

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE AQUECEDOR SOLAR COM CONCENTRADOR

Denny Anderson Ho
dny_ho@yahoo.com.br

Eric Ayao Ito
ayao_ito@yahoo.com

Resumo. O Sol é fonte de energia renovável e o aproveitamento desta energia tanto como fonte de calor quanto de luz é uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios do novo milênio. A energia solar é abundante, permanente e renovável a cada dia, não polui e nem prejudica o ecossistema. Com base nesse contexto, o presente trabalho consiste no projeto e construção de um protótipo de concentrador solar integrado a um sistema de rastreamento solar. O texto constituiu-se basicamente em duas etapas. A primeira relaciona-se à definição do modelo teórico, através da análise dos tipos de concentradores solares, fundamentação teórica e simulação. O concentrador solar escolhido para o projeto foi a calha parabólica, pois, comparado aos outros tipos de concentradores, apresentou-se como a configuração mais econômica e fácil de se construir. Com relação ao sistema de rastreamento solar, utilizou-se um “timer” com disco central girante acoplado ao tubo de cobre do concentrador. Na segunda etapa do projeto, as forças concentraram-se na construção do protótipo. Usaram-se materiais de baixo custo e de diferentes peças comumente utilizadas. Alguns exemplos são: papel alumínio colado em papel cartão, para a superfície refletora; caixa de isopor para o reservatório; transparência para o tubo externo. A maior dificuldade deu-se na montagem da superfície refletora, já que papel alumínio é um material muito sensível e a presença de bolhas e dobras na superfície é inevitável. O custo total de material utilizado na montagem do protótipo foi de R\$ 170,00. Foram efetuados dois experimentos para o concentrador, sendo o primeiro em um dia com nuvens, e o segundo com presença apenas do Sol. O rendimento do primeiro experimento foi de aproximadamente de 14% e o segundo foi de aproximadamente de 19%.

Palavras chave: *Aquecedor solar com concentrador, Energia Solar, Transferência de calor, Termodinâmica, Fontes alternativas de energia.*

1. Introdução

O recurso às energias renováveis constitui-se em uma solução para muitos problemas sociais associados ao consumo de combustíveis fósseis. O seu uso permite uma melhoria do nível de vida, diminuindo a sua dependência econômica e reduzindo os impactos negativos resultantes da queima dos combustíveis na sua utilização e transformação de energia.

Nesse contexto, o trabalho em questão visa o projeto e construção de um concentrador solar. O objetivo principal é a montagem e testes de um protótipo real de coletor. Com isso, será possível determinar o rendimento do concentrador utilizando materiais incomuns.

2. Definição do concentrador solar de reflexão

Os tipos mais utilizados de concentradores solares são: heliostatos em torno de uma torre de energia, coletor de calha parabólica e coletor parabólico de foco pontual. Para o projeto em questão adotou-se a configuração da calha parabólica. Apesar de apresentar o menor rendimento, a escolha deve-se a exclusão dos outros dois tipos devido à facilidade em sua construção e instalação. A torre exigiria a construção de uma grande estrutura receptora de radiação e um sistema de rastreamento do Sol para cada superfície refletora (“heliostats”), o que inviabiliza sua fabricação. Já o concentrador de foco pontual, exigiria a construção de um refletor parabólico em forma de prato, que normalmente opera com um motor Stirling e de um sistema de controle para o rastreamento solar em dois eixos, o que tornaria muito caro.

3. Sistema de rastreamento solar

O sistema de “tracking” implementado no coletor partiu da idéia de acoplar o eixo da calha ao eixo de um relógio. Dessa forma, utilizou-se um “timer”, com disco central, que possui movimento giratório no sentido horário. O acoplamento será feito diretamente com o eixo do concentrador, isso porque, uma volta completa do disco girante corresponde a um dia. Para acoplar o tubo de cobre ao timer será colado um tubo vazado de plástico diretamente no disco. Assim, o tubo de cobre será fixado através de um pino passante. Vale ressaltar que não houve preocupação alguma em um sistema de controle.

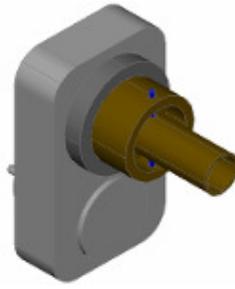


Figura 1. Ilustração do timer com o tubo de plástico.

4. Modelo teórico: definição e simulação

A partir da equação,

$$T_{m,s}(L) = T_{m,e} + \frac{\int_0^{\infty} \alpha(\lambda) \left(\int_0^{\infty} \tau_{1,\lambda}(\lambda) \left(\int_0^{\infty} \rho_{2,\lambda}(\lambda) G_{solar,\lambda}(\lambda) d\lambda \right) d\lambda \right) d\lambda PL}{mC_p} \quad (1)$$

foram feitas simulações para determinar a temperatura de saída da água. Porém, algumas considerações serão levadas em conta como:

- Toda a radiação incidente sobre a superfície parabólica será refletida sobre o tubo receptor, ou seja, $\rho = 1$.
- Toda radiação que será refletida pela calha parabólica será transmitida para o tubo, ou seja, $\tau = 1$.
- A absorvidade para tinta preta é de 0,85.

