

# PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM CONCENTRADOR SOLAR BIANGULAR DE DOZE LADOS APLICADO À EXTRAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO

Fernanda Peres Tavares – fertavares540@gmail.com

Kássia Graciele dos Santos – kassiagsantos@gmail.com

Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Departamento de Engenharia Química

**Resumo.** A energia solar é abundante, permanente e renovável a cada dia, não polui e nem prejudica o ecossistema, sendo o aproveitamento desta energia tanto como fonte de calor quanto de luz uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentar os desafios do século. Com base nesse contexto, o presente trabalho consiste no projeto e construção de um protótipo de concentrador solar biangular de doze lados, que se assemelha muito a uma parábola. Esta configuração se destaca por ser econômica e de fácil construção, podendo ser construída com materiais de baixo custo ou materiais descartáveis. O concentrador será empregado no aquecimento direto do solvente utilizado na extração sólido-líquido de óleos. Foi realizado o cálculo do foco do concentrador solar biangular de doze lados, que foi de 25 cm de altura. Foram utilizadas placas de aço e folhas de papel laminado para a montagem do equipamento sobre um suporte com rodas e que permitia a movimentação do concentrador no eixo leste-oeste de acordo com a posição do sol. Após a construção do equipamento, foram realizados testes de aquecimento em batelada com água e com alimentação contínua de álcool em diferentes vazões, a fim de checar as temperaturas de estado estacionário, em que serão realizados os testes de lixiviação. No teste de aquecimento batelada, a água chegou a 95 °C, enquanto o álcool, atingiu 73 °C, 63 °C e 49 °C nas vazões de 15, 25 e 35 mL/min, respectivamente, temperaturas estas que são favoráveis ao processo de extração por solvente. Assim, conclui-se que o concentrador solar biangular de doze lados, mesmo tendo o foco disperso, foi eficiente no aquecimento do solvente a ser empregado no processo de lixiviação, o que torna o processo barato e sustentável, podendo ser facilmente reproduzido por comunidades.

**Palavras-chave:** Energia Solar, Concentrador solar biangular de doze lados, Energia térmica.

## 1. INTRODUÇÃO

O uso intensivo das reservas esgotáveis de combustíveis fósseis e os problemas ambientais ocasionados pelo uso desses recursos implicam em um futuro próximo preocupante para a humanidade (Silva, 2007). O aumento dos problemas ambientais tem desencadeado, na sociedade, a procura cada vez mais urgente por tecnologias limpas e eficientes. Deste modo, é cada vez mais importante uma maior difusão das energias alternativas, em especial as renováveis e não-poluentes, as quais se destacam com o importante papel de aumentar a sustentabilidade da matriz energética mundial. Nesse contexto, as fontes de energia eólica, solar, biomassa, geotérmica, maremotriz e hidráulica se destacam como fontes não poluentes e inesgotáveis, não contribuindo, desse modo, para a ocorrência de diversos problemas ambientais. Além disso, estas podem ser repostas em curto prazo de forma espontânea ou por intervenção humana (Souza Filho, 2008).

Entretanto, apesar de seu atual destaque no cenário energético mundial, as energias renováveis ainda tem sido relativamente subutilizadas. A primeira razão é a econômica, pois mesmo que o preço das energias renováveis tenha caído consideravelmente nas últimas três décadas, este ainda é maior quando comparado ao custo dos combustíveis comerciais de baixo preço (Hinrichs *et al.*, 2010).

Dentre todas as fontes alternativas de energia existentes a energia solar é a que mais tem se destacado, pois além de ser uma fonte renovável e não poluente, também se caracteriza por ser disponível em qualquer localidade da Terra. (Souza e Bezerra, 2000).

A energia emitida pelo sol pode ser utilizada para diversas finalidades, substituindo outras formas convencionais de energia que veem sendo utilizadas pelo homem há décadas, e em muitos casos, com vantagens. A utilização da energia solar comparada com energia proveniente de usinas nucleares, carvão mineral e vegetal, entre outros, além de apresentar baixo impacto ambiental, destaca-se por empregar equipamentos que necessitam de pouca manutenção, o que permite a presença dessa energia em locais remotos onde a instalação de fontes tradicionalmente utilizadas é de alto custo. Ainda, de acordo com Souza Filho (2008), uma das principais vantagens dessa energia em relação a outras fontes é que esta é abundante, sendo que de toda a energia solar disponível nas massas continentais, aproximadamente 1% seria o suficiente para suprir as necessidades atuais.

Diversos países estão investindo na energia solar, investigando desde as características do fluxo de radiação solar que chega à Terra até a tecnologia necessária para viabilizar, em termos técnicos e econômicos, o aproveitamento dessa energia. De acordo com Ho e Ito (2007) o uso de energias renováveis, além de reduzir os impactos negativos resultantes

da queima dos combustíveis fósseis, permite uma melhoria do nível de vida de países em desenvolvimento, já que grande parte das taxas de desenvolvimento econômico é afetada pelos altos custos de energia.

