

CONCENTRADOR SOLAR BIANGULAR DE DOZE LADOS: MÉTODO ALTERNATIVO PARA EXTRAÇÃO DE ÓLEO A PARTIR DA SEMENTE DE PINHÃO MANSO

Patrícia Moisés Urias, Karla Santos de Araújo, Paula Cordeiro Rodrigues da Cunha, Kássia Graciele dos Santos
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, pattymoises1@yahoo.com

RESUMO

A energia é um recurso indispensável para a vida no planeta. Os problemas ambientais ocasionados por meio de energias não renováveis vêm obrigando o homem a investir sua inteligência e criatividade no uso da bioenergia. A energia solar vem se destacando por representar uma das fontes não poluente e praticamente inesgotável da Terra. Este trabalho tem como objetivo principal construir um coletor solar biangular de doze lados, compará-lo com a forma parabólica que mais se aproxima desta geometria por meio da determinação de seus pontos focais e utilizá-lo para aquecer de forma direta o álcool anidro (solvente) empregado na obtenção de óleo pelo processo de lixiviação de sementes. Além disso, uma extração utilizando as mesmas condições foi feita em paralelo pelo método convencional, a fim de comparar os resultados obtidos. Vale ressaltar também que a semente escolhida para os testes foi a de pinhão manso, por ser uma alternativa bastante promissora para a produção de biodiesel, que, por sua vez, trata-se de uma fonte de energia renovável.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Solar, Concentrador Solar, Pontos Focais, Lixiviação de sementes, Biodiesel.

INTRODUÇÃO

A energia trata-se de um recurso imprescindível para a existência da vida no planeta. Está presente no Sol, nos alimentos, nas plantas, nos animais, nas máquinas e, além disso, para realizar qualquer atividade são utilizadas uma ou mais fontes desta (VECCHIA, 2010). De acordo com Branco (2012), a luz e o calor cedidos pelo Sol são as principais formas de energia presentes na natureza, porém há outras fontes como a energia interna da Terra, as marés ou os átomos. De acordo com Vecchia (2010), o grau de desenvolvimento de uma nação pode ser expresso pela utilização de energia. Antigamente, os seres humanos dependiam apenas de fontes naturais, como aquelas provenientes da tração animal, dos próprios seres humanos por meio da escravidão, da força eólica ao criar os moinhos, dentre outras. A biomassa (lenha), os óleos hidráulicos (rodas-d'água) e eólicos (embarcações a vela), compunham as principais formas de uso dos recursos naturais ao longo da evolução humana do neolítico ao início do segundo milênio.

O desenvolvimento socioeconômico desencadeou novas necessidades energéticas. Devido a isto, em 1769, iniciou-se a era industrial com James Watt, matemático e engenheiro escocês, ao patentear a máquina a vapor alimentada por carvão. Essa Revolução Industrial, que tanto marcou o século XX, ainda continua ocorrendo, sempre marcada por novas descobertas energéticas. Em 1945, por exemplo, houve a primeira explosão atômica (realizada pelos EUA sobre Hiroshima e Nagasaki), dando origem à fase da energia contida no núcleo atômico, ou seja, a utilização da fusão nuclear para fins industriais e domésticos. A partir de então, a produção de bens e serviço está cada vez mais depende de fontes esgotáveis e poluentes (VECCHIA, 2010; BRANCO, 2012).

Todavia, existe uma crescente preocupação com o meio ambiente e para garantir a manutenção da qualidade de vida sobre a Terra sem deixar de lado questões econômicas e sociais, há uma necessidade maior em utilizar as fontes de energia naturais, como antes da Revolução Industrial (BRANCO, 2012).

Atualmente, os recursos energéticos renováveis são alvo de pesquisas e diversas aplicações (HINRICHS et. al, 2011). A energia solar radiante, por exemplo, é utilizada para o aquecimento de ambientes, água e piscinas, para a produção de eletricidade por meio de células solares e geradores de calor.

Graças a esta ampla gama de aplicações bem sucedidas e por apresentar baixo impacto ambiental, neste trabalho será construído um concentrador solar biangular de doze lados para aquecer de forma direta o solvente que será empregado na obtenção de óleo pelo processo de lixiviação de sementes empregando álcool anidro como solvente. Esta geometria foi proposta, devido a sua maior facilidade de construção utilizando materiais recicláveis, uma vez que ansiava pela forma parabólica.

Além disso, será feita uma comparação entre o rendimento de óleo extraído no concentrador solar e aquele proveniente do método convencional, usando um extrator do tipo Soxhlet.

Vale ressaltar também que a semente utilizada para os testes foi escolhida por apresentar alto teor de óleo, aproximadamente 40%, e por possuir uma forma de cultivo não muito exigente. Representando, assim, uma alternativa bastante promissora para a produção de biodiesel, que, por sua vez, trata-se de uma fonte de energia renovável.

REVISÃO TEÓRICA

ENERGIAS RENOVÁVEIS

A devastação das florestas, as inundações de amplas áreas para a formação de represas hidrelétricas, além dos problemas ambientais ocasionados pela produção de subprodutos indesejáveis na queima de combustíveis, vêm fazendo com que o homem invista sua inteligência e criatividade para obter formas alternativas de energia (BRANCO, 2012).

As formas que categorizam as fontes energéticas renováveis são: eólica, solar, hídrica, biomassa e geotérmica. Para os países em desenvolvimento, em especial, os recursos de energias renováveis proporcionam uma série de vantagens, já que grande parte das taxas de desenvolvimento econômico é afetada pelos altos custos de energia (HINRICHS et al., 2011).

Segundo Hinrichs et al. (2011), as fontes renováveis equivalem a aproximadamente 8% da energia mundial e ao incluir todos os usos de biomassa essa porcentagem aumenta para 22%. Na década de 1990, houve um crescimento, na Europa, de 37% ao ano em relação à utilização de energia eólica, enquanto que a energia fotovoltaica e a hidrelétrica seguem com um aumento de 24% e 17% ao ano no mundo, respectivamente (HINRICHS et al., 2011).

Como energia é fonte de vida, o uso da bioenergia vem crescendo bastante. Há um aumento na preocupação sobre a preservação da civilização humana em um planeta sadio, com a natureza em equilíbrio, denominada biocivilização. Portanto, deve-se reduzir o crescimento econômico desequilibrado e desigual e preferir ao desenvolvimento social, econômico e ambiental sustentável (VECCHIA, 2010).

Segundo Vecchia (2010), o Brasil reúne o maior número de vantagens no processo de crescimento e desenvolvimento sustentável no setor energético, visto que é possuidor de uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo. Possui o domínio tecnológico sobre a cana de açúcar (produção de etanol e eletricidade), tem ampla disponibilidade de terras agrícolas, água em abundância, clima tropical propício, além de estar situado em um local onde não há grande variação da incidência de raios solares durante o ano (fator importante para utilização da energia solar). Deste modo, é possível moldar o futuro e governar o país ao papel de líder mundial em programas de energia renovável não poluente.

ENERGIA SOLAR

O Sol é uma das fontes de energia não poluente e praticamente inesgotável na Terra. Seu uso direto é vantajoso para atender as necessidades energéticas humanas atuais, pois não há introdução de energia adicional no sistema permanecendo inalterado o equilíbrio térmico da Terra. Mas, sua forma direta é inconveniente para transportes, como veículos rurais e outras aplicações não industriais, então as formas indiretas representam uma alternativa considerável para este fim (PALZ, 2002; BEZERRA, 1998).

A biomassa, transformada em gás ou álcool; o hidrogênio, produzido por eletricidade solar ou pela dissociação solar da água; as baterias químicas recarregadas por eletricidade solar; a energia eólica; o fenômeno da fotossíntese e até as fontes não renováveis são alguns exemplos de formas indiretas de energia solar (PALZ, 2002; BEZERRA, 1998).

Os sistemas de conversão de energia solar podem ser divididos em três grandes categorias:

- Conversão direta para aquecimento: aquecimento de água, de ambientes, secagem de alimentos e materiais, cozinha, aquecimento industrial, incluindo vapor e fornos solares;
- Conversão com etapa termodinâmica intermediária: destilação de água, refrigeração, potência mecânica ou produção de eletricidade a partir do calor;
- Conversão direta para eletricidade: conversão fotovoltaica, fotoemissão etc

Através da figura 1 é possível observar as utilidades da energia solar de forma mais sucinta.

