

PROJETO DE CONCENTRADOR SOLAR PARA DESSALINIZAÇÃO

A. M. Curinga¹ ; L. B. de M. Lima² e L. F de Souza³

E-mail:arturmcuringa@gmail.com¹; lucbmlima@gmail.com²; lufonsou@gmail.com³

RESUMO

O corpo humano é constituído de 65% de água e necessita de reposição constante e diária para mantê-lo operacional. Assim, a ingestão de água é uma premissa de sobrevivência. Nas operações *offshore*, onde a oferta de água é reduzida, como manter-se hidratado? Uma possível solução é a retirada do sal da água do mar, aproveitando a irradiação solar nas plataformas. O presente trabalho apresenta um concentrador solar parabólico cilíndrico para o processo de dessalinização, o qual deverá ser seguido por uma etapa de reposição de

minerais e/ou de mistura com a água disponível, aumentando sua oferta. O concentrador é constituído de receptor, a superfície refletora, o absorvedor e o destilador. O calor produzido atua sobre um fluido de transporte que, por sua vez, aquece a água até seu ponto de ebulição. Um concentrador para produzir 30 litros por dia foi dimensionado e necessita de uma abertura de 2,4 metros quadrados, sendo possível sua implementação em laboratório para testes de robustez e viabilidade

PALAVRAS-CHAVE: dessalinização, energia solar, concentrador solar.

PROJECT OF A SOLAR CONCENTRATOR FOR DESALINATION

ABSTRACT

The human body consists of 65% water and needs constant and daily replenishment to keep it operational. Thus, the water intake is a premise of survival. In offshore operations, where the water supply is reduced, how to keep yourself hydrated? A possible solution is to remove the salt from sea water by taking advantage of solar radiation on the platforms. This paper presents a cylindrical parabolic solar concentrator for the desalination process, which should be followed by one

step replacement of minerals and / or mixing with water available, increasing its offer. The hub receiver consists of the reflective surface, the absorber and the distiller. The heat produced acts upon a fluid transport which, in turn, heats the water up to its boiling point. A concentrator to produce 30 liters per day has been designed and requires an opening of 2.4 square meters, with possible implementation in the laboratory for testing robustness and viability.

KEYWORDS: desalination, solar power, solar concentrator.

1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial ao ser humano, sendo o principal constituinte das células humanas, estando em todos os processos fisiológicos e bioquímicos no corpo humano. Ao nascer 70% do organismo é formado por água, essa porcentagem diminui ao longo da vida, chegando a representar 60% no peso de um adulto. A falta do líquido no organismo causa a desidratação, um problema que resulta em tontura, fraqueza, dor de cabeça, fadiga e pode até levar à morte em poucos dias.

O cenário *offshore* está atualmente em sua melhor época graças à recente descoberta do petróleo na camada pré-sal no litoral brasileiro. A necessidade de água potável nas plataformas pode ser suprida pela dessalinização da água do mar, em um processo que retira os sais dissolvidos na água salobra. A dessalinização pode ocorrer por osmose reversa, onde bombas de alta pressão forçam a água salgada através de filtros que capturam as partículas de sais e minerais, deixando passar apenas a água pura; ou por destilação, onde a água é evaporada e depois condensada, separando-se dos sais. Esse último processo é o que será explorado no presente trabalho, utilizando para isso um concentrador solar.

A finalidade de concentrador solar é captar a energia solar incidente em uma área relativamente grande e concentra-la em uma área menor, o foco, de modo que a temperatura dessa última aumente substancialmente. A partir daí essa radiação concentrada pode ter as mais variadas aplicações, seja de maneira direta ou indireta, sendo acumulada, transportada ou utilizada instantaneamente.

Predispondo dessa energia inesgotável e atentando para as preocupações ambientais, segurança na geração de energia e diversificação da matriz energética, o presente trabalho será voltado ao projeto de um Concentrador Solar Parabólico Cilíndrico (CSP).

