

INFLUÊNCIA DO TEMPO DE RASTREAMENTO NA EFICIÊNCIA DE UM COLETOR SOLAR CÔNICO

José Augusto Fontenele Magalhães– augusto.fontenele@outlook.com
Stéphano Praxedes Mendonça – stephano_praxedes@hotmail.com
Profa. Maria Eugênia Vieira da Silva, Ph. D. – eugenia@ufc.br
Prof. Dr. Paulo Alexandre Costa Rocha– paulo.rocha@ufc.br
Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Mecânica.

3.1 Coletores concentradores e sistemas para conversão térmica em médias temperaturas

Resumo. Este documento apresenta a avaliação de um concentrador solar cônico, instalado no Laboratório de Energia Solar e Gás Natural (LESGN), na Universidade Federal do Ceará (UFC). Tendo em vista a geometria do concentrador, este possui uma grande sensibilidade ao movimento natural do Sol, logo o sistema foi testado em diferentes situações. A partir de uma análise de desempenho do coletor atrelado ao rastreamento, tornou-se possível analisar dados de eficiência do concentrador para irradiâncias específicas encontradas na Região Nordeste do Brasil, permitindo previsões de especificação de projeto, como possíveis temperaturas atingidas em um sistema de energia solar para aquecimento da água. Além disso, este rastreamento possibilita um maior controle sobre o aquecimento ao longo do dia, permitindo que o fluido aquecido possa ter distintas aplicações. Experimentos realizados neste trabalho mostraram variações na eficiência térmica do sistema de 25% e 10%, para intervalos de rastreamento de 1 hora e 30 minutos, respectivamente. Além disso, os dados permitiram estimar o comportamento dessa eficiência para diferentes valores de radiação solar direta, a fim de se tornarem possíveis futuras avaliações de comportamento em situações de baixa incidência de radiação.

Palavras-chave: Energia solar, Concentrador cônico, Rastreamento solar.

1. INTRODUÇÃO

O Sol é considerado a fonte de energia principal para a vida na Terra. Sua radiação, além de ser responsável pela manutenção da vida terrestre, detém um enorme potencial energético, em que sua utilização pode ser empregada por meio de sistemas de captação e conversão em outras fontes, tais como térmica e elétrica (Pinho e Galdino, 2014).

A utilização da energia passiva do Sol vem atrelada a um desenvolvimento estratégico do uso de energias alternativas para satisfazer a demanda por energia do século. Ele emite energia irradiada para a atmosfera terrestre de forma praticamente constante e, em perspectiva humana, apresenta uma disponibilidade ilimitada. Como o Sol se encontra a 143 milhões de quilômetros da Terra, apenas parte da energia irradiada está disponível. No entanto, essa energia fornecida durante um quarto de hora é superior à energia utilizada a nível mundial durante um ano (GreenPro Project, 2004).

A energia solar como fonte de energia renovável possui um enorme potencial no território brasileiro. Índices de irradiação solar global que incidem em qualquer região do território brasileiro ultrapassam os valores de incidência solar dos países da União Europeia, onde projetos que utilizam fontes de energia solar são fortemente executados com incentivos governamentais (Pereira *et al.*, 2006).

Como benefícios da utilização de tal fonte energética, destaca-se o fato de a mesma ser gratuita, renovável e inesgotável. Entretanto, em relação a desvantagens, sabe-se que atualmente as tecnologias ainda são caras, e a energia solar em si tem um baixo fator de capacidade já que, além de coletores e painéis fotovoltaicos não trabalham durante a noite, os dados de previsões sobre incidência e comportamento dos sistemas são muito variáveis e, assim como na utilização da energia proveniente do vento, torna-se uma fonte dependente de condições climáticas e períodos do ano.

O aproveitamento direto e indireto da energia solar em energia térmica se apresenta como alternativa a fontes convencionais de energia, tornando-se cada vez mais eficiente e competitivo do ponto de vista econômico. O potencial brasileiro em relação à conservação de energia no aquecimento de água é bastante significativo, em que a aplicação em larga escala de aquecedores solares pode ser uma alternativa viável e competitiva (Aldabó, 2002; Mourão, 2007).

