo custo inicial na sua implantação. Além disso, este sistema desempenha um grande papel ambiental com a possibilidade de utilização de materiais recicláveis e de baixo custo juntamente com a adoção de energias renováveis. Conforme Alano (2004) a construção dos coletores alternativos podem vir a ajudar cooperativas que trabalham com materiais recicláveis e até mesmo a criação de novas cooperativas voltadas à construção desse sistema cumprindo assim um grande papel social e econômico.

Entretanto, o sistema alternativo apresenta algumas desvantagens. Em relação a durabilidade e resistência, até o presente momento, não foram encontrados estudos que indiquem a duração para vida útil deste coletor nem testes dos tubos, conexões e uniões coladas. A falta deste testes englobando todo o sistema compromete a confiabilidade do emprego deste coletor no colégio por mais de 4 anos. No manual de construção do coletor, são descritos testes de resistência mecânica e química além de resistência térmica apenas das garrafas. Outra desvantagem do sistema alternativo é a dificuldade de obtenção das garrafas PET e caixas de leite tipo longa vida. O uso destes materiais compromete a flexibilidade da implantação deste coletor, principalmente para sistemas com grande demanda de água quente. A aquisição de 3000, garrafas em muitos casos, representa uma tarefa difícil e demorada. A limitação da temperatura por parte do PVC compromete o emprego destes coletores em sistemas de grande porte (maiores que 1000 litros) que são mais eficientes (Alano (2008)). Para que se haja um controle sobre essa temperatura é necessária a utilização de um sistema de medição e controle dotado de termostatos, sensores, eletroválvulas e misturadores, o que termina por encarecer o emprego do coletor alternativo, já que no teste de eficiência demonstrado anteriormente, no terceiro ciclo do verão a temperatura da água ultrapassou 55 °C.

Verifica-se, assim, este estudo demonstra que o coletor solar alternativo, em sistemas de grande porte e localizados em regiões de grande insolação, é inicialmente viável economicamente, embora necessite de estudos mais elaborados sobre sua otimização, desempenho e durabilidade. Esse coletor cumpre um papel importante de difusão do sistema de aquecimento solar e em políticas ambientais. Essa alternativa consegue beneficiar pessoas de classes social baixa, gerar empregos em cooperativas, além de diminuir impactos ambientais, atingindo assim, mais do que viabilidade econômica.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à UFBA pelo apoio técnico e acadêmico, Ao CNPq, SEBRAE, CNI SENAI e IEL/FIEB pelo apoio financeiro na realização deste estudo através no programa BITEC.

#### 6. REFERÊNCIAS

- A. G Pereira, A L D de Freitas, C.S.T. and Costa, N.G., 2000. "Desenvolvimento de um coletor solar alternativo utilizando materiais reaproveitáveis". *Revista Mundo & Vida*, Vol. 2, No. 1, pp. 57–60.
- Alano, J.A., 2008. "Manual sobre a construção e instalação do aquecedor solar composto de embalagens descartáveis". Manual eletrônico disponibilizado em <<http://josealcinoalano.vilabol.uol.com.br/manual.htm>>.
- ANEEL, 2008. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. Brasília, 3rd edition. Disponível em: <[www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)>.
- Arruda, L.B., 2004. *Operações de sistemas de aquecimento solar de água com controle de vazões em coletores planos*. Ph.D. thesis, Universidade de São Paulo.
- Bispo, R.S., 2008. *Análise de viabilidade econômica do uso de coletores solares construídos com materiais de baixo custo no aquecimento de água*. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica,

Salvador - BA.

- Boyle, G., 1996. *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future*. Oxford University Press, USA, 1st edition.
- D T do Carmo, V.d.C.V. and Pinto, D.P., 2007. “Energia solar térmica: Disseminação da utilização através de coletores de baixo custo e material reciclável.” In *2º Congresso Brasileiro de Eficiência Energética*. Vitória - ES.
- de Souza, R.P.M.T.M., 2006. “Sistema de geração de energia elétrica com módulos solares fotovoltaicos para o carregamento de baterias de uma cadeira de rodas elétrica”. In *Encontro de Energia no Meio Rural*. Engenharia Elétrica - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá -SP.
- de Souza, T.M.T.M., 2004. “Sistema solar de aquecimento de água para residências populares”. In *Encontro de Energia no Meio Rural*. Centro de Energias Renováveis - Unesp - Guaratinguetá - SP.
- Dias, L.S., 2005. *Estudo prospectivo e econômico da substituição do chuveiro elétrico pelo aquecedor solar na cidade de Uberlândia-MG*. Mestrado em engenharia elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.
- ENALTER, 2008. “Aquecedores solares: Informativo técnico”. <<http://www.enalter.com.br>>.
- Hudson, L.G. and Markell, J., 1985. *Solar Technology*. Reston Publishing Company.
- Lima, J.B.A., 2003. *Otimização de sistema de aquecimento solar de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa TRNSYS*. Mestrado em engenharia, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica.

## 7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

## **FEASIBLE ECONOMIC ANALYSIS FOR THE USE OF SOLAR COLLECTORS MADE OF LOW COST MATERIALS TO WATER HEATING**

**Rafael Santana Bispo, rafaelsbispo@gmail.com<sup>1</sup>**  
**Thamy Cristina Hayashi, thamy@ufba.br<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Mecânica Computacional. Rua Mendeleiev, s/n - Cidade Universitária Zeferino Vaz - Barão Geraldo - Caixa Postal 6122 - CEP: 13.083-970 - Campinas - SP - Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Química. R. Aristides Novis, 2, Federação. CEP - 40210-630 - Salvador, BA - Brasil.

**Abstract.** *Nowadays, the search for the adoption of renewable energy as a way of reducing environmental impacts and the greenhouse effect has been highlighted as projects and goals to be achieved. Among these sources, photovoltaic and Solar Thermal Energy (STE) is gaining ground in this scenario. Considered as a good alternative to replace or supply electric showers, the use of solar water heating has been increased in hotels, buildings and residences. However, high cost of acquisition still interferes with the further expansion of this system. In Brazil, there are several alternatives for the design of solar collectors made of recyclable, low cost or junkyard materials, which seek to spread the use of solar energy in an attempt to reduce production costs of the manifolds. The scope of this paper was to study the economic feasibility of using low-cost solar collectors in situations where the demand for heated water is higher than in residences. The prototype proposed is built with soda bottles, milk cartons, plastic bags, hydraulic pipes and fittings in PVC. The feasibility was achieved evaluating the costs of acquiring the conventional solar heating system with the alternative water heating system and the economy acquired for adopting the alternative system. Possible needs for an auxiliary system on cloudy or low solar intensity days were also considered. To obtain data of heating water demand was simulated the use in a college. Finally, the returning time of the investment was determined considering the savings on electricity in alternative and traditional systems.*

**Keywords:** *Renewable Energy, Heating solar, recyclable materials*

### **1. COPYRIGHT**

The authors are solely responsible for the content of the printed material included in his work.