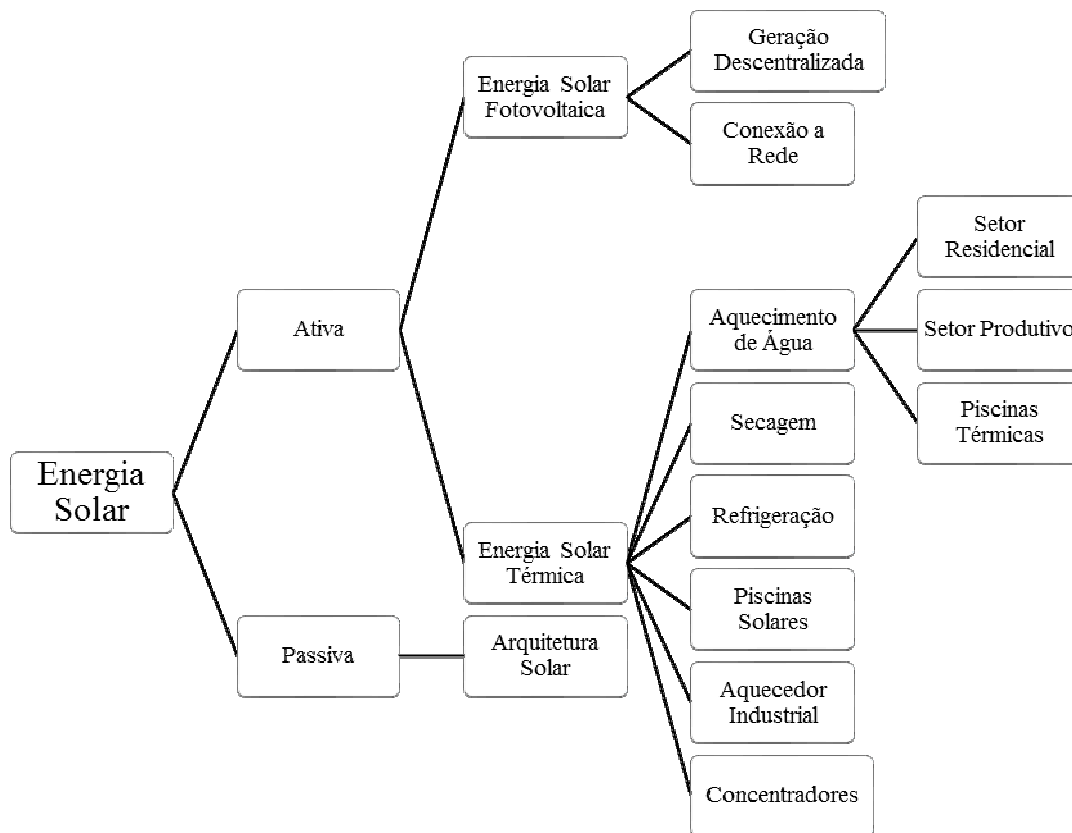


Figura 1: Utilidades da Energia Solar

Características da Radiação Solar Incidente

A fusão dos núcleos de hidrogênio em núcleos de hélio é a reação nuclear predominante no Sol, a qual é responsável pela energia emitida pelo mesmo. À medida que a matéria é convertida em energia, essas reações liberam cerca de quatro bilhões de quilos de matéria por segundo (HINRICHS et al., 2011).

Segundo Guimarães (2003) *apud* Pereira (2010), aproximadamente 7% da radiação é ultravioleta ou de comprimento de onda curto, 47% está na região visível e 46% é infravermelha ou de comprimento de onda longo, como é possível observar na **figura 2**. Porém, a superfície terrestre recebe apenas metade dessa radiação, pois grande parte da radiação UV é absorvida pelo oxigênio, nitrogênio e ozônio existentes na atmosfera superior e parte da radiação de comprimento de onda longo é absorvida pelo vapor de água e pelo dióxido de carbono da atmosfera inferior do planeta (HINRICHS et al., 2011).

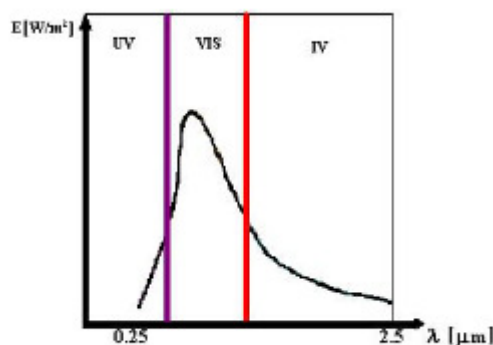


Figura 2: Incidência de Radiação Solar
Fonte: SPES (1996) *apud* Pereira (2010)

A quantidade de radiação solar que chega a Terra, chamada de insolação, é formada de um feixe direto do Sol, de uma componente difusa (difundidas pelas nuvens) e de uma componente refletida (difundida a partir do solo), como mostra a **figura 3** (HINRICHS et.al., 2011).

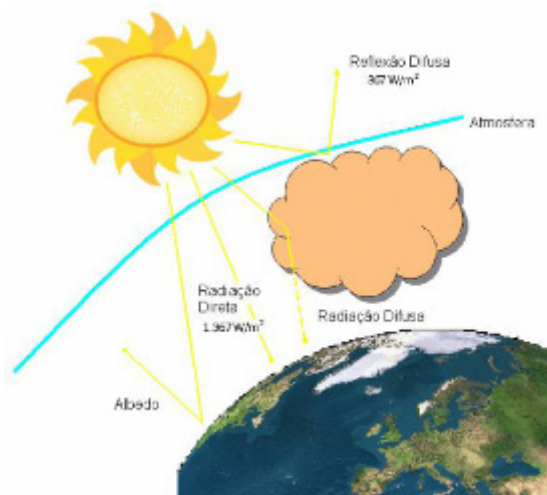


Figura 3: Componentes da radiação solar
Fonte: Projeto ALTENER (2004) *apud* Pereira (2010)

Conforme Hinrichs et. al. (2011), a média anual de energia solar que incide a superfície terrestre diariamente varia de $6800 \text{ kJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ a $2300 \text{ kJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ no norte da Europa e nas regiões áridas próximas ao Equador, respectivamente. Portanto, além da interferência das condições atmosféricas (umidade relativa do ar, nebulosidade, etc.), há também a influência da latitude local e da posição no tempo, ou seja, hora do dia e dia do ano. Isso ocorre devido ao movimento de rotação e translação da Terra. Assim, as variações da durabilidade solar do dia são mais intensas em latitudes mais elevadas, como nas regiões polares e nos períodos de solstício, enquanto que o oposto acontece próximo à linha do Equador e durante os equinócios.

Como o eixo de rotação da Terra possui uma inclinação fixa de $23^{\circ} 45'$ em relação ao seu eixo de translação, em certas épocas do ano, a luz solar incide com maior intensidade sobre o hemisfério norte, enquanto que na outra parte do ano isso ocorre no hemisfério sul, fenômeno conhecido como solstício. Segundo Duffie e Beckman (1980) *apud* Prado (2011), este ocorre quando a projeção do eixo da Terra sobre o plano da órbita terrestre elíptica coincide com a linha que une os centros da Terra e do Sol e o ângulo entre os raios do Sol e o Equador é máximo, atingindo aquele existente entre o eixo de rotação e translação da Terra. Isto acontece duas vezes por ano, em junho, onde o Sol estará sobre o Trópico de Câncer e em dezembro sobre o Trópico de Capricórnio (PRADO, 2011).

Quando a luz solar incide de forma igual sobre os dois hemisférios denomina-se equinócio. Isto ocorre devido à projeção do eixo da Terra sobre o plano da órbita terrestre estar perpendicular à linha que conecta os centros da Terra e do Sol, sendo nulo o ângulo entre os raios solares e o Equador. Observa-se este fenômeno ao longo do ano, em Março e Setembro (PRADO, 2011).

Deste modo, o território brasileiro possui uma grande vantagem para utilizar esta forma de energia por todo o ano, uma vez que está localizado próximo à linha do Equador e então não se observam variações significativas na duração solar durante o dia.

Princípios físicos da conversão da radiação solar em calor

A fim de estudar as características essenciais da radiação térmica, convém considerar um corpo ideal no intuito de evitar as complicações relacionadas com a natureza específica do material. É denominado corpo negro e definido como absorvedor ideal aquele que absorve toda a radiação que recebe, sem perdê-la por meio da reflexão. O emissor ideal é o corpo que emite a maior potência por unidade de área para uma dada temperatura. Portanto, possuem a maior taxa de absorção e o mais alto coeficiente de emissão para todos os comprimentos de onda (PALZ, 2002).

Um corpo cuja superfície é preta e fosca possui características bem próximas de um corpo negro. Contudo, este também pode ser brilhante e colorido caso a temperatura seja alta, como é o caso das estrelas, que são frequentemente aproximadas pelos Astrônomos. Por exemplo, o Sol emite radiação como um corpo negro cuja temperatura superficial está por volta de 5700°C, correspondendo a uma emissão máxima de 0,5 μm . À temperatura ambiente, um corpo negro é capaz de emitir radiação com um máximo próximo de 10 μm , que está dentro do espectro da luz infravermelha invisível (PALZ, 2002).

O processo geral para conversão de calor corresponde ao efeito estufa, cujo nome provém de sua primeira aplicação em estufas no cultivo de plantas exóticas em climas frios. Essas estufas eram ambientes próprios para aproveitar melhor a luz solar disponível (PALZ, 2002).

Deste modo, o vidro que é relativamente transparente à luz visível, absorve a luz infravermelha emitida pela chapa negra ao liberar energia térmica. A luz infravermelha absorvida pelo vidro é reemitida em todas as direções: metade é emitida para o exterior e perdida; a outra metade é reemitida para a chapa negra que a absorve de novo. Mais e mais calor é acumulado na chapa negra, cuja temperatura vai aumentando. Atinge-se o equilíbrio quando a energia ganha pela absorção de luz visível é exatamente equilibrada pela perda de energia por emissão infravermelha da chapa de vidro. Com a elevação da temperatura, o comprimento de onda da emissão, torna-se mais curto. A 200°C, a radiação máxima é emitida a cerca de 6 μm , em comparação com 10 μm à temperatura ambiente. Finalmente, cerca de 500°C, a maior parte da radiação seria emitida a 4 μm , cujo comprimento de onda o vidro é parcialmente transparente para o infravermelho (PALZ, 2002).

História do Aquecimento Solar

A utilização da energia solar para o aquecimento é um assunto bem remoto. Em 212a.C., Arquimedes usou espelhos para direcionar os raios solares e atacar uma frota, ocasionando um incêndio a algumas centenas de pés. Há mais de mil anos, os índios Anasazi, edificaram suas casas ao lado de penhascos com o intuito de usar a baixa altitude do Sol para aquecê-las no inverno. Lentes e espelhos foram utilizados, nos séculos XVII e XVIII por cientistas, a fim de derreter metais. Antoine Lavoisier (1743-1794) conseguiu alcançar uma temperatura de 1700°C, usando o Sol como fonte energética. Atualmente, uma das fornalhas mais potentes, cuja luz solar é concentrada em 1775 espelhos, atinge temperaturas de aproximadamente 2200°C e foi capaz de derreter uma placa de aço com um quarto de polegada de espessura em dois minutos (HINRICHS, et.al., 2011).