Outros parâmetros utilizados para simulação foram: $T_e = 20^\circ\text{C}$; $C_p = 4180\text{ J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$; $D = 22\text{m}$; $P = 0,069115\text{ m}$; $L = 1\text{m}$.

Tabela 1. Temperatura final da água após uma passagem pelo tubo

		Vazão [kg/s]						
		0,0005	0,0010	0,0015	0,0020	0,0025	0,0030	0,0035
C _{solar} [W/m ²]	400	34,31	27,16	24,77	23,58	22,86	22,39	22,04
	450	36,10	28,05	25,37	24,02	23,22	22,68	22,30
	500	37,89	28,94	25,96	24,47	23,58	22,98	22,56
	550	39,68	29,84	26,56	24,92	23,94	23,28	22,81
	600	41,47	30,73	27,16	25,37	24,29	23,58	23,07
	650	43,25	31,63	27,75	25,81	24,65	23,88	23,32
	700	45,04	32,52	28,35	26,26	25,01	24,17	23,58
	750	46,83	33,42	28,94	26,71	25,37	24,47	23,83
	800	48,62	34,31	29,54	27,16	25,72	24,77	24,09
	850	50,41	35,20	30,14	27,60	26,08	25,07	24,34
	900	52,20	36,10	30,73	28,05	26,44	25,37	24,60
	950	53,99	36,99	31,33	28,50	26,80	25,66	24,86
900	52,20	36,10	30,73	28,05	26,44	25,37	24,60	
950	53,99	36,99	31,33	28,50	26,80	25,66	24,86	
1000	55,78	37,89	31,93	28,94	27,16	25,96	25,11	

Temperatura final da água [°C]

A tabela acima apresentada mostra a temperatura final da água, que entra a 20°C , em diferentes condições de vazão e irradiação solar. As considerações feitas para a simulação fazem com que o rendimento seja bem alto, ou seja, as temperaturas finais atingem altos valores.

Tabela 2. Temperatura final da água no reservatório.

		Intervalo de tempo [min]				
		60	90	120	150	180
Quantidade de água no reservatório [kg]	10	106,1	149,2	192,2	235,3	278,4
	15	77,4	106,1	134,8	163,5	192,2
	20	63,1	84,6	106,1	127,7	149,2
	25	54,4	71,7	88,9	106,1	123,3
	30	48,7	63,1	77,4	91,8	106,1

Temperatura final do reservatório [°C]

A tabela acima representa a temperatura final da água que está no reservatório em função de diferentes quantidades de água e intervalo de tempo do experimento, sendo considerado um rendimento de 100%. Em cima dos valores dos parâmetros (Quantidade de água no reservatório) e (Intervalo de tempo) pode-se obter o rendimento do concentrador pela eq. (3) em que Q no caso será a energia obtida experimentalmente.

5. Rendimento

O rendimento do coletor pode ser expresso como

$$\eta = \frac{q_{conv}}{G_{solar} \cdot A} \quad (2)$$

em que q_{conv} é a taxa total da troca de calor no tubo pela água, G_{solar} é a irradiação do sol e A é a projeção da área de incidência do Sol sobre o refletor.

Uma outra maneira de calcular o rendimento é utilizando a seguinte expressão

$$\eta = \frac{Q}{G_{solar} \cdot A \cdot \Delta t} \quad (3)$$

Δt é o tempo em que a água que circula pelo tubo está sujeito ao aquecimento devido à irradiação solar, Q é a energia utilizada para o aquecimento da água e pode ser representada pela seguinte equação

$$Q = m \cdot c_p \cdot (T_f - T_i) \quad (4)$$

onde m é a massa total de água contida no reservatório, c_p é o calor específico da água e T_f e T_i são, respectivamente, a temperatura final e inicial da água dentro do reservatório.

6. Dimensionamento

Para o dimensionamento da calha parabólica foram efetuados apenas os cálculos para o perfil parabólico. Com relação à medida do diâmetro do tubo interno, usou-se um tubo comercial, de medida padrão de 22mm. Para os outros componentes utilizaram-se medidas aleatórias. O material escolhido para a estrutura da calha foi madeira MDF de 15mm de espessura. Foram feitas três estruturas com perfis parabólicos para apoiar e conformar a superfície refletora. Para tornar a calha suficientemente firme, serão fixadas nos perfis parabólicos, três estruturas de madeira.

A sustentação da calha será feita pelo tubo de cobre. Nos dois perfis parabólicos das extremidades será fixada uma estrutura de madeira. Esta apresenta um buraco no foco onde o tubo de cobre será fixado por ajuste forçado. O tubo será apoiado sobre dois suportes laterais que funcionam como mancais.