Segundo Martins *et al.* (2004) o Brasil, devido estar localizado em sua maior parte na região intertropical, possui grande potencial de energia solar durante todo ano. A utilização dessa energia poderia trazer benefícios em longo prazo para o país, viabilizando o desenvolvimento de regiões remotas. Esta pode ser utilizada em sistemas de irrigação de culturas; de refrigeração de alimentos, vacinas e remédios; aquecimento e iluminação artificial; conforto térmico e iluminação natural em projetos de construção civil, etc.

Atualmente, buscando um melhor aproveitamento da energia solar, já existem tecnologias e projetos que captam a radiação solar e a transformam em outro tipo de energia, conforme a aplicação que se deseja, como os coletores solares. Coletores solares são os sistemas da energia solar que mais rapidamente se difundiram. Tal êxito se deve ao fato de que esses equipamentos são relativamente de baixo custo e fácil construção, não requerendo materiais sofisticados e alta tecnologia. Além disso, encontram-se com uma variedade de aplicações na agricultura, nas residências e na indústria (Santos e Nascimento Filho, 2002).

Coletores solares são equipamentos utilizados para captar a energia solar e transformá-la em energia térmica. Devido a possuírem fácil construção e baixo custo, não requerendo matérias sofisticados e alta tecnologia, são os sistemas da energia solar que mais rapidamente expandiram. Estes podem ser utilizados em uma variedade de aplicações na indústria, nas residências e na agricultura (Santos e Nascimento Filho, 2002).

Os concentradores solares são constituídos essencialmente de uma superfície refletora-concentradora da radiação solar direta, cuja finalidade é captar a energia solar incidente numa área relativamente grande e concentrá-la numa área muito menor, a qual está localizada o corpo absorvedor, aumentando sua temperatura substancialmente (ANEEL, 2015). Existem diversas abordagens possíveis para o formato dos concentradores, as quais são condicionadas pelo tipo de aplicação desejada. De acordo com Souza Filho (2008), os sistemas a concentração são normalmente constituídos de forma parabólica, semiesférica, cilindro-parabólico, cônica e tronco-cônica. Entretanto, para que estes sistemas apresentem um desempenho satisfatório, é necessário a exposição à radiação direta, céu claro e sem nebulosidades.

Os concentradores de foco pontual são aqueles que concentram energia solar e formam um foco pontual. A seção refletora dos raios solares possui um perfil parabólico em revolução (Dib, 2009).

O concentrador parabólico tem uma forma muito similar a um grande satélite, e é constituído por uma superfície que reflete a radiação incidente para uma outra superfície de absorção, menor, denominada ponto focal, conforme a Fig. 1-a. Abou-Ziyan (1998) *apud* Dib (2009) avaliou os fatores que podem alterar a eficiência desse modelo de concentrador. Este concluiu que o fator que mais altera a eficiência do concentrador parabólico é a ação do vento. Os testes sobre a ação do vento foram feitos medindo-se a velocidade de aquecimento de água estando ela protegida ou não pela ação do vento. Sem o protetor, a temperatura da água não ultrapassou 83 °C para velocidades do vento de 3 m/s.

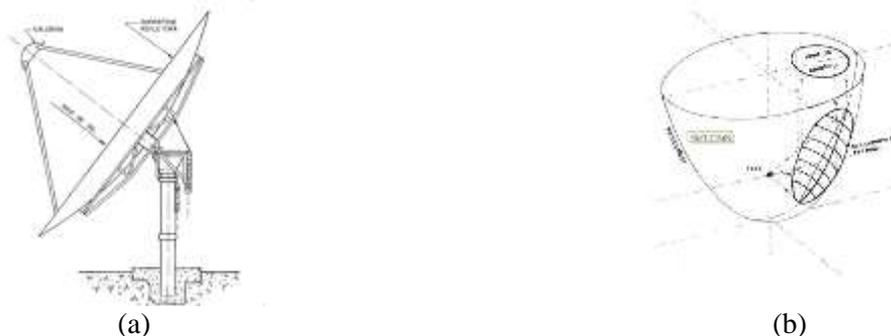


Figura 1 - Representação de um concentrador parabólico: (a) foco linear; (b) foco fixo.

Já os concentradores parabólicos de foco fixo, consistem em um segmento lateral de uma parabolóide, como exibe a Fig. 1-b. Dib (2009) desenvolveu um concentrador que se movimenta de acordo com o movimento do sol a fim de manter o foco sempre no alvo desejado a uma velocidade angular de 15° por hora, ou seja, a mesma velocidade angular da Terra. Scheffler (2006) desenvolveu um crematório na Índia, composto por um concentrador parabólico de foco fixo com área de reflexão de 3,4 m<sup>2</sup>, alcançando uma potência em torno de 1 kW e temperaturas além de 800 °C.