De acordo com Filho (2011), Horace de Saussure, considerado o avô da energia solar, construiu uma pequena caixa solar com a finalidade de cozinhar alimentos. Chegou a uma temperatura de 88°C em um fogão solar do tipo caixa primitivo, composta por duas caixas de madeira de pinho, uma acoplada a outra, isoladas com lã e três coberturas de vidro, como é possível observar na **figura 4**.

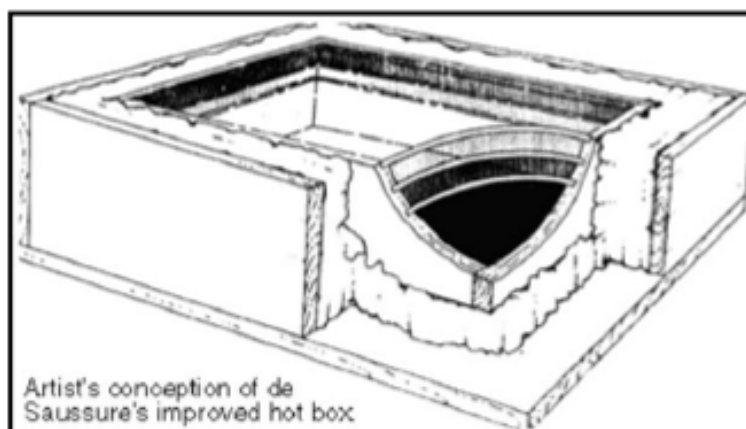


Figura 4: Caixa solar construída por Horace de Saussure
Fonte: Filho (2011)

O século XIX foi marcado por importantes invenções no campo do fogão solar, sendo que em 1830 o astrônomo britânico John Herschel construiu e desfrutou de uma cozinha solar durante sua viagem ao sul da África; Mouchot, em

1860, cozinhou alimentos através do foco de um refletor curvado e em 1881, Samuel P. Langley usou uma cozinha solar enquanto subia ao monte Whitney, situado nos Estados Unidos.

Porém, como no século XX houve uma utilização excessiva dos combustíveis fósseis, as técnicas naturais caíram no esquecimento e voltaram somente quando começaram a surgir preocupações sobre os problemas ambientais (FILHO, 2011).

Segundo Filho (2011), o estudo de fogões solares no Brasil teve início na década de 80, cujo pioneiro Prof. Arnaldo Moura Bezerra construiu vários tipos de fogões no Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba, além de utilizar diversos tipos de materiais para a superfície refletora dos parabóides.

PROCESSOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

O calor pode ser conduzido por meio de três processos: condução, convecção e radiação.

Condução

A condução é a transferência de calor de molécula a molécula através de um corpo, podendo ser considerada como transporte molecular de energia. O fluxo se dá do mais quente ao mais frio, até que estes cheguem ao equilíbrio (BIRD et al., 2010).

Convecção

A convecção ocorre devido à diferença de massas específicas entre a parte do fluido mais fria (mais densa) e mais quente (menos densa). O fluido mais quente sofre ação do empuxo, fazendo com que este se desloque para regiões mais altas, que era preenchido pelo líquido frio. Esse processo gera as chamadas correntes de convecção responsáveis em manter o fluxo de fluido entre a vizinhança e a região sujeita ao aquecimento, quando a massa específica de um fluido reduz na região exposta ao aquecimento.

Quando calor é transferido pela circulação de fluidos devido às mudanças de densidade induzidas pelo próprio calor, então o processo é conhecido como convecção natural. Enquanto que se a transferência de calor ocorrer devido a outras forças, como através de uma bomba, por exemplo, este é denominado como convecção forçada (INCROPERA; DEWITT, 2008).

Radiação

A radiação consiste em um mecanismo eletromagnético que admite o transporte de energia com a velocidade da luz mesmo em regiões do espaço desprovidas de matéria. A taxa de transporte entre dois corpos “negros” no vácuo é proporcional à diferença da quarta potência de suas temperaturas absolutas. Esse mecanismo é qualitativamente diferente dos demais e corresponde ao principal processo de troca de energia entre a Terra e o Sol (BIRD et al., 2010; PEREIRA, 2010).

No caso do coletor solar, cujo Sol é utilizado como fonte de aquecimento. O recipiente absorvedor é aquecido por radiação, podendo perder calor para o ambiente por convecção. Se o recipiente absorvedor for utilizado para aquecer alimentos ou um fluido, haverá uma transferência de calor por condução, que se for adicionado calor constantemente, o choque entre as moléculas será favorecido.

CONCENTRADORES SOLAR

Os concentradores solares são dispositivos capazes de captar a radiação solar e conduzi-la a um fluido, para uma posterior utilização. Os primeiros indícios apareceram em 1769, quando De Saussure dispôs 5 caixas de vidro, umas dentro das outras, conseguindo alcançar uma temperatura de 160°C na caixa mais interior, que foi capaz de assar frutas e destilar água. Em 1837, Sir John Herschel posicionou duas chapas de vidro sobre areia e obteve uma temperatura de 120°C que utilizou para cozer ovos, frutas e carnes (PALZ, 2002).

Sua base de funcionamento é apoiada nas leis de reflexão e de refração em que espelhos ou lentes, que direcionam a luz para um foco linear ou pontual, onde está localizado um tubo receptor, geralmente pintado de preto fosco.

Há duas formas de utilizar um equipamento solar de aquecimento: de forma passiva e de forma ativa. O funcionamento de um equipamento solar de aquecimento de água passivo baseia-se na incidência da luz solar sobre um painel pelo qual circula o fluido, como por exemplo, painéis cobertos de vidro por onde passam tubos metálicos, conhecidos como coletores. Para regiões onde o clima é frio, um sistema ativo é mais apropriado, uma vez que utilizam bombas que movimentam o líquido, passando por trocadores de calor (GOLDEMBERG; LUCON, 2011).

De acordo com Goldemberg e Lucon (2011), os coletores solares são classificados de acordo com a temperatura que alcançam:

- Piscina solar: até 100°C;
- Coletor plano negro: até 120°C acima da temperatura ambiente;
- Coletor plano seletivo: até 200°C acima da temperatura ambiente;
- Coletor plano com tubulação sob vácuo, coletor cilindro parabólico: até 260°C acima da temperatura ambiente;
- Limite prático dos sistemas de captação central: até 3500°C.

A emissividade dos geradores solares, ou seja, a radiação solar não convertida irradiada de volta como infravermelho depende do material de encapsulação dos painéis solares. Esta pode ser ajustada usando diferentes espécies de plásticos, vidros e metais a fim de que o equilíbrio permaneça praticamente inalterado (PALZ, 2002). Seu desempenho depende também do clima, hora e local onde está situado.

Concentradores de Foco Linear

Os concentradores de foco linear são aqueles cuja seção de reflexão dos raios solares corresponde ao segmento de cone, cilindro ou com o perfil de parábola em extrusão. Esses modelos de refletores concentram a energia solar formando um foco de forma linear.

Concentradores Cônicos

Segundo Dib (2008), os concentradores cônicos possuem o formato de um cone, em que o ângulo de abertura pode ser modificado. O foco de reflexão dos raios solares se localiza em uma região centralizada e alinhada próximo ao vértice do cone. O **figura 5a** representa o concentrador de abertura de 45°, em que o foco se localiza entre o vértice e a linha b-c. Já no concentrador de abertura de 30°, **figura 5b**, o foco se encontra entre o vértice e o cruzamento da linha b-c e d-e.

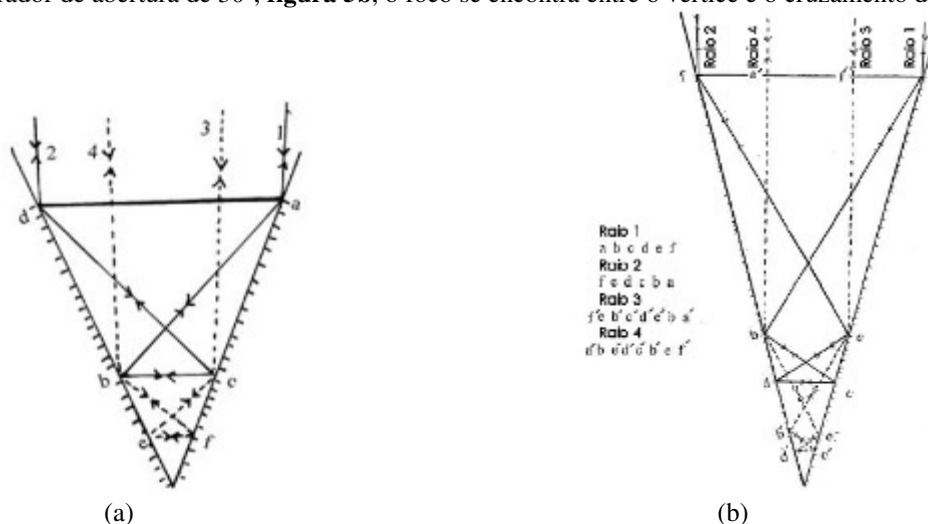


Figura 5: Representação dos raios solares no cone de abertura de (a) 45° e (b) 30°

Fonte: Dib (2008)

Sharaf (2002) *apud* Dib (2008) realizou testes de aquecimento de óleo e mediu sua temperatura após 20 minutos de aquecimento, observou-se que para o concentrador com abertura de 30° o fluido alcançou 135°C, enquanto que aquele de abertura de 45°, alcançou 150°C. Mesmo que esse modelo apresente diversas vantagens para o uso em pequenas dimensões, como alta eficiência, facilidade na fabricação, baixo peso e custo, em sua obra alega-se que a cada 30 minutos há a necessidade de redirecioná-los para o sol devido ao movimento de rotação da Terra.