Segue abaixo as dimensões em milímetros da estrutura da calha e do suporte.

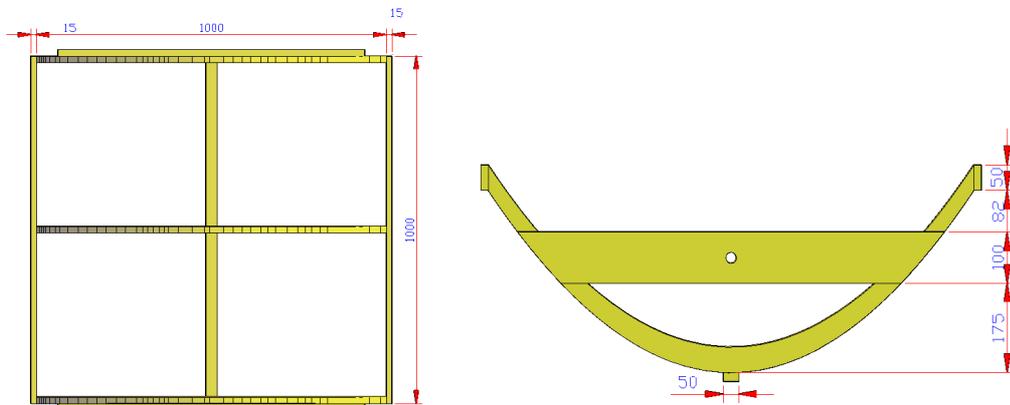


Figura 2. Dimensões da calha parabólica.

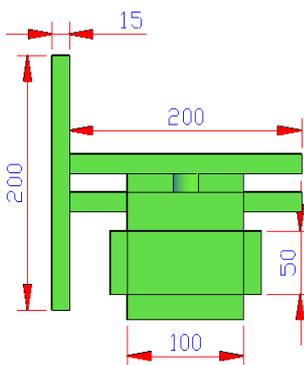


Figura 3. Dimensões do suporte com timer.

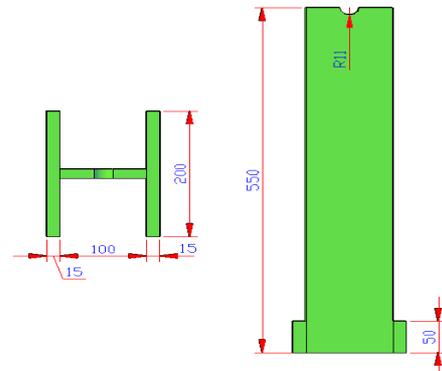
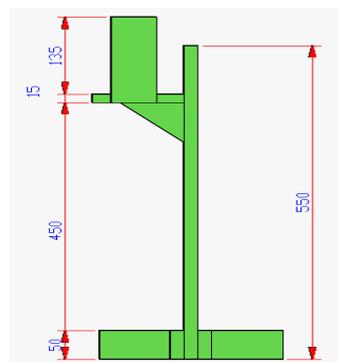


Figura 4. Dimensões do suporte.

7. Materiais

Os materiais usados na construção do protótipo foram escolhidos de forma a obter um baixo custo. Na verdade, como se refere a um protótipo, serve a idéia de se utilizar peças não comuns, mesmo que não sejam tão adequados para se trabalhar. Alguns componentes do concentrador como bomba, “timer”, mangueira e reservatório não serão comprados, pois serão utilizados equipamentos próprios. Para os testes, será necessária a utilização de três termômetros, um colocado na entrada, o outro na saída do tubo e o último, no reservatório. Dois dos termômetros são equipamentos próprios usados em aquários. O outro, um termopar, será um instrumento emprestado pela Escola Politécnica. Segue abaixo uma tabela referente aos custos de materiais comprados para a construção do protótipo, totalizando R\$170,00. Materiais extras não foram incluídos na tabela.

Vale ressaltar que o custo refere-se apenas aos materiais comprados para a construção. Os cálculos de homem-hora da fabricação e dos experimentos bem como os custos adicionais de energia elétrica e água não foram calculados para obter-se o custo total da montagem do protótipo. Entretanto, para a realização da fabricação e da experiência foram gastos cerca de 25 horas de trabalho. Dessa forma, é possível fazer uma estimativa do custo da mão-de-obra. Supondo que um engenheiro recém formado ganhe um salário mensal de R\$3.000,00, o que resulta em aproximadamente R\$20,00/h e como o trabalho foi realizado por duas pessoas, temos que o custo de mão-de-obra equivale a R\$1.000,00 hh.

Tabela 3. Custo dos componentes.