A maioria das aplicações dos concentradores solares da literatura envolvem o aquecimento de fluidos. Sendo assim, qualquer processo que empregue o aquecimento de fluidos e até sólidos podem ser adaptados para empregar energia solar, tornando o processo sustentável. A lixiviação ou extração sólido-líquido, é uma operação unitária da indústria que envolve a transferência de massa de uma substância de interesse, inicialmente retida em um sólido, para o seio de um fluido solvente apropriado, que consegue solubilizar a esse componente. Assim, após a extração, o componente desejado é então separado do solvente. Esse é um dos principais processos empregados na obtenção de óleo vegetal, por exemplo. Como a solubilidade é favorecida com o aumento da temperatura, os processos de lixiviação empregam o solvente aquecido, e esta etapa de aquecimento é uma das mais dispendiosas do processo.

Assim, graças à ampla faixa de aplicações dos coletores solares e seu baixo impacto ambiental, uma vez que utilizam uma energia limpa e renovável, o trabalho em questão visa o projeto e construção de um concentrador solar biangular de doze lados, o qual será utilizado no processo de extração sólido-líquido empregando solvente. Deste modo, o concentrador solar será responsável por aquecer de forma direta o solvente, o qual será empregado na obtenção de

óleo pelo processo de lixiviação. A utilização deste equipamento para extração frente as extrações convencionais é vantajosa devido a ser um processo quase que inteiramente sustentável, uma vez que a quantidade de energia elétrica necessária é desprezível. Além disso, neste processo não é necessário a etapa de destilação do solvente, como na maioria dos métodos convencionais, uma vez que o etanol separa-se do óleo apenas por um simples período de resfriamento. Logo, além do baixo custo de construção do equipamento, o processo de extração sólido-líquido através deste se destaca pelo seu baixo custo de operação.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Projeto: Definição do foco do concentrador solar biangular de doze lados

Para atingir o objetivo proposto, primeiramente foi realizado o projeto do concentrador solar, que consistiu em definir as características geométricas do protótipo. Assim, foi necessário o cálculo do ponto de concentração de radiação solar, ou seja, seu foco. Segundo Prado et al. (2012), ao se considerar os conhecimentos das leis de reflexão e da trigonometria, pode-se determinar os pontos focais de qualquer tipo de curvatura. Deste modo, para calcular o ponto de concentração de radiação solar utilizou-se a metodologia desenvolvida por este autor, à qual é dada pelas seguintes etapas:

1. Traça-se, em um plano cartesiano, a função matemática  $f[x_p]$  que representa a curva responsável pela geração da estrutura do coletor;
2. Dado um ponto P qualquer, cujas coordenadas são  $(x_p, y_p)$ , é necessário o determinar a reta que tangencia esse ponto, denominada reta “t”, sendo o seu coeficiente angular a derivada da função geradora ( $f'[x_p]$ ) e está representada na Eq. (1). Além disso, é preciso determinar a reta perpendicular a esta no ponto P, chamada de reta normal ou reta “n”, representada pela Eq. (2):

$$y_t - y_p = f' [x_p] (x_t - x_p) \quad (1)$$

$$y_n - y_p = \frac{-1}{f' [x_p]} (x_n - x_p) \quad (2)$$

3. Após determinação das retas “t” e “n”, traça-se o raio de incidência solar, representado pela reta “i” e dado por:

$$x = x_p \quad (3)$$

4. O ângulo entre o raio incidido (reta “i”) e a normal (reta “n”) é o mesmo ângulo entre a normal e o raio refletido, denominado de “ $\theta$ ”:

$$\theta = 90^\circ + \arctg \left( \frac{-1}{f' [x_p]} \right) \quad (4)$$

5. Dessa maneira, sendo o mesmo ângulo, para determinar a reflexão do raio de incidência utiliza-se a Eq. (5), representada pela reta “r”:

$$y_r - y_p = \text{tg}(90^\circ + 2\theta)(x_r - x_p) \quad (5)$$

6. E por fim, o ponto focal “F” de interesse estará sobre o eixo “y”, onde a reta “r” o intercepta, ou seja, F  $(0, y_F)$ , em que a ordenada “ $y_F$ ” é dada pela Eq. (6):

$$y_F = y_p - \text{tg}(90^\circ + 2\theta) x_p \quad (6)$$

### 2.2 Construção do protótipo

O concentrador solar biangular de doze lados foi composto por 12 placas de aço galvanizado nas dimensões de 61 cm x 23 cm cada, parafuso, solda de estanho e papel laminado para o revestimento interno. Primeiramente, foi necessário o corte das placas, uma vez que possuíam formato retangular, conforme mostra o esquema da Fig. 2(a). Posteriormente ao corte, dobrou-se o a placa a 26 cm de distância da extremidade de menor dimensão. Os painéis foram fixados uns aos outros através de suas abas, com o uso de parafusos, aproximando-os ao formato de uma parábola. Logo após, com objetivo de se obter uma boa reflexibilidade, colocou-se uma folha de papel laminado na superfície interna de todos os lados do equipamento, como é possível observar na Fig. 2(b).