O uso da energia solar para aquecimento envolve concentradores e absorvedores, transmissão, armazenamento e aplicação do calor. Os absorvedores são usados para absorver a luz do sol e transmitir o calor para o fluido utilizado. Atualmente a energia solar térmica aplicada para indústria está voltada principalmente para aquecimento de água, climatização de ambientes e produção de energia elétrica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Radiação nada mais é do que propagação de energia, no caso da radiação solar, eletromagnética, em forma de raios ultravioleta, infravermelhos e luz visível. Grande parte da energia solar que incide em nosso planeta fica retida na atmosfera ou é simplesmente refletida, apenas uma pequena fração chega à superfície do globo. Quando essa pequena fração atinge a camada mais externa de nosso planeta ela naturalmente interfere na organização física da matéria, tendo em mente que, no momento em que a radiação alcança os átomos ela eleva a frequência de vibração destes, e, conseqüentemente, a temperatura.

Queiroz (2005 apud LION FILHO, 2007) apresenta uma análise da quantidade de energia emitida pelo sol, descrevendo que a cada metro quadrado da estrela, são emitidas cerca de 62,8 MW de energia eletromagnética lançadas no espaço, resultado de um conjunto de reações

termonucleares que ocorrem no núcleo causando uma diminuição da massa do Sol em 4,25 milhões de toneladas por segundo. Apesar de ser uma perda inimaginável, é estimado que levariam 147 bilhões de anos com a mesma atividade solar para que a massa do sol perdesse efetivamente o equivalente a um por cento.

“O nordeste brasileiro apresenta um potencial solar bastante significativo, corresponde a uma disponibilidade média que se situa na faixa de 500 a 700 W/m², conforme Atlas de Irradiação Solar do Brasil”. (BEZERRA, 2001).

Souza Filho (2008) afirma que a energia solar é uma energia absolutamente pura, sem vestígios radioativos e sem poluentes, logo o uso de energia solar constitui-se numa forma ideal de energia para a preservação do meio ambiente. Hoje, essa energia já pode ser utilizada para diversas aplicações através de equipamentos como: Coletores Planos; Secadores Solares; Fogões Solares; Dessalinizadores; Concentradores Parabólicos; Placas Fotovoltáicas; etc.

O coletor cilindro parabólico (CCP) é caracterizado pela superfície refletora cilindro parabólica que reflete a radiação solar para o tubo absorvedor colocado na linha focal da parábola. A radiação sobre o tubo absorvedor aquece o fluido que circula pelo seu interior, transformando desta forma a radiação solar em energia térmica, na forma de calor sensível ou latente de fluido (SOUZA FILHO, 2008).

3 CONCENTRADOR SOLAR PARABÓLICO (CSP)

O CSP vem ganhando a atenção do mercado industrial devido à sua capacidade de atingir altas temperaturas, o que possibilita sua aplicação nas mais diversas áreas. Atualmente existem dois tipos de CSP, o parabólico “Circular” e o parabólico cilíndrico. O concentrador cilíndrico é umas das formas de transformação de energia solar mais amadurecida no mercado, sendo muito utilizado para o aquecimento de água para geração de energia elétrica.

O concentrador parabólico cilíndrico consiste em uma estrutura côncava espelhada, semelhante a um cilindro cortado ao meio, que converge à luz em uma linha focal direcionada a um tubo absorvedor. Esse tubo é acoplado à base do CSP e por ele passa o fluido a ser aquecido para sua posterior aplicação. Uma de suas vantagens é a possibilidade de acoplar um sistema de rastreamento solar, o que permite seu funcionamento autônomo durante todo o período do dia. O CSP é capaz de atingir temperaturas na faixa dos 350°C.

Parte de nosso trabalho consistiu no projeto de um concentrador solar parabólico de base móvel, acoplado a um destilador para produção de água destilada.

3.1 Estrutura do CSP

A estrutura do concentrador solar consiste em quatro partes: receptor, estrutura de suporte e absorvedor.

3.1.1 Receptor

O receptor, ou calha, é superfície côncava espelhada que redireciona a radiação solar incidente paralelamente a uma linha E traçada no vértice V da parábola, passando pelo ponto focal P (Figura 1).

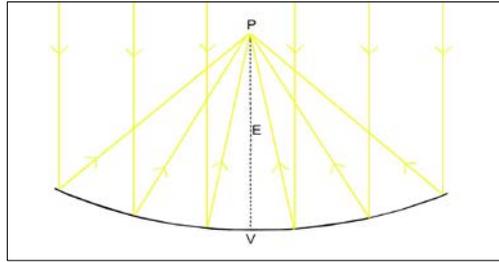


Figura 1: Convergência dos raios solares

3.1.2 Estrutura de suporte

A estrutura de suporte consiste em uma base móvel de madeira que dará suporte ao receptor.