Itens comprados	Custo
Tubo de cobre 22mm 2,5m	R\$ 38,40
Tinta preto fosco	R\$ 12,90
Madeira prensada (MDF) 15 mm 1,00x1,37m	R\$ 54,15
Parafuso madeira 3,2x25 20 unid.	R\$ 3,60
Transparência xerogr. 4 unid.	R\$ 4,00
Mangueira de nível	R\$ 11,95
Isolante térmico 3/4"	R\$ 2,80
Abraçadeira s/ fim 5/8x3/4 3 unid.	R\$ 3,63
Bucha de redução cobre 22x15mm	R\$ 3,05
Conector Tê de redução cobre 22mm	R\$ 12,20
Luva passante 22mm	R\$ 2,85
Cola Branca 500g	R\$ 5,50
Durepoxi	R\$ 2,45
Papel cartão 50x70mm 4 unid.	R\$ 1,88
Rolo de papel alumínio 45cmx7,50m	R\$ 5,99
Rolo de papel alumínio 30cmx7,50m	R\$ 4,24
TOTAL	R\$ 169,59

Itens próprios
Pote plástico para sorvete
Fita adesiva transparente
Timer
Bomba
Mangueiras
Caixa de isopor

8. Construção do protótipo

Utilizou-se para a construção da calha parabólica as seguintes ferramentas: furadeira com brocas de diferentes diâmetros, tico-tico com diferentes tamanhos e finalidades de serra, duas régua acrílicas de 30 cm, régua plástica de 60 cm, estilete, chave de fenda, lápis, pincel, lixa para madeira e tesoura.

8.1. Suportes e estrutura do perfil parabólico

Os dois suportes foram construídos em MDF com relativa facilidade. Foi utilizado o tico-tico para cortes retos, régua para medições e parafusos como mecanismos de fixação. Um dos suportes tem sua estrutura bem simplificada, servindo apenas para sustentar um dos lados do tubo de cobre. Já o outro, apresenta uma base reforçada, pois, é neste suporte que será fixado o timer que gerará o torque necessário para a calha girar.

Para a construção do perfil parabólico, utilizou-se madeira prensada (MDF) de 15 mm de espessura. Uma opção de gabarito para corte seria a plotagem de um desenho em escala 1:1 da parábola calculada. Entretanto, optou-se em fazer pontos medidos pela régua. Essa alternativa foi adotada porque ao se imprimir um desenho, mesmo que na escala 1:1, ele pode sair distorcido e prejudicar os testes do concentrador.

Realizou-se o corte com serra tico-tico para um perfil. Com isso, foi possível fazer os cortes dos outros dois perfis aproveitando os cortes realizados anteriormente. Houve uma grande dificuldade em fazer o corte bem rente à linha parabólica. Assim, foi feito um corte excedendo um pouco o material e depois, com uma lixa, desgastou-se a superfície até atingir o perfil desejado.



Figura 5. Suportes.



Figura 6. Estrutura da calha com o tubo ajustado.

8.3. Superfície refletora

Para montar a superfície refletora foi utilizado papel alumínio colado em papel cartão. Primeiramente, realizamos testes de colagem para pequenos pedaços de alumínio para visualizar a qualidade da superfície e aperfeiçoar a colagem. Dependendo do jeito que se cola, há uma grande diferença na qualidade da superfície. O jeito que mostrou-se mais adequado foi, primeiro, espalhar cola sobre a folha de alumínio com uma esponja e em seguida, colocar o papel cartão por cima resultando em uma superfície mais lisa e com poucas bolhas. Como o papel cartão possui um formato menor que a área do perfil parabólico, necessitou-se fazer a montagem de quatro superfícies refletoras para garantir a área do perfil.

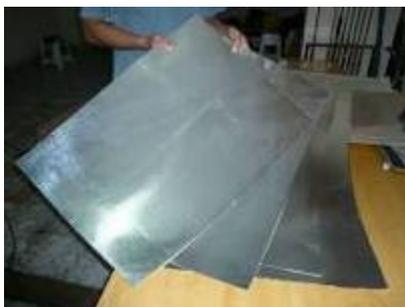


Figura 7. Superfície refletora

8.4. Tubos interno e externo

O tubo interno receptor é feito de cobre e possui um diâmetro de 22 mm. É um material apropriado em transportar fluidos de temperatura mais elevados. Para melhorar a absorvidade da radiação solar na superfície do material optou-se por pintar o tubo com uma tinta de esmalte sintética fosca e preta.

O tubo receptor externo é feito de papel transparência justaposta. Para a fixação do papel em torno do tubo interno, utilizaram-se anéis de material plástico cortados de potes de sorvetes convencionais. As transparências foram colocadas com o mínimo de sobreposição entre elas, para que não atrapalhasse a função de tubo receptor com uma região mais espessa.



Figura 8. Detalhes dos tubos interno e externo.

8.5. Acessórios

Os conectores do tubo interno de cobre são do mesmo material. Para o projeto foram utilizados: uma conexão em TE de redução de 22 mm para 15 mm, uma redução concêntrica de 22 mm para 15 mm e uma luva passante de 22 mm para acoplar o tubo à redução. A vedação foi realizada com durepoxi.