Concentradores Parabólicos Cilíndricos

A superfície refletora de um concentrador parabólico cilíndrico reflete a radiação solar direta, concentrando-a sobre um tubo absorvente situado na linha focal da parábola. A radiação solar é convertida, então, em energia térmica na forma de calor sensível ou latente de fluido, fazendo com que o fluido contido no tubo se aqueça ou mude de fase. A **figura 6** representa um protótipo deste tipo de concentrador solar.

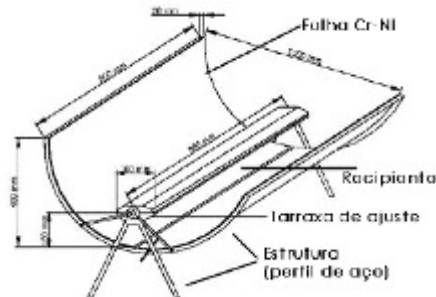


Figura 6: Protótipo de um concentrador solar parabólico cilíndrico
Fonte: Filho (2008)

SOUZA (2005) *apud* Filho (2008) estudou a relação da vazão do fluido com a temperatura alcançada. Para uma vazão de 28,6 L/h com superfície refletora de 3,0 m² de área, formada por um filme de polietileno, obteve-se uma temperatura de aproximadamente 50°C, enquanto que para uma vazão de 8 L/h, alcançou-se uma temperatura de 85°C.

Concentradores de Foco Pontual

Os concentradores de foco pontual são aqueles que concentram energia solar formando um foco pontual. Estão representados por concentradores, cuja seção refletora dos raios solares possui um perfil parabólico em revolução.

Concentradores Parabólicos

Em 1998, ABOU-ZIYAN, *apud* Dib (2008) relacionou um concentrador solar parabólico com um fogão solar tipo caixa. O concentrador parabólico usado (**Figura 7**) foi do tipo tradicional, ou seja, a seção da paráboloide continha o vértice da parábola como o centro, seguindo a Equação (1):

$$y^2=2fx \quad \text{equação (1)}$$

onde y é o valor no eixo das ordenadas; f é a função e x são os valores no eixo das abscissas. Sua superfície de reflexão foi feita de aço inox com refletividade de 0,75 e seu diâmetro máximo foi de 113 cm.

ABOU-ZIYAN (1998) *apud* Dib (2009) testou também o fogão solar tipo caixa, cujas dimensões internas de 35 cm x 35 cm x 10 cm e com uma placa de alumínio pintada de preto de 25 x 25 cm no seu interior. Ao comparar o fator de concentração, o concentrador parabólico obteve um resultado entre 2 e 6 vezes superior ao fogão tipo caixa. Ao realizar testes com aquecimento de água e no cozimento de alguns alimentos, como ovo e arroz, o fogão parabólico demonstrou, também uma velocidade superior ao tipo caixa.

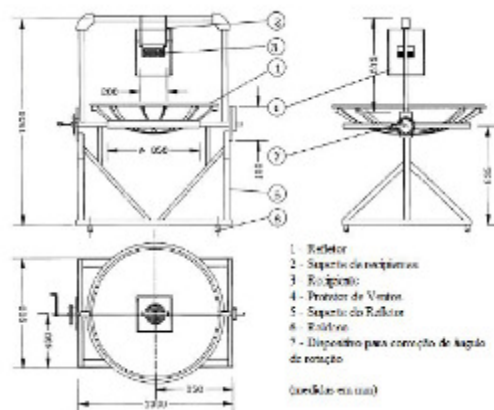


Figura 7: Configuração de um concentrador parabólico
Fonte: Dib (2009)

Além disso, ABOU-ZIYAN (1998) *apud* Dib (2009) avaliou os fatores que podem afetar a eficiência do concentrador parabólico. Realizou testes em dias ensolarados e nublados, com diferentes velocidades do vento sobre o suporte onde estava o foco, protegendo e não protegendo da ação do vento. Com isso, chegou à conclusão de que o fator que mais interfere na eficiência do concentrador parabólico é a ação do vento, pois com protetor contra o vento, a temperatura da água não ultrapassou 83°C para uma velocidade igual a 6 m/s, enquanto que sem o protetor, a temperatura da água não ultrapassou 83°C para uma velocidade do vento igual a 3 m/s.

Concentradores Parabólicos de Foco Fixo

O concentrador parabólico de foco fixo possui geometria de um segmento lateral de uma parabolóide, como é possível observar na **figura 8**. Scheffler (2006) *apud* Dib (2009) desenvolveu este tipo de concentrador e definiu que este deve se movimentar de acordo com o movimento do Sol para que possa ser mantido o foco sempre no alvo desejado. O eixo de referência é fixado de forma a ficar paralelo ao eixo polar da Terra, o que significa que o ângulo de latitude do local de montagem é o ângulo entre o solo e o eixo de referência e deverá ser direcionado de frente ao norte ou ao sul, dependendo do hemisfério do local de utilização.

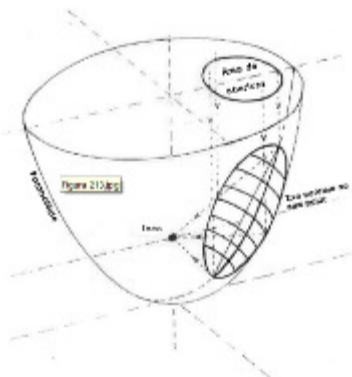


Figura 8: Representação de um Concentrador Parabólico de Foco Fixo
Fonte: Dib (2009)

Segundo Dib (2009), Tyroller desenvolveu, em 2005, um sistema de autoclave utilizando o concentrador solar de foco fixo, onde o foco do concentrador solar foi direcionado a uma caixa com um bloco de aço de 260 kg com uma serpentina interna, local apropriado para geração de vapor, levando-o ao interior de uma caixa de 76 litros, a fim de esterilizar os equipamentos. Observou-se a hibridação do sistema, pois em dias nublados, funcionava na forma tradicional de autoclave, ou seja, alcançando uma temperatura de 121°C. No entanto, o autor ansiava aumentar a eficiência e fornecer um sistema que armazenasse energia na forma de vapor pressurizado. Seu concentrador elevou a temperatura do vapor superaquecido a mais de 500°C, e, portanto, obteve um resultado bem sucedido que possibilitava fazer a esterilização durante todo o dia.

EXTRATOR DO TIPO SOXHLET

Ao se colocar duas fases de composições diferentes em contato, há uma tendência natural de ocorrer uma transferência de componentes, a fim de minimizar essa diferença de concentração entre os sistemas. A transferência de massa pode advir do movimento ao acaso de moléculas em fluidos estagnados ou a partir de uma superfície para um líquido em movimento. (BIRD et al., 2010)

A diferença de composição das fases em equilíbrio compreende a base física de um processo de separação, uma vez que na maioria desses processos as fases são parcialmente miscíveis, ou seja, no equilíbrio há ainda duas fases que podem ser separadas.

Dentre os processos de separação destacam-se a destilação, adsorção, absorção e a extração. Para se obter aquele que seja economicamente mais atrativo é necessário considerar alguns fatores como: as exigências de energia, o custo e a disponibilidade dos materiais de processo e de construção, além da integração das etapas no processo químico global.

A extração de óleo de um material biológico utilizando solvente é um processo de transferência de constituintes solúveis (o óleo) de um material inerte para o solvente em questão. Estes processos são simplesmente físicos, uma vez que o óleo transferido para o solvente é recuperado sem reação química (BRUM et al., 2009).

Em 1879, Franz von Soxhlet desenvolveu o primeiro aparelho para extração dos lipídios em matrizes graxas, ressaltando, também, a importância do grau de trituração da amostra quanto ao tempo e eficácia do processo. Neste processo, há três etapas principais que devem ser consideradas: a penetração do solvente no tecido; a formação de uma miscela intracelular e, a difusão do extrato na miscela externa. Sua essência está no tratamento sucessivo e intermitente da amostra imersa em um solvente puro aquecido dentro do balão situado na base do aparelho (BRUM et al., 2009).

Para os casos em que o composto puro é parcialmente solúvel em um solvente e as impurezas não, este método é bem útil. Após secar e moer a amostra em pequenas partículas, esta é colocada em um filtro de celulose poroso ou de papel. Então, o filtro é colocado na câmara de extração, localizada acima do balão que contém o solvente e abaixo de um condensador. O balão é aquecido e, por consequência, o solvente evapora-se e se move, na fase gasosa, em direção ao condensador, onde é convertido em um líquido que goteja no filtro contendo a amostra. A câmara de extração é projetada de modo que, quando o solvente em torno da amostra for superior a altura máxima do sifão, o líquido transborda para o balão onde é aquecido, e novamente evapora, completando o ciclo. No término do processo de extração, retira-se o solvente antes de atingir a altura máxima do sifão e o óleo é concentrado no balão. Determina-se a massa e o percentual de óleo na amostra.

O método de Soxhlet possui várias vantagens como o fato de que a amostra fica sempre em contato com o solvente, gerando sua constante renovação; o sistema se mantém à uma temperatura relativamente alta, já que o calor inserido no processo de evaporação é constante, além de ser uma metodologia muito simples que não solicita treinamento especializado e que também permite a extração de uma maior quantidade de óleo em relação a outros métodos, sem que haja a necessidade de filtrar a miscela após o término da extração, pois a amostra permanece envolta no cartucho durante todo o procedimento (BRUM et al., 2009).