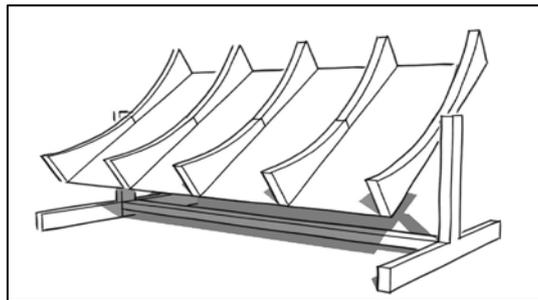


Figura 2: Estrutura de suporte.

3.1.3 Absorvedor

O absorvedor é a parte onde a radiação solar é absorvida e transmitida para sua aplicação, que consistem no tubo absorvedor. Como seu nome explica, absorve a radiação solar refletida pelo receptor na linha focal e a transfere em forma de calor para o fluido de trabalho.

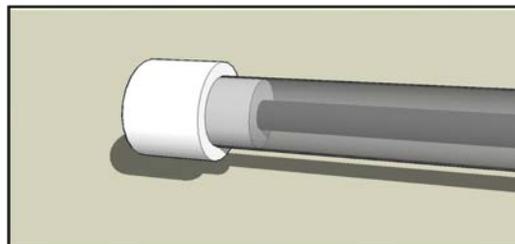


Figura 3: Detalhe do tubo absorvedor

Visando obter melhores resultados, pensamos em utilizar um fluido industrial térmico para melhorar o desempenho, pois, um líquido com um calor específico menor do que a água e um ponto de ebulição maior conservará a energia térmica excedente a necessária para a ebulição da água, prolongando o efeito desejado.

3.2 DIMENSIONAMENTO

Aqui será abordado o dimensionamento de cada estrutura que compõe o concentrador.

3.2.1 Receptor

Para dimensionar a calha refletora tivemos que primeiramente calcular a área necessária para absorver a radiação desejada.

Visando atingir a meta de 30 litros de água dessalinizada por dia, procuramos a potência necessária para aquecer a água a 110°C, e assim dimensionar a área do concentrador. Utilizando a equação fundamental da calorimetria:

$$Q = m * c * \Delta T \quad (1)$$

Q=Quantidade de calor necessária dada em cal.

m=Massa do corpo, em gramas.

c=Calor específico do corpo.

ΔT =Variação de temperatura em Célsius.

Dada à equação determinante, onde Q é a quantidade de calor necessária para aquecer M quilos de água, que possui o calor específico $C_p = 1 \text{ cal/ (g.}^\circ\text{C)}$, calculamos quanto seria necessário para elevar da temperatura ambiente 30°C (T_d) a 110°C (T_d), para ebulir:

$$Q = 30000 * 1 * (110 - 30) \quad (2)$$

$$Q = 30000 * 80$$

$$Q = 2400 \text{ kCal}$$

A partir dos resultados convertemos o valor de kCal para kJoules, partindo da igualdade, 1 Cal = 4,18400 Joules:

$$2400 \text{ kCAL} = 2400 * 4,19 \quad (3)$$

$$2400 \text{ kCal} = 10056 \text{ kJ}$$

Considerando o tempo útil do sol em Natal como 7 horas, transformamos o valor de tempo em segundos para descobrirmos a Potência Útil em Watts, considerando 1 Watt = 1J/s:

$$P_u = \frac{10056 \text{ kJ}}{25200s} \quad (4)$$

$$P_u \cong 400 \text{ W}$$

Então com a potência útil estimada aplicamos na fórmula dada por Souza Filho (2008):

$$P_u = P_{\text{abs}} - P_{\text{perdida}} \quad (5)$$

A partir da base da pesquisa estimamos uma potência perdida para efeito de cálculo e determinação da área do concentrador.

$$P_{\text{perdida}} = 488,93$$

Com a expressão (SOUZA FILHO, 2008):

$$P_{\text{abs}} = I_d * A_u * \rho * K_{rd} * \alpha \quad (6)$$

I_d = Irradiação solar no ambiente $\left(\frac{W}{m^2}\right)$

A_u = Área útil do concentrador (m^2)

ρ = Refletividade do receptor (%)