De um lado do TE será conectado o tubo receptor interno. Do lado oposto, será utilizado um pequeno pedaço do próprio tubo de cobre apenas para sustentar e apoiar a estrutura sobre o suporte e fazer o acoplamento da estrutura com o timer. Na saída perpendicular reduzida, será conectado uma das mangueiras com ajuste forçado e abraçadeira. Na parte interna da conexão, entre o TE e o pequeno pedaço de tubo de cobre, foi utilizado durepoxi. Isso porque, não passará água por essa saída. Ela possui função apenas de sustentar e acoplar o timer à estrutura

A redução será utilizada do outro lado do tubo interno receptor para conectar a outra parte da mangueira, em que o ajuste será forçado e reforçado com durepoxi. A luva passante tem a função de acoplar o tubo à redução. As mangueiras serão isoladas com espumas apropriadas para isolamento de tubos quentes. A idéia é isolar ao máximo todo o sistema para que não haja interferência na coleta dos resultados finais. O aquecimento deve ocorrer apenas na parte em que o tubo recebe irradiação pela superfície refletora.



Figura 9. Conector TE de redução.



Figura 10. Bucha de redução e luva passante.

A bomba utilizada para o projeto deve apresentar uma vazão bem baixa. Assim será utilizada na experiência uma bomba própria para uso em aquários de peixes ornamentais com vazão regulável entre 90 L/h a 180 L/h. A vazão será regulada para a mínima e depois será medida com um cronômetro e vasilhame com escala de nível. Assim considerando certa densidade da água será possível obter a vazão mássica da água. As perdas de carga na tubulação, conexões e mangueiras serão relativamente altas e a vazão real da água deve reduzir significativamente. Para o reservatório será utilizada uma caixa de isopor, conforme ilustra a Fig.12. Esse material é bem apropriado para a experiência, pois o isopor age como um bom isolante, e reduzirá as perdas de calor da água aquecida para o meio ambiente.



Figura 11. Bomba de aquário.



Figura 12. Reservatório de isopor.

Serão utilizados dois termômetros para monitorar a entrada e a saída da água. Esses instrumentos são também de uso para aquários ornamentais, por isso as faixas de medição não são tão amplas sendo que o de mercúrio mede no máximo a temperatura de 50°C. O outro termômetro é digital. Um terceiro termopar, emprestado pela Escola Politécnica da USP, será colocado dentro do reservatório e esse será o de maior importância para os dados finais e cálculo do rendimento. Por isso deverá apresentar uma faixa maior de medição e precisão de temperatura.



Figura 13. Termômetro convencional.



Figura 14. Termômetro digital.



Figura 15. Termopar digital.

9. Aplicações

Os grandes sistemas de energia solar para aquecimento de água podem ser usados numa grande variedade de edifícios, que têm uma necessidade de água quente ou uma necessidade de aquecimento durante todo o ano. Segue abaixo alguns exemplos de aplicação do concentrador de calha parabólica em processos industriais, de fabricação e de beneficiamento, onde o vapor gerado é empregado.

- Indústria de bebidas e conexos: nas lavadoras de garrafas, tanques de xarope, pasteurizadoras.
- Indústrias madeireiras: no cozimento de toras, secagem de tábuas ou lâminas em estufas, em prensas para compensados.
- Indústria de papel e celulose: no cozimento de madeira nos digestores, na secagem com cilindros rotativos, na secagem de cola, na fabricação de papelão corrugado.
- Curtumes: no aquecimento de tanques de água, secagem de couros, estufas, prensas e prensas a vácuo.
- Indústrias de laticínios: na pasteurização, na esterilização de recipientes, na fabricação de creme de leite, no aquecimento de tanques de água, na produção de queijos, iogurtes e requeijões (fermentação).
- Frigoríficos: nas estufas para cozimento, nos digestores, nas prensas para extração de óleo.
- Indústria de doces em geral: no aquecimento do tanque de glicose, no cozimento de massa em panelas sob pressão, em mesas para o preparo de massa, em estufas.
- Indústria de vulcanização e recauchutagem: na vulcanização, nas prensas.
- Indústrias químicas: nas autoclaves, nos tanques de armazenamento, nos reatores, nos vasos de pressão, nos trocadores de calor.
- Indústria têxtil: utiliza vapor no aquecimento de grandes quantidades de água para alvejar e tingir tecidos, bem como para realizar a secagem em estufas.
- Indústria de petróleo e seus derivados: nos refervedores, nos trocadores de calor, nas torres de fracionamento e destilação, nos fornos, nos vasos de pressão, nos reatores e turbinas.
- Indústria metalúrgica: nos banhos químicos, na secagem e pintura.

10. Experiência do protótipo

10.1. Primeira experiência

A experiência real do protótipo foi realizada em um dia ensolarado, mas com presença de algumas nuvens que se intensificaram ao longo do experimento impedindo o prosseguimento do mesmo por mais tempo.



Figura 16. Protótipo de concentrador parabólico de foco linear em experimento.