PINHÃO MANSO

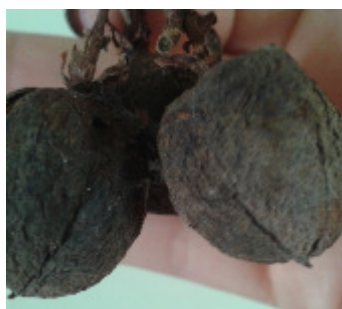
O Pinhão Manso (*Jatropha curcas*), também conhecido como pinhão-paraguaio ou pinhão de purga, dentre outros nomes populares, pertence à família das Euforbiáceas. Pode ser considerada uma das mais promissoras oleaginosas para a substituição do diesel de petróleo, uma vez que seu cultivo não é muito exigente. Além disso, possui alta resistência a doenças e, por segregarem látex cáustico das folhas arrancadas ou feridas, os insetos não o atacam.

Constitui um arbusto grande, de crescimento rápido, cuja altura normal varia de dois a cinco metros, dependendo das condições de cultivo. Possui raízes curtas com ramificações escassas, caule liso, o diâmetro do tronco é de aproximadamente 20 cm e floema com longos canais que se estendem até as raízes, onde circula o látex. Suas folhas são verdes, esparsas e brilhantes, largas e alternas, em forma de palma com três a cinco lóbulos e pecioladas, com nervuras esbranquiçadas e salientes na face inferior. A mesma planta possui flores masculinas nas extremidades das ramificações e femininas nas ramificações (floração monoica). (ARRUDA *et al.*, 2004). A **figura 9** representa o arbusto em que foram colhidas as sementes utilizadas neste trabalho.

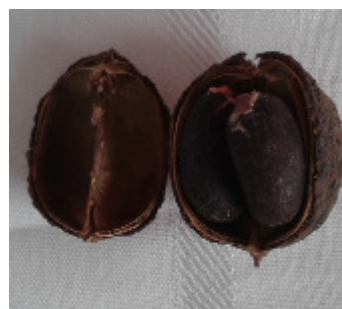
O diâmetro do fruto varia de 1,5 a 3,0 cm. É capsular ovoide, trilobular, cuja cada cavidade armazena uma semente, formado por um pericarpo indeiscente inicialmente verde atingindo uma coloração preta em seu estágio de maturação, como é possível observar na **figura 10**. Segundo Arruda et al. (2004), este fruto contém de 53 a 62% de sementes e de 38 a 47% de casca, com um peso variando de 1,53 a 2,85 g.



Figura 9: Pinhão Manso na estação seca



(a)



(b)

Figura 10: Frutos do Pinhão Manso em estágio de maturação (a) cápsula ovoide, (b) cavidades contendo as sementes.

A semente, quando seca, mede 1,5 a 2,0 cm de comprimento e 1,0 a 1,3 de largura (**Figura 11**). Possui tegumento rijo, quebradiço e de fratura resinosa. Após seu invólucro, há uma película branca cobrindo a amêndoa, contendo grande quantidade de albúmen branco, oleaginoso e o embrião que é provido de dois largos cotilédones achatados. Esta semente pesa em torno de 0,551 a 0,797 g, pode ter de 33,7 a 45% de casca e 55 a 66% de amêndoa, dependendo da variedade e dos tratamentos culturais (ARRUDA *et al.*, 2004). Na literatura, a composição da semente apresenta cerca de 7,2% de água; 37,5% de óleo e 55,3% de açúcar, amido, albuminoides e materiais minerais, sendo que destes 55,3%, cerca de 4,8% são de cinzas e 4,2% de nitrogênio. De acordo com Silveira (1934) *apud* Arruda *et al.* (2004), cada semente possui 27,90 a 37,33% de óleo sendo que na amêndoa se encontra de 5,5 a 7% de umidade e 52,54 a 61,72% de óleo.



Figura 11: Sementes de Pinhão Manso

MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo serão expostos os materiais e métodos utilizados para a construção de um concentrador solar biangular de doze lados. Também serão apresentadas técnicas de extração sólido-líquido, bem como uma sucinta comparação entre elas, além de uma concisa técnica de filtração necessária para determinadas análises nos testes.

MATERIAIS

Os materiais empregados na construção do concentrador foram: papelão, papel laminado, fita adesiva, cola, barbante e tesoura. Para realizar os testes foi utilizado um recipiente de metal galvanizado de 20 cm de comprimento e diâmetro de 6 cm, cujo interior foi preenchido com partículas de pinhão manso e álcool anidro.

Duas garrafas PET cortadas ao meio foram utilizadas para envolver o recipiente a fim de protegê-lo contra o principal fator que influencia no desempenho do coletor solar, o vento. Com isso, as perdas de calor para o ambiente por convecção são reduzidas, além de gerar o processo geral de conversão de calor, denominado efeito estufa.

No intuito de validar sua eficiência térmica e comprovar que o solvente alcançou e conservou-se a temperaturas elevadas durante o processo de extração, foi acoplado um termômetro de mercúrio no tubo de metal galvanizado envolto com as garrafas.

Foi necessário preparar a amostra antes de iniciar os testes. Para isso, utilizou-se um liquidificador industrial, uma estufa, béqueres, peneira ($d < 1$ mm) e uma balança semi analítica. Após a extração foi necessário filtrar a amostra,

utilizando um funil de Büchner, papel filtro, mangueira de silicone para fazer a ligação entre o kitassato e uma bomba a vácuo.

E, por fim, um extrator do tipo Soxhlet para determinar a quantidade de óleo presente na amostra e fazer uma comparação entre os métodos.

CONSTRUÇÃO DO COLETOR SOLAR

Para a construção do concentrador solar, foi proposta uma geometria próxima a de uma parábola e, para o cálculo do ponto de concentração de radiação solar de ambas as geometrias, foi utilizado a metodologia desenvolvido por Prado et al. (2012), que consiste nas seguintes etapas:

A) Define-se a função matemática “f(x)”, em um plano cartesiano, representando a curva responsável pela geração da estrutura do coletor (função geradora);

B) No ponto “P”, cujas coordenadas (xp;yp) são conhecidas, é necessário o determinar as retas “t” e “n”. A reta “t” é aquela que tangencia o ponto “P”, representada pela Equação (2), enquanto que a reta “n” é perpendicular à reta “t” no ponto “P”, podendo ser calculada a partir da Equação (3). E por fim, faz-se a incidência do raio solar, representado pela reta “i” e pela Equação (4):

$$y - y_p = f'(x_p) (x - x_p) \quad \text{equação (2)}$$

$$y - y_p = (-1)/(f'(x_p)) (x - x_p) \quad \text{equação (3)}$$

$$x = x_p \quad \text{equação (4)}$$

C) Através da Equação (5), é possível calcular o ângulo que a reta “i” faz com a normal “n”, denominado de “θ”:

$$\theta = 90^\circ + \arctg((-1)/(f'(x_p))) \quad \text{equação (5)}$$

D) Para determinar a reflexão do raio de incidência da reta “i”, utiliza-se a Equação (6), representada pela reta “r”:

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

E) Finalmente, o ponto focal “F” de interesse estará sobre o eixo “y” onde a reta “r” o intercepta, em que a ordenada “yF” é dada pela Equação (7):

$$y_F = y_p - \text{tg}(90^\circ + 2\theta) x_p \quad \text{equação (7)}$$

Através da figura 12 é possível verificar a determinação do ponto focal, seguindo as etapas mencionadas, de forma gráfica.

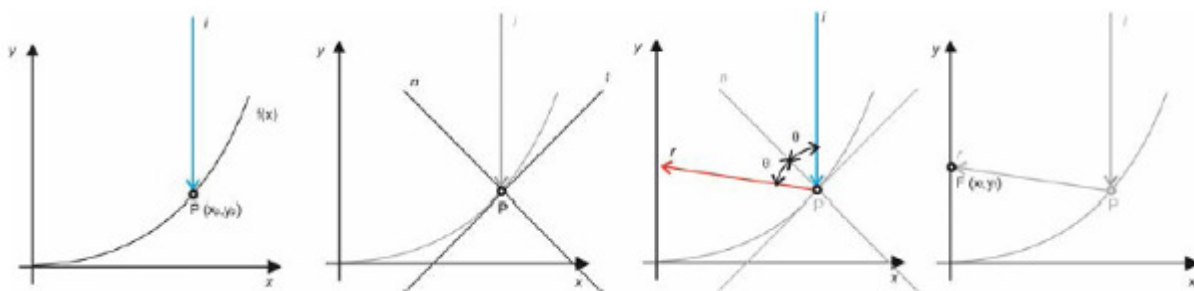


Figura 12: Representação gráfica para a determinação do ponto focal

É importante ressaltar, que seguindo este procedimento é possível determinar os pontos focais de qualquer tipo de curvatura.

Para a construção do concentrador solar, primeiramente, cortou-se 12 pedaços retangulares de 24 cm x 61 cm cada e, em seguida, foi traçada a forma mostrada pela figura 13 em cada painel de papelão. Após o corte, dobrou-se o papelão a 24 cm de distância da extremidade de menor dimensão e feito um furo em cada uma das abas no terminal estreito do painel, como é possível observar na figura 14.