K_{rd} = Fração da radiação que chega ao tubo absorvedor (%)

α = Absortividade do absorvedor

Utilizamos o valor de 500 W para a irradiação em Natal - RN, os valores de K_{rd} e α utilizados pelo autor do artigo e considerando a refletividade do aço inox polido como 90%, que 95% da radiação que chega ao tubo receptor e que a sua absorção seja 90%:

$$500 * A_u * 0,90 * 0,95 * 0,90 = P_u + P_{\text{perdida}} \quad (7)$$

$$A_u \cong 2,31 \text{ m}^2 \text{ para } 30L/\text{dia}$$

$$A_u = \frac{400 + 488,93}{384,75}$$

Para manter uma margem de segurança definimos a área de abertura em $2,4 \text{ m}^2$. Na teoria essa área seria suficiente para processar 30 litros de água em um dia, mas como existem perdas nos outros processos de transferência de energia certamente esse valor será inferior.

Com o valor da área encontrado estabelecemos o concentrador nas dimensões de 2 metros de comprimento e 1,2 metros de largura (Figura 2), por motivos logísticos. Tendo que $2 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} = 2,4 \text{ m}^2$.

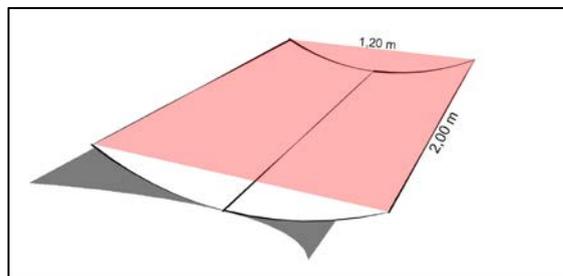


Figura 4: Abertura da calha

Para o dimensionamento da concavidade da calha utilizamos a equação quadrática dada por Duffie (1991) com o intuito de corrigir a “aberração esférica”:

$$y = \frac{x^2}{4f} \quad (8)$$

f = Altura do ponto focal

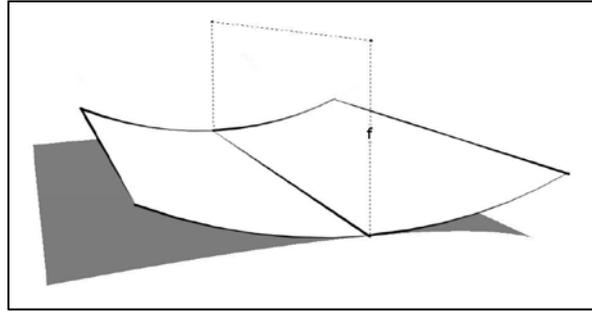


Figura 5: Altura do ponto focal

Predefinimos o tamanho da altura focal em 60 cm, novamente por motivos logísticos, resultando:

$$y = \frac{x^2}{2,4} \quad (9)$$

Plotamos o gráfico no software *Graph* (Figura 4), definindo $x \leq -0,6$ e $x \geq 0,6$ (com a finalidade de alcançar a dimensão previamente calculada da largura, 1,2 metros) e encontramos a parábola da concavidade.

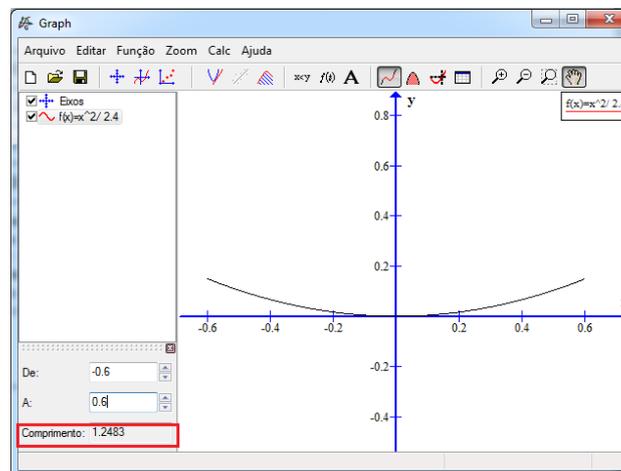


Figura 6: Plotagem da função

Para definir as dimensões da chapa de aço inox a ser utilizado o gráfico foi plotado novamente e foi utilizado um dos recursos do software que extraiu o comprimento do arco em 1,2483 metros. O comprimento do arco é equivalente à medida da largura de nossa chapa de aço e o comprimento da chapa por sua vez é equivalente ao comprimento previamente estabelecido de 2 metros. Sendo assim as dimensões da chapa seriam: 2 m x 1,2483 m.