O leito absorvedor foi construído de um tubo de metal galvanizado em formato cilíndrico, com dimensões de 5 cm de diâmetro 15 cm de comprimento. Este foi construído de forma a ter sua extremidade inferior soldada e sua extremidade superior de abertura rosqueável. Além disso, este foi tingido de preto fosco com o intuito de aumentar sua eficiência. A Fig. 2(c) representa o recipiente descrito.

O suporte destinado ao equipamento foi construído de ferro soldado e rodas, para sua melhor locomoção. Deste modo, para fixar o leito absorvedor no ponto de concentração dos raios solares, uma base de metal, que encaixa no leito

absorvedor, foi soldada de forma vertical no suporte feito para o concentrador solar, garantindo assim que o recipiente ficaria fixo no ponto focal.

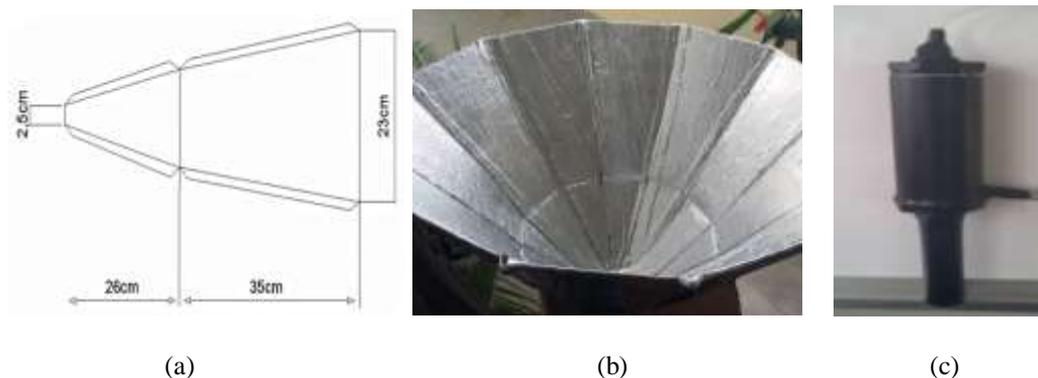


Figura 2 - Dimensões dos lados do concentrador solar biangular de doze lados.

Além da construção do equipamento em si, fez-se também a construção de um suporte para este, para que o coletor pudesse se movimentar no eixo leste-oeste, garantindo assim a permanente exposição em direção ao sol. O equipamento construído está exposto na Fig. 3. Após a construção da unidade experimental, um teste de eficiência de aquecimento foi realizado empregando água. O teste consistiu no preenchimento do leito fixo com o fluido e a exposição do equipamento ao sol, registrando-se a temperatura do mesmo com um termopar do tipo K a cada 15 min.

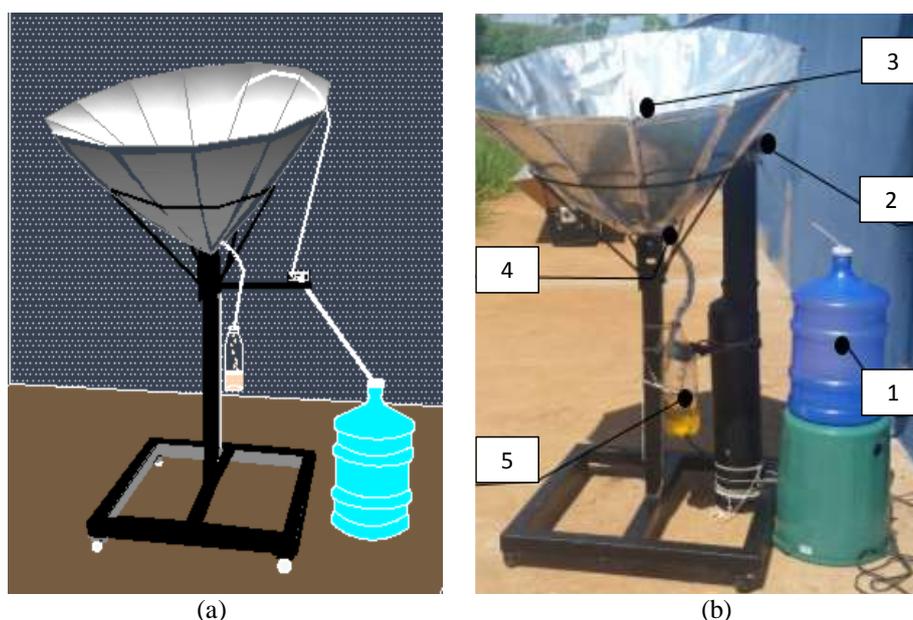


Figura 3- Concentrador solar biangular de doze lados (a) esquema (b) construído: 1- tanque de alimentação de solvente; 2-bomba peristáltica; 3-leito absorvedor (leito fixo); 4-termopar do tipo K; 5-tanque de armazenamento do extrato.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Ponto de concentração de radiação solar