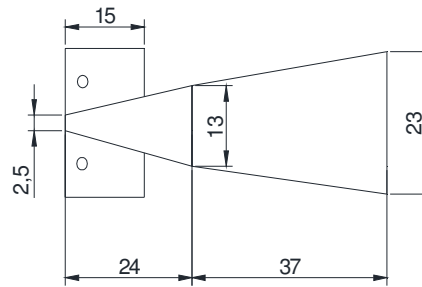


Figura 13: Dimensões dos lados do coletor solar



Figura 14: Corte de papelão da lateral do coletor solar

Os painéis foram dispostos lado a lado e presos por uma fita, aproximando a forma de um anel. Em seguida, colou-se a folha de alumínio na superfície interna de todos os lados do equipamento. A fim de manter os painéis juntos, passou-se a linha através dos furos feitos nas abas na parte mais baixa do final do coletor, como é possível observar na figura 15a. A figura 15 também apresenta a vista lateral (b) e frontal (c) do coletor solar biangular.

Uma extremidade do recipiente utilizado para o aquecimento do líquido foi soldada, enquanto que a outra levou uma rosca para adicionar o líquido. No intuito de fixar o recipiente de metal no ponto de concentração dos raios solares, um suporte de metal foi soldado de forma vertical no tubo e, por fim, tingido de preto a fim de aumentar sua eficiência. A figura 16 mostra o recipiente descrito.

Foi feita uma abertura com diâmetro de aproximadamente 0,5 cm na parte superior do tubo, a fim de acoplar um termômetro para fazer as devidas leituras de temperatura. Após o término da construção do aparato, o recipiente de metal foi disposto no orifício do concentrador solar e, então, levado a um local em que havia incidência de raios solares.



(a)



(b)



(c)

Figura 15: Coletor solar biangular de doze lados: (a) construção; (b) vista lateral e (b) vista frontal.



Figura 16: Recipiente e suporte de metal

As coletas das amostras foram realizadas em maio e junho de 2014 em Miguelópolis/SP e a preparação desta foi feita no Laboratório de Química F3 da UFTM.

Primeiramente, as sementes foram moídas em um liquidificador e, em seguida, parte da amostra foi seca em uma estufa com circulação de ar, por um período de 24 horas a uma temperatura de 105°C. Logo após, parte da amostra foi peneirada utilizando uma peneira com diâmetro de cerca de 1 mm. A umidade inicial da amostra foi obtida por gravimetria, pesando a amostra antes e depois de passar pelo processo de secagem na estufa. Utilizou-se também a semente úmida moída para detectar a influência da água neste processo de extração.

Os experimentos de extração convencional foram realizados no Laboratório de Química F3 da UFTM. Para a extração do óleo foi usado o extrator do tipo Soxhlet, utilizando o álcool anidro (99,3%) como solvente orgânico, segundo a metodologia de extração exposta por Cavalcante et al. (2011), definida pelas seguintes etapas:

1. As amostras moídas foram colocadas no interior de um cartucho, cuja massa já havia sido determinada e, em seguida, o conjunto foi pesado e introduzido de forma adequada ao extrator Soxhlet;
2. Foram adicionados 150 mL de álcool anidro, e então, a circulação de água foi ligada para condensar o solvente e evitar perda significativa do mesmo, mantendo seu volume constante;
3. Concluído o período de extração de 4 horas, a mistura contendo óleo e solvente continuou sendo aquecida até que cessasse a evaporação do solvente, sem que este retornasse a amostra, com o propósito de separá-lo do óleo;
4. O balão foi levado até a estufa a 100°C durante 24 horas e depois transferido para dessecador com sílica gel até alcançar a temperatura ambiente e, por fim, pesado em balança para determinar a massa de óleo extraído. Subtraindo o peso do balão do conjunto balão-óleo pesado, obteve o peso do óleo. O material particulado residual da extração também foi introduzido na estufa, a fim de determinar sua massa seca final. Com os valores da umidade final, massa seca de torta residual e massa de óleo, foi calculado o rendimento da extração. O aparato experimental montado pode ser observado na figura 17.

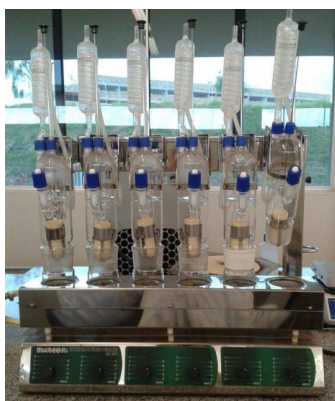


Figura 17: Extrator tipo Soxhlet

Em paralelo foi feita a extração do óleo utilizando o concentrador solar construído. No recipiente, cujas dimensões foram especificadas, foi colocado 300 mL de partículas com diâmetro inferior a 1 mm e 300 mL de álcool 99,3%.

Primeiramente, o coletor solar foi posicionado em direção ao Norte, a fim de coletar a maior quantidade de incidência dos raios solares. Além da determinação de seus pontos focais pelo procedimento descrito, foi possível localizá-lo através do aquecimento da região de maior concentração da radiação. O tubo de metal galvanizado, preenchido com os componentes necessários para o processo de extração, foi posicionado no ponto em que se observou maior centralização de calor e, então, permaneceu durante 4 horas. É importante ressaltar que foi necessário redirecioná-lo algumas vezes para que continuasse a captar a maior quantidade de incidência dos raios solares. A figura 18 representa o aparato experimental utilizado.



Figura 18: Concentrador Solar como Extrator

Após a extração foi necessário filtrar a amostra para separar a parte líquida, composta pelo óleo extraído e o solvente, da parte sólida representada pela torta e o solvente. Para isso, utilizou-se o aparato da figura 19:



Figura 19: Aparato utilizado no processo de filtração

A filtração consistiu na submissão da amostra a um funil posicionado sobre um kitassato, cujo interior do funil havia um papel filtro, acoplado a uma bomba de sucção. Após a filtração, a parte líquida e a parte sólida foram levadas à estufa a temperatura de 100°C durante 24 horas, com o intuito de separar o material de interesse do solvente. Então, o produto final foi pesado e, conseqüentemente a quantidade de óleo adquirida.

RESULTADO E DISCUSSÃO

PONTO DE CONCENTRAÇÃO DE RADIAÇÃO SOLAR

Com o intuito de determinar a função geradora que corresponde ao perfil do concentrador biangular e, também, a forma parabólica que mais se aproxima desta geometria, utilizou-se o *software* de planilhas eletrônicas Excel. As coordenadas

cartesianas pertencentes às extremidades do aparato experimental, sendo sua base menor e o centro considerados como o ponto (0;0), estão expostas na tabela 1:

Tabela 1. Coordenadas Cartesianas do Coletor Solar

X(cm)	Y(cm)
0	0
4,77	0
24,83	15,71
43,93	47,40

Em seguida, estes dados foram utilizados para plotar o gráfico e encontrar suas devidas equações, como é possível observar na **figura 20**.

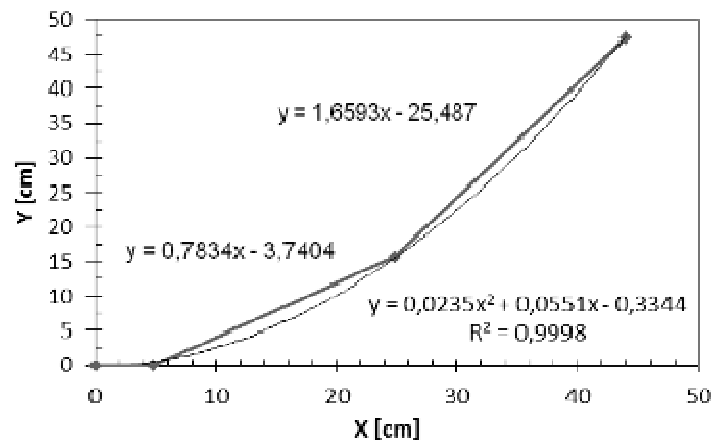


Figura 20: Funções matemáticas que representam a curva geradora do coletor

A equação de segunda ordem que se aproxima da geometria proposta corresponde à função geradora de um coletor parabólico. Esta foi determinada através da análise sobre a linha de tendência polinomial de segunda ordem, a fim de validar esta aproximação entre os coletores por meio de cálculos para o ponto de concentração solar.

Apenas para ilustrar as retas necessárias para encontrar o ponto focal de uma geometria, substituiu-se o ponto $P_1=(20;10,17)$, pertencente a equação de segunda ordem, nas Equações (1), (2), (3) e (5), obtendo-se os valores expostos na tabela 2, em que:

$$f[x_p] = 0,047 X_p + 0,0551 = 0,9951 \quad \text{equação (7)}$$

sendo que $(X_t; Y_t)$; $(X_n; Y_n)$; $(X_i; Y_i)$ e $(X_r; Y_r)$ correspondem às coordenadas das retas provenientes das Equações (1), (2), (3) e (5), respectivamente.

Para calcular o ângulo que a reta "i" faz com a normal, recorreu-se a Equação (4), reescrita como:

$$\theta = 90^\circ + \arctg\left(\frac{-1}{0,047 \cdot 20 + 0,0551}\right) = 90^\circ - 45,14^\circ = 44,86^\circ \quad \text{equação (8)}$$

Deste modo, foi possível calcular a ordenada do ponto de concentração para este conjunto de coordenadas, utilizando a Equação (6), que equivale a:

$$y_F = y_p - \text{tg}(90^\circ + 2\theta) x_p = 10,17 - \text{tg}(90^\circ + 2 \cdot 44,86^\circ) 20 = 10,26 \text{ cm} \quad \text{equação (9)}$$

Tabela 2. Dados para determinar o ponto focal do coletor solar

X_t	Y_t	X_n	Y_n	X_i	Y_i	X_r	Y_r
9,78	0	0	30,27	20	45	0	10,26
40	30,07	20	10,17	20	10,17	20	10,17

A figura 21 apresenta todas as retas necessárias para a determinação do ponto focal F.