A princípio foi cogitado utilizar tiras retangulares de espelho cobrindo uma estrutura de madeira que dava a forma à calha, mas acabamos optando por confeccionar a calha com uma chapa única de aço inoxidável. Apesar de o espelho ter uma taxa de reflexibilidade mais alta que a do aço inox verificou-se que a chapa permitiria maior fidelidade ao desenho da parábola, além das perdas que as áreas vazias entre as tiras de espelho proporcionariam. A curvatura da chapa é moldada pela estrutura de suporte.

3.2.2 Estrutura de suporte

Essa parte será conectada a uma base móvel através de um eixo, diminuindo o esforço mecânico para sua rotação, e permitindo que, posteriormente, instale-se um sistema de rastreamento solar e autocorreção de posicionamento.

Devido à fácil manipulação e peso relativamente menor foi optado confeccionar a estrutura de suporte toda em madeira. Para preservar e aumentar a vida útil ela receberá uma cobertura de verniz naval, evitando assim o possível desgaste causado por intempéries.

3.2.3 Tubo absorvedor

O principal empecilho na construção de um concentrador solar é a perda térmica efetiva para o meio. Tentando minimizá-las, escolhemos para o tubo absorvedor um tubo de cobre de 15 mm de diâmetro e 2m de comprimento coberto com tinta preta e revestido para melhor condução de calor, transferindo uma grande quantidade de energia térmica para o fluido a ser aquecido. O revestimento consiste em um tubo de vidro evacuado de 30 mm de diâmetro e 2 m de comprimento cercando o cano de cobre, aumentando a área de absorção e reduzindo as perdas para o meio.

4 DESTILADOR

O destilador é a estrutura onde o processo de dessalinização realmente acontece, ele pode ser dividido em duas partes, o evaporador e o condensador.

O evaporador, como o próprio nome sugere, é onde a serpentina que se estende do tubo focal, com o fluido aquecido, entrará em contato com a água salobra e transferirá a energia térmica evaporando-a, deixando apenas os sais. Com o tempo o recipiente necessitará de manutenção pelo excesso de sal.

O condensador ficará logo acima do evaporador a fim de facilitar o processo. O vapor quente naturalmente sobe do evaporador para o condensador e, ao entrar em contato com a superfície fria do condensador, se condensará e escorrerá para um tanque de armazenamento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente projeto buscou uma alternativa viável e renovável para a obtenção de água potável em aplicações *offshore*, utilizando um concentrador solar com transmissão indireta de calor. Foi arquitetado para produzir 30 litros de água/dia medindo 2,50 m x 1,20 m x 1,30 m.

Porém, a água produzida não é apropriada para consumo, pois durante o processo de purificação, todos os minerais são retirados e depositados no destilador. Mediante esse problema, pode-se tentar reequilibrar a salinidade da água adicionando os sais ou misturando a água destilada a água mineral.

Para obtermos uma eficiência maior, ainda deve ser trabalhada a questão de um rastreador solar, para melhorar o posicionamento e o processo de destilação propriamente dito.