O teste foi realizado no período de 1 hora e meia, começando às 13h30min e terminado às 15h00min. As tomadas de medidas das temperaturas foram feitas no intervalo de 5 minutos. A primeira medida representa a temperatura de entrada da água no tubo receptor. A segunda corresponde a da saída e a terceira, a da entrada. Abaixo segue os resultados obtidos em °C.

A seguir é mostrado o gráfico obtido com os resultados das temperaturas ao longo do tempo. Observa-se que existem quedas de temperatura em alguns pontos. Isso se deve a passagem de nuvem no momento, interferindo no resultado. Outro ponto que vale ressaltar é a primeira medida da temperatura de saída da água que possui um alto valor. Ao preparar os equipamentos de medição para o experimento, deixou-se a calha parabólica no Sol, esquentando a água no tubo interno. Ao se fazer a primeira medida da temperatura de saída, mediu-se a temperatura dessa água aquecida.

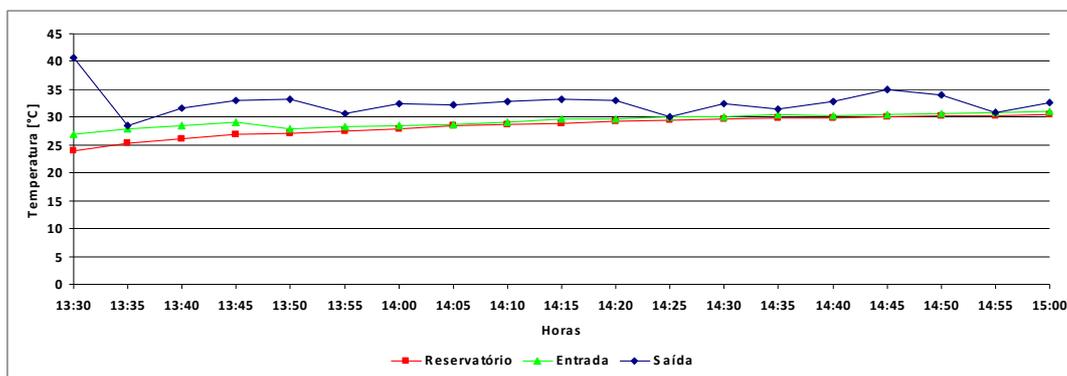


Figura 17. Gráfico das temperaturas da água no reservatório, na entrada e na saída do tubo ao longo do tempo.

Para o cálculo do rendimento, foram utilizadas as eqs. (2) e (3). A vazão da água, de aproximadamente 0,0022 L/s, foi obtida através de um vasilhame com medida de volume e um relógio. Adotando a densidade da água como sendo 1 kg/L, podemos assumir o mesmo valor em sua vazão mássica.

O rendimento obtido utilizando a eq.(2) foi de 4,5%. Para cada tomada de valor foi feito o cálculo do rendimento e por fim foi feito uma média obtendo-se tal valor. Um resultado bem impreciso, já que a equação utiliza a variação da temperatura da água de entrada e saída do tubo. Como o dia teve a presença de muitas nuvens, quando uma tomada de temperatura era feita, nesse mesmo instante a presença de uma nuvem interferia instantaneamente na temperatura de saída da água.

O rendimento calculado pela eq.(3) foi de 14,15%. Percebe-se uma grande diferença nos valores entre os dois resultados. Porém, este último método, que relaciona o quanto de energia que a água do reservatório absorveu com o quanto que o Sol dispunha na área projetada, oferece um resultado mais confiável e preciso. Isso porque, a presença de nuvens não interferiu instantaneamente na temperatura do reservatório. Novamente o rendimento foi calculado para cada tomada de medida e assim foi feito uma média dos resultados. Na realidade, para este último método de cálculo de rendimento, seria suficiente a tomada de medição apenas da temperatura inicial e final do reservatório em um determinado intervalo de tempo. Vale ressaltar que o rendimento calculado refere-se apenas ao concentrador, desprezando as parcelas de energia gerada pela bomba e timer que são pequenas.

10.2. Segunda experiência

O segundo experimento foi efetuado no dia 28/11/07. O dia apresentou-se apenas com a presença do Sol, diferentemente da primeira experiência, no qual o concentrador foi testado na presença de nuvens. O experimento em questão foi realizado no período de 3 horas com tomadas de medição no intervalo de 10 min. Foram utilizados dois termômetros, um digital e o outro de mercúrio, para medir a mesma temperatura da água no reservatório e com intuito apenas de comparação das medidas. No começo do experimento, os dois termômetros apresentavam pouca diferença nos valores coletados. Porém, conforme a temperatura da água ia aumentando ao longo do experimento, começou a ter uma defasagem das temperaturas chegando a mais de um 1°C de diferença. O problema pode estar no posicionamento dos termômetros dentro do reservatório.