Com a finalidade de determinar o “alcance focal do concentrador” ou seja, a diferença entre a altura máxima e mínima na qual deve estar localizado o leito absorvedor, o qual é responsável pelo aquecimento do solvente, foi preciso determinar a equação matemática de cada reta que compõe o concentrador solar. Também foi determinada a equação de segundo grau que melhor representa o equipamento, a fim de uma comparação com uma parábola, pois esta possui a geometria mais semelhante ao concentrador solar biangular de doze lados. Desta maneira, após obtenção das coordenadas cartesianas do coletor, foi possível encontrar as respectivas equações de reta, através de seu gráfico, como na Fig. 4.

Para validar a aproximação entre o coletor construído e um coletor parabólico, foi determinada a equação de segunda ordem através da análise sobre a linha de tendência polinomial. Deste modo, para exemplificar a semelhança entre as duas geometrias, utilizou-se  $x_p=15\text{cm}$ .

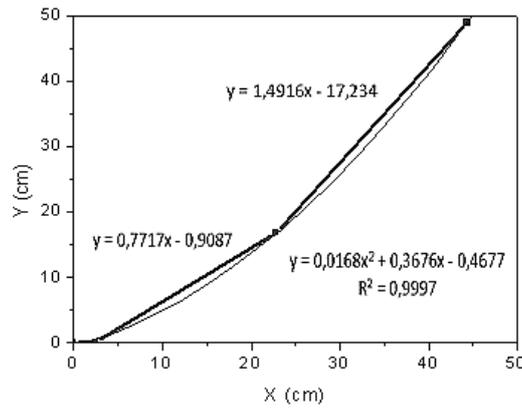


Figura 4 - Funções matemáticas que representam a curva geradora do coletor.

Assim, empregando as equações de reta obtidas, para o concentrador solar tem-se  $P_c=(15; 10,66)$  e para a parábola tem-se  $P_p=(15;8,83)$ . Sendo  $f'[x_p]$  dada pela derivada da função geradora  $f[x_p]$ , utilizou-se as Eq.(1) a Eq.(4), a fim de encontrar o foco de ambas as geometrias. Assim, tem-se que:

$$\text{Concentrador solar:} \quad f'[x_p] = 0,771 \quad (7)$$

$$\text{Parábola:} \quad f'[x_p] = 0,0336x_p + 0,3676 \quad (8)$$

Para calcular o ângulo que a reta “i” faz com a normal, recorreu-se à Eq.(4), reescrita como:

$$\text{Concentrador solar:} \quad \theta = 90^\circ + \arctg = 90^\circ - 52,34^\circ = 37,66^\circ \quad (9)$$

$$\text{Parábola:} \quad \theta = 90^\circ + \arctg = 90^\circ - 48,92^\circ = 41,08^\circ \quad (10)$$

Desta forma, foi possível calcular a ordenada do ponto de concentração para este conjunto de coordenadas, para o coletor e a parábola, utilizando a Eq. (6):

$$\text{Concentrador solar:} \quad y_F = 10,66 - \text{tg}(90^\circ + 2 \cdot 37,66^\circ)15 = 14,59\text{cm} \quad (11)$$

$$\text{Parábola:} \quad y_F = 8,83 - \text{tg}(90^\circ + 2 \cdot 41,08^\circ)15 = 10,89\text{cm} \quad (12)$$

Logo, para  $x_p=15\text{cm}$ , tem que o ponto focal no concentrador é 14,59 cm e na parábola é 10,89 cm. Assim, para a real representação do foco das geometrias estudadas, foram plotados alguns pontos representando os raios incidentes do concentrador solar e da parábola, a fim de ilustrar a incidência e reflexão dos raios solares no concentrador e na parábola. Estes pontos se encontram na Tab. 1. A Fig. 5 mostram a incidência (em azul) e a reflexão (em vermelho) dos raios solares para a geometria biangular e parabólica, respectivamente.

Tabela 1: Ordenada do Ponto de Concentração ( $Y_f$ ) para determinadas coordenadas ( $X_p$ ,  $Y_p$ ) para o concentrador solar biangular de doze lados e a parábola.