Pode-se prosseguir para um protótipo em tamanho real, para testar inicialmente com transmissão de calor direta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, Samuel Luna de. **Introdução ao Aquecimento Solar**. Disponível em: <<http://aplicweb.feevale.br/site/files/documentos/pdf/23123.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2012.
- ALVES, Paula Portugal. **A Experiência de Joule Revisitada**. 2008. 95 f. Dissertação (Mestrado em Física Laboratorial) - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2008. Disponível em: <http://run.unl.pt/bitstream/10362/1836/1/Alves_2008.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2012.
- BULLIS, Kevin. **Energia Solar Barata à Noite**. Disponível em: <http://www.technologyreview.com.br/printer_friendly_article.aspx?id=39899>. Acesso em: 02 jul. 2012.
- COSTA, Raimundo Nonato Almeida. **Viabilidade térmica, econômica e de materiais de um sistema de aquecimento de água a baixo custo**. 2007. 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007. Disponível em: <http://bdtd.bczm.ufrn.br/tde_arquivos/10/TDE-2008-02-21T011110Z-1119/Publico/RaimundoNAC.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2012.
- FREITAS, Tayná Dalci Nicolau de. **Produção de água a bordo de navios e plataformas**. 2011. 49 f. Dissertação (Graduação em Tecnologia em Construção Naval) - Centro Universitário da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <www.uezo.rj.gov.br/tccs/capi/TaynaFreitas.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2013
- FUNDAÇÃO LUSO, **A importância da água no corpo humano**. Centro de Conhecimento da Água. Disponível em: <http://www.fundacaoluso.pt/assets/img/artigos/PDF5_A_importancia_da_agua_no_corpo_humano.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2013.
- KAPLAN, George M. **Understanding solar concentrators**. Disponível em: <http://www.appropedia.org/Understanding_Solar_Concentrators>. Acesso em: 12 jun. 2012.
- KEMPFER, Tiago. **Projeto e Construção de um Concentrador Solar**. 2011. 48 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2011/Artigos/Art_TCC_058_2011.pdf>. Acesso em: 18 out. 2012.
- LION FILHO, Carlos Alberto Pereira de Queiroz. **Construção e análise de desempenho de um fogão solar à concentração utilizando dois focos para cozimento direto**. 2007. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007. Disponível em: <<ftp://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd/CarlosAlbertoPQLF.pdf>>. Acesso em: 13 mai. 2012.
- LODI, Cristiane. **Perspectivas para a geração de energia elétrica no Brasil utilizando a tecnologia solar térmica concentrada**. 2011. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- NEVES, Kátia. **Eu quero... água!. Corpo a Corpo**. São Paulo, n.242, 2009. Disponível em: <<http://corpoacorpo.uol.com.br/Edicoes/242/artigo124257-1.asp>> Acesso em: 01 mar. 2013

PAMELA MURPHY (Eua) (Ed.). **2005 Annual Report: IEA Solar Heating & Cooling Programme**. Washington, DC: Morse Associates, Inc., 2006. Disponível em: <http://www.iea-shc.org/publications/downloads/shc_annual_report_2005.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2012.

POZZEBON, Felipe Barin. **Aperfeiçoamento de um programa de simulação computacional para análise de sistemas térmicos de aquecimento de água por energia solar**. 2009. 113 f. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<ftp://ftp.solar.ufrgs.br/teses/pozzebon.pdf>>. Acesso em: 13 mai. 2012.

QUEIROZ, Willian Fernandes, **Construção de um fogão solar à concentração para cozimento direto e indireto**, in: LION FILHO, Carlos Alberto Pereira de Queiroz. **Construção e análise de desempenho de um fogão solar à concentração utilizando dois focos para cozimento direto**. 2007. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007. Disponível em: <<ftp://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd/CarlosAlbertoPQLF.pdf>>. Acesso em: 13 mai. 2012

RICARDO, Rosilene. **Equipamento produz energia solar para abastecer a indústria**. Disponível em: <http://www.faperj.br/boletim_interna.phtml?obj_id=5884>. Acesso em: 08 jul. 2012.

RORIZ, L. F. **Concentradores Solares**. Disponível em: <http://web.ist.utl.pt/luis.roriz/MyPage/et_T25.htm>. Acesso em: 29 jun. 2012.

SCANLON, Bill. **Thermal Storage Gets More Solar on the Grid**. Disponível em: <http://www.nrel.gov/news/features/feature_detail.cfm/feature_id=1788>. Acesso em: 14 set. 2012.

SOUZA FILHO, José Ribeiro. **Projeto, construção e levantamento de desempenho de um concentrador solar cilindro parabólico com mecanismo automático de rastreamento solar**. 2008. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008. Disponível em: <<ftp://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd/JOSERSF.pdf>> . Acesso em: 13 mai. 2012. USINASUL. **Energia Sustentável**. Disponível em: <<http://www.usinazul.com.br/energia.html>>. Acesso em: 02 jul. 2012.

VIANNA, André Ribas. **Análise da redução da perda de carga em escoamento de óleos por termo acumulação utilizando energia solar: Projeto de aprimoramento do concentrador solar**. 2008. 83 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008. Disponível em: <http://www.prh29.ufes.br/downloads/PG_Andr%C3%A9Ribas.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2012.