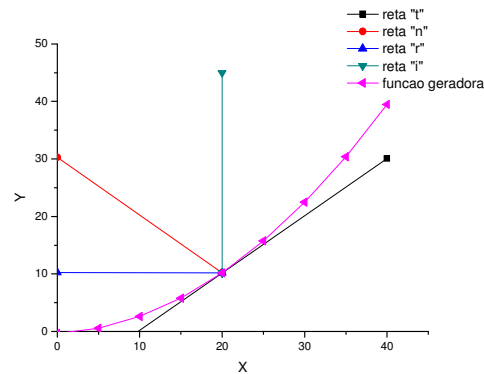


Figura 21 – Determinação do Ponto Focal F

Para a real geometria do coletor foram plotados alguns pontos representando os raios incidentes para determinar seu foco de concentração através da reflexão destes. Estes pontos se encontram na tabela 3. Foram plotados os mesmos grupos de coordenadas para uma parábola, e as ordenadas dos pontos focais encontradas estão dispostas na tabela 4. As figuras 22 e 23 mostram a incidência (em azul) e a reflexão (em vermelho) dos raios solares para a geometria biangular e parabólica, respectivamente.

Tabela 3. Ordenada do Ponto de Concentração (Y_p) para determinadas coordenadas (X_p, Y_p)

X_p	Y_p	Y_f
8	2,5268	4,4991
13	6,4438	9,6489
18	10,3608	14,799
23	14,2778	19,9483
28	20,9734	6,1805
33	29,2699	11,8354
38	37,5664	17,4903
43	45,8629	23,1452

Tabela 4. Ordenada do Ponto de Concentração para determinadas coordenadas

X_p	Y_p	Y_f
8	1,6104	14,24
13	4,3534	13,32
18	8,2714	13,27
23	13,3644	13,48
28	19,6324	13,79
33	27,0754	14,17
38	35,6934	14,56
43	45,4864	15,00

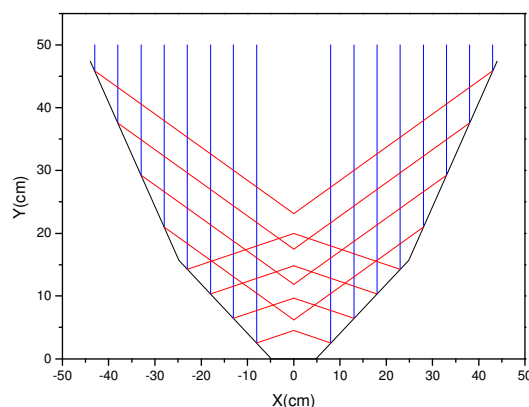


Figura 22 – Incidência (azul) e Reflexão (vermelho) dos raios solares em um aquecedor solar biangular

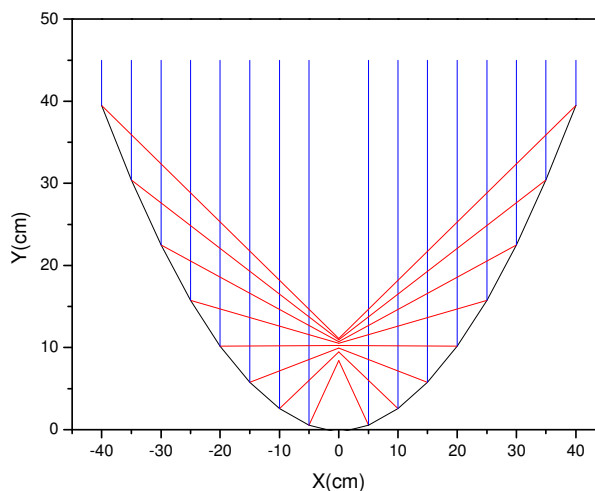


Figura 23 – Incidência (azul) e Reflexão (vermelho) dos raios solares em um aquecedor solar parabólico

Como era de se esperar, a geometria parabólica apresenta uma maior eficiência, já que os raios solares, ao se refletirem pela superfície, concentram-se mais em um ponto, sendo que para esses conjuntos de coordenadas, a faixa de altura obtida foi de 14 a 15 cm. Enquanto que para a geometria biangular, esta altura varia de, aproximadamente, 5 a 23 cm.

Porém, a geometria biangular trata-se de uma aproximação válida, uma vez que o recipiente absorvedor possui diâmetro de 6 cm, sendo seu suporte flexível, e comprimento de 20 cm, fazendo com que este seja aquecido de forma distribuída ao longo de suas dimensões.

COLETOR SOLAR

Após a montagem do aparato experimental (figura 18), foram feitos alguns testes com água, a fim de avaliar sua eficiência térmica, monitorando a temperatura do líquido no recipiente absorvedor com o tempo de exposição ao sol.

De acordo com a literatura mencionada, o que mais influencia na eficiência do coletor solar é a presença de ventos. Devido a isso, o recipiente foi revestido com garrafas PET, que além de minimizar os efeitos gerados pelo vento, dá origem ao efeito estufa entre as garrafas e o tubo absorvedor.

Para monitorar a temperatura em função do tempo, foi acoplado um termômetro na parte superior do tubo absorvedor. As leituras foram feitas no dia 26 de junho de 2014, às 12:00 horas e às 14:00 horas, em intervalos de 5 minutos até que a temperatura estabilizasse. Os resultados estão expostos na tabela 5, e a partir deles, foram plotadas as curvas de temperatura representadas pela figura 24, juntamente com a temperatura de ebulição do álcool anidro.

Tabela 5. Temperatura em função do tempo

Tempo (min)	Temperatura (°C) às 12:00 horas	Temperatura (°C) às 14:00 horas
0	28	28
5	39	34
10	48	40
15	56	44
20	62	50
25	70	55
30	76	58
35	82	62
40	89	64
45	93	68
50	96	70
60	96	72
70	---	72

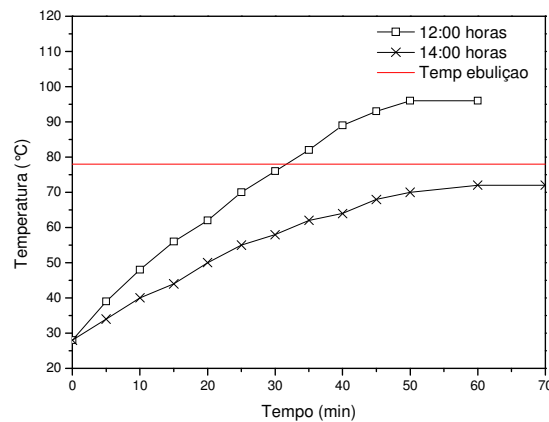


Figura 23 – Curva de Temperatura

Através dos gráficos foi possível concluir que o objetivo do aparato experimental foi alcançando, já que se obteve altas temperaturas, atingindo-se cerca de 96 °C. No dia em que foram feitos os testes, o horário em que se alcançou a maior temperatura em menos tempo foi às 12:00 horas, como era de se esperar, uma vez que este apresenta maiores valores de radiação e incidência solar. Mas, como a intenção é aquecer o solvente, cuja temperatura de ebulição está em torno de 78°C, este aparato é eficiente mesmo nos horários em que se obtiveram menores temperaturas.

PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

A partir do procedimento exposto, foi possível determinar o teor de umidade contido na semente de pinhão manso. Com a diferença entre as massas inicial e final, usando como referência o momento em que foi colocada na estufa, obteve-se a massa de água que havia nas sementes. E para definir o teor de umidade, dividiu-se a massa de água pela massa inicial da amostra. Os resultados estão expostos na tabela 6.

Tabela 6. Teor de Umidade

Amostras	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Água (g)	Umidade (%)
1 e 2	320,13	285,31	34,82	10,88
3, 4, 5 e 6	277,29	256,63	20,66	7,45

EXTRAÇÃO PELO MÉTODO SOXHLET

Os resultados mostraram que o teor de óleo extraído da semente de pinhão manso variou de 32,38% a 51,40% em massa (tabela 7), o que condiz com a literatura.

As amostra 3 e 5, que apresentaram maior porcentagem de óleo, foram maceradas e peneiradas. Por ser macia, a amêndoa é macerada com mais facilidade, enquanto que a casca, por ter uma consistência mais dura, mostrou maior dificuldade de moagem resultando em partículas de um diâmetro médio levemente maior que a das amêndoas. De acordo com a literatura mencionada, a amêndoa contém maior teor de óleo ao comparar com a casca, portanto, provavelmente as amostras 3 e 5 eram, em sua maioria, compostas pela amêndoa.

A amostra 6, cujo teor de óleo obtido foi o menor, consiste de sementes úmidas. Este resultado mostra-se coerente, uma vez que a água representa uma impureza para o processo de extração. As demais amostras correspondem a sementes inteiras trituradas sem o auxílio de uma peneira, sendo, deste modo, constituída provavelmente de partículas com diâmetro levemente maior, além de possuir maior quantidade de casca que as amostras 3 e 5.

O resultado obtido pela amostra 6, mesmo possuindo a menor porcentagem, foi próximo àqueles obtidos pelas sementes inteiras secas trituradas. Assim, neste caso, a secagem não interfere muito no processo de extração.

Tabela 7. Resultados de teor de óleo obtidos pelo método Soxhlet

Amostra	M _{amostra} (g)	M _{óleo} (g)	Teor de óleo (%)
1	15,08	5,81	38,53
2	19,05	7,91	41,52
3	14,67	7,54	51,40
4	22,47	8,37	37,25
5	20,62	10,07	48,84
6	22,98	7,44	32,38

EXTRAÇÃO EMPREGANDO O CONCENTRADOR SOLAR

Devido aos dados obtidos pelo método convencional relacionando a semente seca à úmida, optou-se em utilizar sua forma úmida para este método, pois, assim, mais um processo dependente de fontes energéticas não renováveis é excluído.