Segue abaixo o gráfico obtido com valores da irradiação solar fornecido pelo Laboratório de Automação Agrícola do Departamento de Computação e Sistemas Digitais da Escola politécnica da USP.

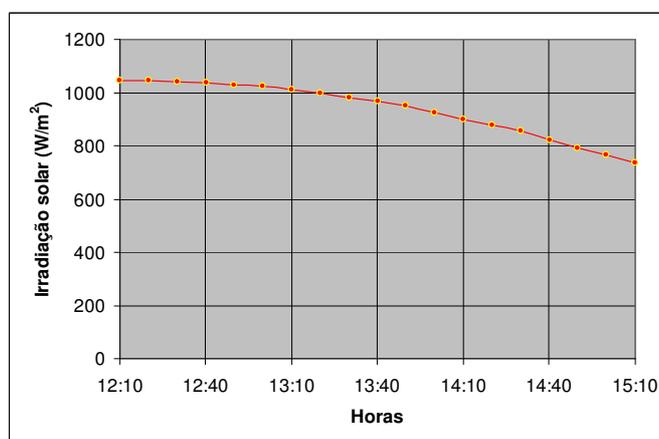


Figura 18. Gráfico da irradiação Solar do dia 28/11/07 durante o experimento.

Como o tempo estava limpo em toda a cidade esses valores representam bem a incidência da radiação solar no local do experimento. O rendimento calculado pela eq.(3) foi de aproximadamente 19%. Para isso, foram feitas tomadas de medição para cada tipo de termômetro e assim foi feito uma média dos resultados, conforme mostra a tabela 4. Os valores dos parâmetros utilizados para fins de cálculo foram os mesmos que utilizados na primeira experiência sendo desnecessária a utilização da vazão mássica.

Tabela 4. Valores da temperatura da água no reservatório.

Hora	Rendimento (%)		Irradiação solar (W/m^2)	Média da radiação
	Termômetro Digital	Termômetro de mercúrio		
12:10	0,00	0,00	1044	0,00
12:20	21,34	21,34	1045	1044,50
12:30	21,37	20,71	1040	1043,00
12:40	19,62	20,06	1038	1041,75
12:50	18,77	19,44	1030	1039,40
13:00	18,54	19,35	1024	1036,83
13:10	18,21	19,56	1009	1032,86
13:20	18,19	18,96	999	1028,63
13:30	18,04	19,57	980	1023,22
13:40	18,11	19,48	966	1017,50
13:50	17,91	18,87	950	1011,36
14:00	18,04	18,80	925	1004,17
14:10	17,95	19,00	897	995,92
14:20	17,80	19,10	877	987,43
14:30	17,69	19,01	858	978,80
14:40	20,35	21,67	822	840,00
14:50	17,44	18,71	793	958,65
15:00	16,95	18,16	767	948,00
15:10	16,77	17,93	735	936,79
Média	18,51	19,43	936,79	
	18,97			

11. Conclusão

Para a simulação teórica do coletor parabólico de foco linear foi considerado um modelo quase ideal, a única perda que acontece deve-se à reflexão da radiação incidente sobre a superfície externa do tubo receptor. Mesmo assim, para uma tinta preta a qual será utilizada no projeto, a absorvidade é alta, aproximadamente 0,85, ou seja, grande parte da radiação incidente sobre a área projetada será absorvida pela água. A outra simulação realizada foi da temperatura final da água aquecida no reservatório em função de diferentes tempos de execução do experimento e das quantidades do fluido utilizado.

A segunda etapa do projeto consistiu basicamente na construção do protótipo. De acordo com o dimensionamento preliminar feito no primeiro semestre, não foi necessária nenhuma modificação. Assim, foi possível prosseguir o projeto com a construção do protótipo. A estrutura da calha parabólica e os suportes foram feitas de madeira MDF e a superfície refletora, de folha de papel alumínio colado em papel cartão. O tubo interno é de cobre e o externo é feito com papel transparência suportado por anéis de plástico no tubo interno. O custo referente apenas ao material comprado para montagem do protótipo foi de R\$170,00.

Nesta etapa pode-se perceber a grande importância na construção de qualquer tipo de equipamento, isso porque, dificuldades foram encontradas na hora do corte do perfil parabólico e na colagem da folha de alumínio no papel cartão. Durante a execução do corte com o tico tico, a maior dificuldade foi não ter precisão suficiente para efetuar o corte exatamente sobre a linha desenhada. Em relação à folha de alumínio, o grande problema foi a sensibilidade que a mesma apresentava, já que qualquer movimento descuidado durante a colagem no papel cartão acarretava na deformação da superfície da folha.