$X_p$ (cm)	Concentrador solar		Parábola	
	$Y_p$ (cm)	$Y_f$ (cm)	$Y_p$ (cm)	$Y_f$ (cm)
5	2,9498	4,2601	1,790	5,119
10	6,8083	9,4290	4,888	8,477
15	10,6668	14,5979	8,826	10,894
20	14,5253	19,7667	13,604	12,827
25	20,0560	9,7913	19,222	14,478
30	27,5140	15,1963	25,680	15,951
35	34,9721	20,6014	32,978	17,302
40	42,4320	26,0064	41,116	18,569
45	49,8880	31,4115	50,094	19,774

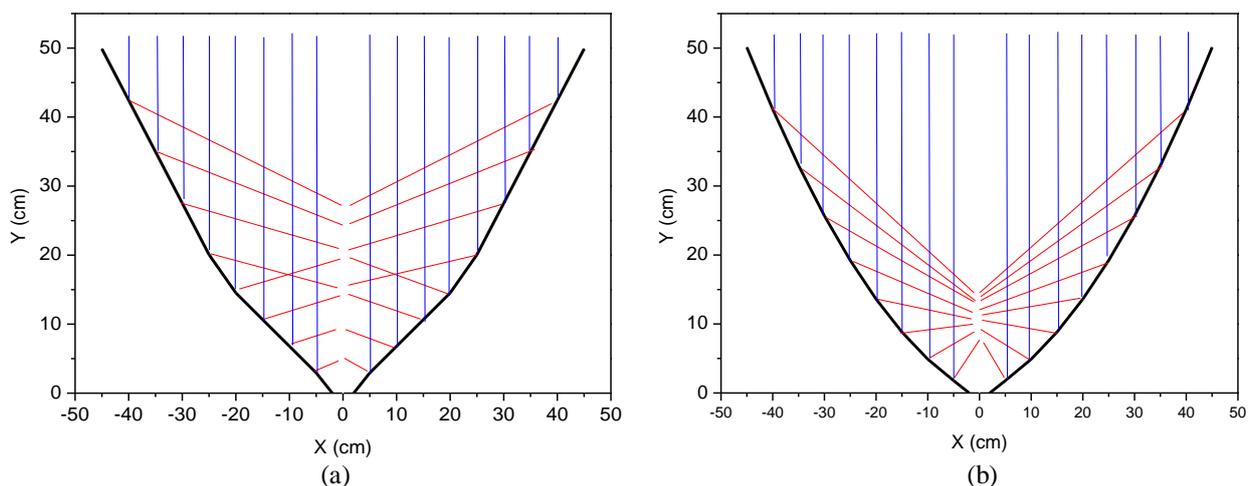


Figura 5 - Incidência (azul) e Reflexão (vermelho) dos raios solares:(a) no concentrador solar biangular de doze lados; (b) na parábola correspondente.

Como o observado, a geometria proposta trata-se de uma aproximação válida uma vez que apresenta eficiência semelhante à da parábola, porém, como já era esperado, com uma menor eficiência, uma vez que os raios solares, ao se refletirem pela superfície, concentram-se mais em pontos espalhados, sendo que para esses conjuntos de coordenadas, a faixa de altura obtida foi de 25 cm. Enquanto que para a geometria parabólica esta altura varia aproximadamente de 15 cm.

### 3.2 Eficiência térmica do concentrador solar biangular de doze lados

#### 3.2.1 Testes em batelada com água

Após a montagem do aparato experimental, com o intuito de avaliar sua eficiência térmica, primeiramente foram feitos testes em batelada com água. Assim, o concentrador solar foi exposto ao sol e a água foi introduzida no interior do absorvedor. A temperatura foi monitorada através do uso de um termopar que foi introduzido dentro do absorvedor através de um orifício na parte superior do tubo. As leituras foram realizadas entre os horários 11/12 horas e 13/14 horas, em intervalos de tempo de 5 minutos até que a temperatura estabilizasse.

Porém, de acordo com a literatura, o que mais influência na eficiência térmica do concentrador solar é a presença de ventos. Devido a isso, o tubo absorvedor foi revestido com uma garrafa PET transparente, que além de minimizar os efeitos gerados pelo vento, dá origem ao efeito estufa entre as garrafas e o recipiente.

Os resultados estão expostos na Tab. 2, e a partir deles, foram plotadas as curvas de temperatura representadas pela Fig. 6. Como pode ser visto através dos gráficos, o objetivo do aparato experimental foi alcançado, já que se obteve altas temperaturas no teste com água, atingindo-se cerca de 95 °C. Observou-se que o horário que apresentou maior temperatura foi próximo às 12:00 horas, como era de se esperar, uma vez que este apresenta maiores valores de radiação e incidência solar.