Para a extração utilizando o coletor solar, o volume de amostra utilizado (300 mL) foi pesado antes da extração, obtendo um valor de 148,80 gramas. A partir da massa e do volume ocupado por ela, pôde-se calcular sua densidade *bulk*, que representa a quantidade de massa presente por unidade de volume do recipiente por ela ocupado. Assim, a densidade *bulk* da semente de pinhão manso triturada (ρ_{bulk}) é definida por:

$$\rho_{bulk} = \frac{M}{V} = 500 \text{ kg/m}^3 \quad \text{equação (10)}$$

O processo de extração por este método foi realizado no dia 7 de julho de 2014, iniciando-se às 10:30 horas e finalizando às 14:30 horas. As condições ambientais não estavam muito favoráveis, apresentando altos índices de neblinas e vento, além da temperatura, que estava em torno de 20°C. Mesmo assim, foi possível alcançar o objetivo, uma vez que temperaturas próximas aquela de ebulição do solvente foram obtidas após 40 minutos de exposição. Os valores de temperatura durante o processo de extração estão expostos na tabela 8 e, para melhor visualização, plotados em um gráfico de temperatura em função do tempo representado pela figura 25.

Tabela 8. Temperatura em função do tempo para o processo de extração

Tempo (min)	Temperatura (°C)
0	25
20	42
40	62
60	69
90	74
120	78
150	78
180	70
210	64
240	64

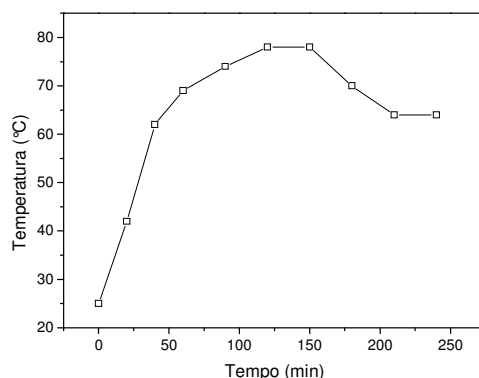


Figura 25 – Curva de Temperatura para o processo de extração

Após 4 horas de contato entre as partículas e o solvente na presença de calor gerado pelos raios solares, a mistura foi transferida para um béquer, a fim de facilitar o processo de filtração, que foi necessário, para a separação da solução contendo o solvente e o óleo, das partículas residuais.

O teor de óleo extraído da semente de pinhão manso por este método foi relativamente menor que o convencional. Este resultado estava previsto, pois o experimento foi realizado em batelada, ou seja, não havia fluxo de solvente percolando a amostra. Isto influencia, pois a falta de agitação ou de uma velocidade relativa entre o fluido e a partícula diminui o coeficiente de transferência de massa convectivo, diminuindo a eficiência da extração sólido-líquido.

Aparentemente, a quantidade de solvente não foi suficiente e este não entrou em contato com a amostra inteira. Como as partículas ficam no fundo do recipiente, parte do solvente ocupou os poros entre as partículas até que na superfície se formasse uma camada contendo apenas o álcool.

De acordo com a tabela 9, o teor de óleo extraído foi de 18,65% da massa inicial da amostra. Comparando com o rendimento obtido pelo método convencional, cuja porcentagem em massa de óleo obtida na sua forma úmida, foi de aproximadamente 33%, a eficiência de extração foi cerca de 56%. Considerando que a amostra contém 37,5% em massa de óleo, a eficiência de extração foi de cerca de 50%. A baixa eficiência de extração justifica-se pela baixa eficiência de contato sólido-líquido proporcionada pelo processo batelada, como discutido anteriormente, e também pela baixa quantidade de solvente frente à massa de partículas utilizadas, que pode ter ocasionado a saturação do álcool com o óleo (equilíbrio líquido-líquido) limitando o potencial de extração no experimento. O fato de trabalhar próximo à temperatura de ebulição do solvente pode ter acarretado na perda de parte do solvente por evaporação durante o experimento.

Tabela 9. Resultados de teor de óleo extraído no coletor solar

$M_{amostra}$ (g)	M_{torta} (g)	$M_{óleo}$ (g)	Teor de óleo extraído (%)
148,80	103,73	27,75	18,65

A fim de aumentar a eficiência de contato sólido-líquido e conseqüentemente aumentar a transferência de massa de óleo do interior do sólido para o seio do líquido solvente, o processo poderia ser realizado de forma contínua. Assim, o álcool seria bombeado para dentro do tubo absorvedor que contém as partículas à uma baixa vazão, a fim de remover continuamente o extrato (óleo-álcool) e inserir nova fração de solvente, evitando a saturação do solvente com o óleo. Além disso, o fluido entraria com uma certa velocidade, aumentando o coeficiente convectivo de transferência de massa e conseqüentemente a eficiência do extrator. No entanto, a vazão deveria ser cuidadosamente calculada, a fim de manter uma temperatura acima de 50 °C.

CONCLUSÃO

A geometria proposta para a construção de um coletor solar apresentou resultados satisfatórios, desde sua montagem por utilizar materiais recicláveis a seu objetivo principal, representado pelo processo de extração.

A partir da comparação feita entre os pontos focais das geometrias biangular e parabólica, além dos testes realizados com água, pôde-se validar esta aproximação sugerida, uma vez que se obteve altos valores de temperatura no líquido contido dentro do tubo absorvedor, chegando a 96 °C, quando operado com água.

Outro ponto importante é que, através da extração pelo método convencional, foi possível observar que a semente de pinhão manso possui uma alta porcentagem de óleo em geral, mas com maior concentração na amêndoa. Devido a isto, e outros fatores mencionados anteriormente, representa uma alternativa para utilização de seu óleo na produção de biodiesel.

Quanto ao processo de extração por solvente empregando energia solar, mesmo apresentando uma eficiência de extração menor que a obtida pelo método convencional, usando um extrator do tipo Soxhlet, o resultado de teor de óleo obtido foi aceitável, mostrando que foi possível realizar a extração utilizando energia renovável e materiais recicláveis.

As principais vantagens da extração solar frente à convencional são: a economia de água e energia elétrica, já que não há necessidade de um condensador nem chapa térmica; o uso de uma fonte energética renovável, gratuita e não

poluente; e, principalmente, a reutilização de materiais para obter um produto de valor agregado, o que torna o processo de extração ambientalmente sustentável.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se:

- calcular a eficiência ótica, térmica e útil do concentrador solar biangular de doze lados;
- transformar o processo batelada em contínuo, pela adição de uma bomba e um recipiente para coleta da fase extrato.
- encontrar a vazão de solvente adequada para que a temperatura seja superior a 50 °C;
- propor um mecanismo de recuperação do solvente para reutilização;
- estudar o efeito da temperatura, diâmetro de partícula e velocidade de fluido sobre a eficiência de extração.

Devido a alta concentração de óleo encontrada na semente de pinhão manso e da possibilidade de sua extração por técnicas sustentáveis, de baixo custo e fácil manuseio, o óleo do pinhão manso representa uma excelente alternativa para a produção de biodiesel.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARRUDA, Francineuma Ponciano; BELTRÃO, Napoleão Esberard de Macedo; ANDRADE, Albericio Pereira; PEREIRA, Walter Esfrain; SEVERINO, Liv Soares. **Cultivo de Pinhão Manso (*Jatropha curca L.*) como Alternativa para o Semi-Árido Nordestino**. 2004, Vol. 8. N° 1. Ver. Brás. Ol. Fibrós., Campina Grande.
2. BEZERRA, Arnaldo Moura. **Energia Solar: aquecedores de água**. João Pessoa: Editora Universitária – UFPB, 1998.
3. BIRD, R. Byron; STEWART, Warren E.; LIGHTFOOT, Edwin N. **Fenômenos de Transporte**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.
4. BRANCO, Samuel murgel. **Energia e Meio Ambiente**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2012.
5. BRUM, Aelson Aloir Santana; ARRUDA, Lia Ferraz; ARCE, Marisa Aparecida Bismara Regitado-d'. **Métodos de Extração e Qualidade da Fração Lipídica de Matérias Primas de Origem Vegetal e Animal**. 2009. Vol. 32, N° 4. Química Nova.
6. CAVALCANTE, Anaísa Kato; SOUSA, Larissa Barbosa; HAMAWAKI, Osvaldo Toshiyuki. **Determinação e Avaliação do Teor de Óleo em Sementes de Soja pelos Métodos de Ressonância Magnética Nuclear e Soxhlet**. 2011. Vol. 27, N° 1. Biosci. J., Uberlândia.
7. 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.
8. FILHO, Carlos Alberto Pereira de Queiroz Lion. **Construção e Análise de Desempenho de um Fogão Solar à Concentração Utilizando Dois Focos Para Cozimento Direto**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
9. GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 3. ed. São Paulo, 2011.
10. HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; REIS, L.B. **Energia e Meio Ambiente**. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
11. PALZ, Wolfgang. **Energia Solar e Fontes Renováveis**. 1. ed. Hemus, 2002.
12. PEREIRA, Roberto Wagner Lima. **Economia de Energia na Perspectiva do Plano Nacional de Energia 2030: O papel do aquecimento solar**. 2010. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília.
13. PRADO, G.O.; DAMASCENO, J.J.R.; VIEIRA, L.G.M. **Análise de Comportamento Focal de Curvaturas para Concentradores Solares do Tipo Calha**. 2012. COBEQ-XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Búzios:RJ.
14. PRADO, Gustavo Otero. **Concentrador solar para dessalinização de água: projeto e construção**. 2011. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia.
15. VECCHIA, R. **O Meio Ambiente e as Energias Renováveis: instrumentos de liderança visionária para a sociedade sustentável**