Após o término da construção, o próximo passo foi a experiência real do concentrador. Foram feitas dois experimentos, o primeiro com presença de nuvens e o segundo com apenas a presença do Sol. O rendimento do primeiro experimento foi de aproximadamente 14%. O rendimento do segundo foi de aproximadamente 19%. O resultado do baixo rendimento das duas simulações se deve a inúmeros fatores. Uma delas corresponde à superfície refletora que durante a presença de Sol, enrugou-se pelo aquecimento durante o primeiro experimento, dispersando parte da radiação refletida. Isso provavelmente comprometeu os resultados do segundo experimento. Além disso, a mesma superfície não refletia alguns raios devido à imperfeição da estrutura parabólica. Outro fator se refere à utilização da folha de transparência, cuja função é amenizar as perdas por convecção do tubo de cobre. A transparência utilizada apresentava refletividade significativamente alta e assim não transmitia tão bem a radiação que incidia sobre ela. Em relação ao procedimento do experimento, fatores como a precisão dos termômetros e a realização das tomadas de temperaturas tiveram grande influência nos resultados finais. O termômetro de mercúrio,

que a princípio tem a melhor precisão, não apresentava uma escala precisa, dificultando a leitura do mesmo. Além disso, o termômetro digital que se apresentava na saída não estava calibrado.

O sistema de rastreamento solar teve uma funcionalidade quase perfeita no primeiro experimento. Houve pequenos atrasos na rotação da estrutura que eram corrigidos durante o experimento, através de um canudo colado perpendicularmente ao tubo. Com a sombra do canudo, era possível deixar o concentrador paralelo aos raios solares. Com relação ao dispositivo, provavelmente a estrutura, o mancal e o desbalanceamento da calha fizeram exceder um pouco o limite de torque do timer que se danificou no final do primeiro experimento. Com isso o segundo experimento foi realizado com rastreamento manual. Se a estrutura inteira tivesse sido balanceada com contra pesos o problema do torque excessivo poderia ter sido evitado.

Atualmente, nos projetos, preza-se a melhoria do rendimento e a redução de custos. No projeto apresentado, a prioridade foi reduzir ao máximo os custos, sendo o valor do rendimento, apenas uma consequência do trabalho. Além disso, o intuito de se calcular o rendimento do protótipo foi de se obter uma ordem de grandeza relacionada ao concentrador parabólico. Porém, um resultado baixo no rendimento não era esperado. Isso ocorreu devido a vários fatores e justamente a prioridade de baixar o custo dos materiais foi um deles. A utilização da folha de alumínio e do papel de transparência foi uma idéia interessante, porém inusitada.

12. Referências

- Kreider, J. F., Kreith, F., 1981, "Solar energy handbook", New York, McGraw Hill.
Rapp, D., 1981, "Solar energy", New Jersey, Prentice Hall.
Veziroglu, T. N., 1978, "Solar cooling and heating", Flórida, Hpc.
Reddy, T. A., 1987, "The design and sizing of active solar thermal systems", Oxford.
Solarpaces/lea – www.solarpaces.org, acesso em 13/05/07.
Agência Nacional de Energia Elétrica – www.aneel.gov.br, acesso em 13/05/07.
Momoi, A. Projeto e testes de coletor solar de alta eficiência – Trabalho de formatura. São Paulo, Politécnic da USP, 2005.
Incropera, F. P., De Witt, D. P. Fundamentos de transferência de calor e de massa.
AmbienteBrasil – www.ambientebrasil.com.br, acesso 08/04/07.
Procobre – www.procobre.org, acesso em 23/09/07.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF SOLAR HEATER WITH CONCENTRATOR

Denny Anderson Ho
dny_ho@yahoo.com.br

Eric Ayao Ito
ayao_ito@yahoo.com

Abstract. The Sun is renewable energy source and the exploitation of this energy so much as heat source how much of light is one of the more promising energy alternatives to face the challenges of the new millennium. The solar energy is abundant, permanent and renewable to each day, didn't pollute and neither it injures the ecosystem. On the basis of this context, the present work consists of the design and construction of a prototype of solar heater with concentrator integrated to a system of solar tracking. The text constituted itself basically in two phases. The first relates to the definition of the theoretical model, through the analysis of the types of solar concentrators, theoretical ground and simulation. The solar concentrator chosen for the project was the parabolic trough, therefore, compared to other types of concentrators, presented itself as the easy and most economic setup to build. For the system of solar tracking, utilized itself a "timer" with rotor button coupled to the pipe of copper of the concentrator. To second phase of the design, the forces concentrated in the construction of the prototype. They used itself cost bass stuff, unlike the parts commonly utilized. Some examples are: paper aluminum bonds in paper card, for the surface reflector; box of polystyrene for the reservoir; transparency for the external pipe. To bigger difficulty gave in the assembly of the surface reflector, since paper aluminum is a very sensible stuff and the presence of blisters and you fold in the surface is inevitable. The total cost of material used in the assembly of the prototype was of R\$ 170.00. Two experiments were made to the concentrator, being the first one in a day with clouds, and the second with presence only of the Sun. The yield of the first experiment was approximately 14% and the second was approximately 19%

Keywords: Solar heater with concentrator, Solar energy, Transfer heat, Thermodynamics, Alternative source of energy.