Tabela 2 - Temperatura da água em função do tempo

Tempo (min)	Temperatura (°C)	
	11:00 às 12:00 horas	13:00 às 14:00 horas
0	29	29
5	40	36
10	47	45
15	57	51
20	64	55
25	71	59
30	78	63
35	84	68
40	88	71
45	91	75
50	94	81
55	95	82
60	95	82

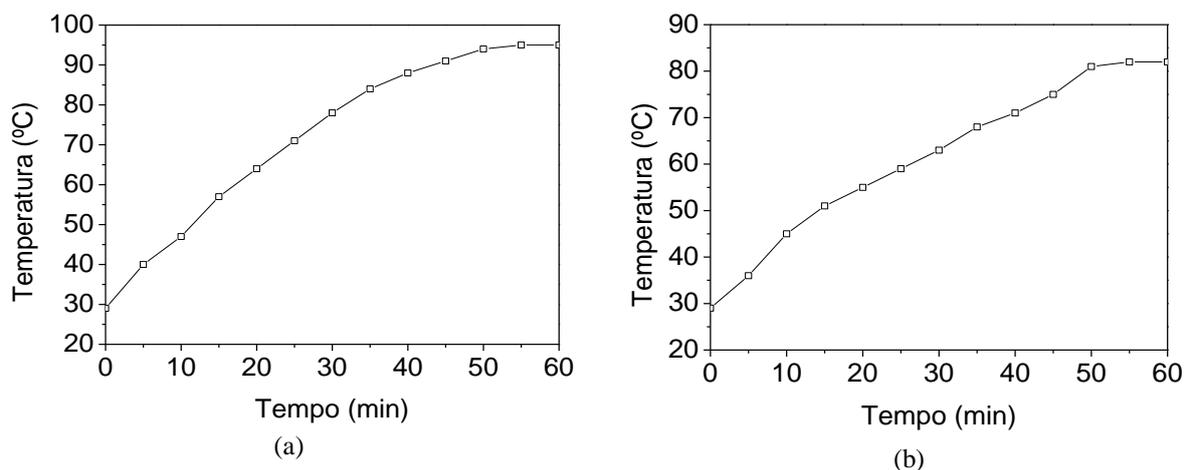


Figura 6 - Curva de Temperatura (a) às 12:00 horas e (b) às 14:00 horas

### 3.2.2 Testes contínuo com alimentação de álcool

Em experimentos realizados para extração do óleo vegetal de pinhão manso, em que o solvente álcool foi alimentado continuamente, avaliou-se a temperatura obtida para diferentes tipos de vazão de álcool, as quais foram 15, 25 e 35 mL/min. Os experimentos tiveram um tempo total de duração de 2 horas e o leito absorvedor foi preenchido totalmente com as partículas de pinhão manso, assim o conjunto a ser aquecido era as partículas e o álcool.

A Fig. 7 mostra a variação de temperatura da mistura álcool-óleo, medida com um termopar tipo K, avaliada na saída do leito fixo absorvedor de acordo com o tempo de extração.

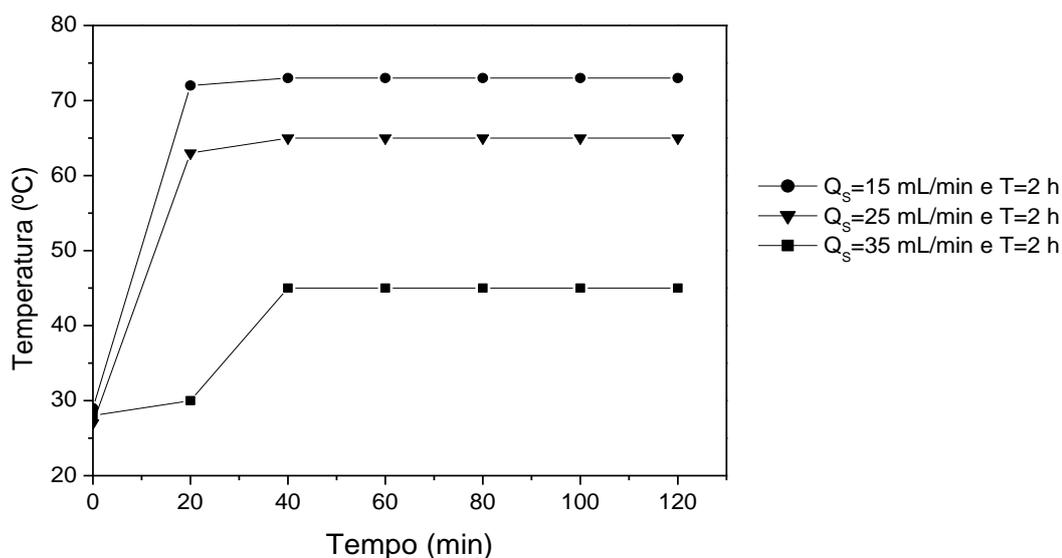


Figura 7 - Temperatura em função do tempo para o a alimentação contínua de solvente.

Observa-se que o aumento da vazão de alimentação do solvente ocasionou uma redução da temperatura de operação, sendo obtidas temperaturas de 73, 65 e 45 °C nas vazões de 15, 25 e 35 mL/min, respectivamente. Além disso, na Fig. 7 é possível observar que a temperatura levou no máximo 40 min de operação para se manter constante. Desse modo é possível concluir que o concentrador solar construído, mesmo operando com material particulado em seu leito absorvedor, obteve temperaturas consideráveis, chegando a 73°C.

A vazão de solvente é uma variável que influencia diretamente no processo de extração sólido-líquido, pois quando se tem uma velocidade relativa entre o fluido e a partícula, há o aumento do coeficiente de transferência de massa convectivo, aumentando assim a eficiência da extração. Deste modo, em um processo de extração contínuo, à medida que a vazão de solvente aumenta, espera-se que haja uma maior transferência de massa de óleo do interior do sólido para o seio do líquido solvente. Entretanto, visto que o solvente em questão é o álcool etílico com ponto de ebulição próximo a 78 °C e este é aquecido na própria coluna, o tempo de residência do fluido influencia na temperatura de operação, que vai diminuindo com o aumento da vazão. Assim, para a menor vazão ( $Q_s=15$  mL/min), a menor velocidade de contato sólido-líquido levou a um maior tempo de residência do solvente no leito, o que por sua vez, levou o sistema a uma maior temperatura de operação (73 °C).

#### 4. CONCLUSÃO

A geometria de concentrador solar proposta apresentou-se como uma boa configuração para concentradores solares. Este em operação, promoveu elevados valores de temperatura no líquido contido dentro do tubo absorvedor. Quando operado apenas com água em processo batelada, a temperatura alcançou 95 °C e, no caso do leito preenchido com partículas e álcool, o sensor indicou 73 °C. Tais resultados permitem concluir que o objetivo de concentrar os raios solares foi alcançado. Desta forma, a geometria proposta é adequada, pois apresenta fácil construção e operação e também pode ser construída de materiais recicláveis, o que leva a reduzidos custos de construção.

#### REFERÊNCIAS

- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Energia Solar. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia\\_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)> Acesso em: 22 set 2015.
- DIB, Erick Alfred. Projeto e Construção de um Concentrador Solar de Foco Fixo Utilizado para o Aquecimento de um Forno. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Tiradentes, 2009.
- HINRICHES, Roger A.; KLEINBACH, Merlin; REIS, Lineu Belico dos. Energia e meio ambiente. 4 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.
- HO, Denny Anderson; ITO, Eric Ayao. Projeto e Construção de Aquecedor Solar com Concentrador. 2007. 102 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) –Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- MARTINS, Fernando Ramos; PEREIRA, Enio Bueno; ECHER, Mariza Pereira de Souza. Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário: O Projeto Swera. Revista Brasileira de Ensino de Física, Brasil, v. 26, n. 2, p.145-159, 2004.
- SANTOS, Sebastião Amílcar de Figueiredo; NASCIMENTO FILHO, Jair. Coletores solares: materiais disponíveis no meio rural. In: Encontro de Energia no Meio Rural, 4., 2002, Campinas.
- SILVA, Guilherme Gonçalves da. Avaliação ambiental dos benefícios da utilização da energia solar. 2007. 15 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) -Departamento de Engenharia Ambiental. Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2007.
- SOUZA FILHO, José Ribeiro de. Projeto, construção e levantamento de desempenho de um concentrador solar cilíndrico parabólico com mecanismo automático e rastreamento solar. 2008. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- SOUZA, Luiz Guilherme Meira de; BEZERRA, João Maria. Sistema Alternativo de Aquecimento Solar (2000). CONEM – Natal-RN. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/app/webroot/anais/conem/2000/DC8528.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2015
- URIAS, Patrícia Moisés. Concentrador Solar Biangular de Doze Lados: método alternativo para extração de óleo a partir da semente de pinhão manso. 2014. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) –Departamento de Engenharia Química. Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2014.

#### DESIGN AND CONSTRUCTION OF A BIANGULAR TWELVE-SIDED SOLAR CONCENTRATOR APPLIED TO SLID-LIQUID EXTRACTION

**Abstract.** *Solar energy is abundant, permanent and renewable every day, does not pollute and do not harm the ecosystem, and the utilization of this energy both as a source of heat and light one of the most promising energy alternatives to meet the challenges of the century. Based on this context, this work consists of the design and construction of a solar concentrator prototype. The geometry was the proposal of a twelve-sided hub biangular since much resembles a parabola, however presents itself as a more economical configuration and easy to construct and can be constructed with low cost materials, as disposable materials. In the first stage, design, Prado et al (2012) suggested methodology for focus calculation. In this step it was possible to verify the similarity of the geometry of biangular solar concentrator twelve sides and the geometry of the parabola, since when comparing the focus obtained between the two, the built concentrator showed a focus of 25 cm, while the parable showed a focus of 15 cm. In the second stage construction was only used in steel plates and foil sheets for the assembly of equipment was also made a stand with wheels to move the hub in the east-west axis, break that it has continuous exposure Sun. At this stage batch test was also conducted with water in order to verify the thermal efficiency of the equipment, which reached 95°C, indicating that in order to concentrate the sunlight has been reached.*

**Key words:** *Solar Energy, Biangular Twelve-sided Solar Concentrator, Thermal energy.*