No âmbito da utilização de fonte solar de energia para suprimento da demanda energética, os geradores de foco linear (coletores cônicos, cilíndricos, parabólicos, dentre outros) podem ser utilizados para aquecimento de fluidos e com uma posterior transformação de energia térmica em eletricidade, de forma similar àquela dada pelo uso de combustíveis fósseis e energia nuclear.

Dentro do princípio da conversão termomecânica, estes equipamentos não são de uso tão recente, já que refletores para concentração solar foram desenvolvidos há mais de um século. Coletores cônicos foram primeiramente desenvolvidos na França com o intuito de aproveitar o vapor produzido para operar prensas tipográficas e posteriormente para bombeamento de água em outras localidades. Deve-se também mencionar um motor a vapor de 4

HP desenvolvido pelo inglês A. G. Eneas, por volta de 1904, nos EUA, que também usava uma seção cônica como refletor (Palz, 2002).

Devido a essa aplicabilidade dos sistemas de concentração solar, o seu desenvolvimento se torna algo relevante em meio a estratégias de redução de gases do efeito estufa e redução de outros impactos ao ambiente. Levando em consideração a região Nordeste do país, onde o potencial de captação da energia solar é elevado, o uso desses sistemas tem um papel importante, se tratando de uma alternativa energética. Pode-se levar em consideração o fato de haver zonas onde se necessita de aquecimento, refrigeração e energia da rede em geral, mas por serem regiões remotas, o uso de energia solar surge como uma alternativa para suprir tal demanda.

Tratando-se especificamente da localidade onde o sistema foco deste trabalho está instalado, a cidade de Fortaleza está centrada em uma área onde as estações do ano não são bem definidas, a temperatura média é em torno de 26°C, com clima semi-árido e com uma baixa latitude. Encontra-se em uma das zonas de alto potencial solar, mostrado na Fig. 1, onde este potencial é apresentado de acordo com as tonalidades de cada região (os dados analisados são os de Incidência Solar (W/m^2)).

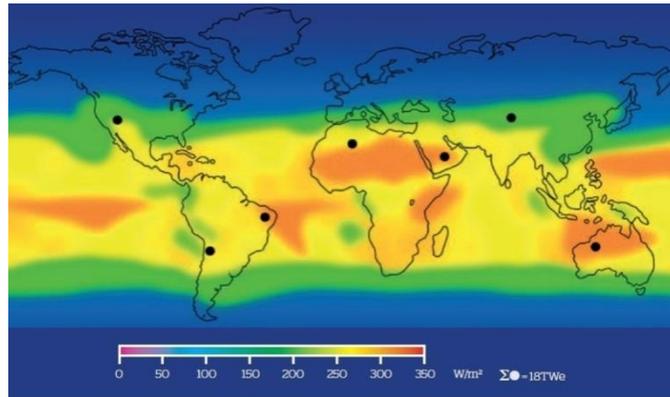


Figura 1 - Mapa de Radiação Solar no mundo.

Geradores solares, sejam eles térmicos ou fotovoltaicos, são geralmente acoplados a sistemas de medição de dados terrestres relacionados ao comportamento do Sol durante o dia e a condições climáticas. Para o sistema de concentração solar, são utilizados dados de medidores dos diferentes tipos de incidência solar, dados do vento, faixas de temperatura de trabalho do coletor, vazões de trabalho, entre outras variáveis.

Sendo assim, este trabalho objetiva a avaliação de um sistema acoplado ao concentrador solar cônico de forma a aumentar sua eficiência, fazendo este passar por um processo de rastreamento, a fim de manter um controle sobre a troca de calor que acontece devido à captação da energia do Sol. No caso específico do concentrador cônico, é importante a análise de quais variáveis estão diretamente atreladas à eficiência da troca de calor, sejam estas a incidência solar, a posição do concentrador, a região onde ele se encontra instalado, dentre outras. A partir de um sistema otimizado e fazendo uso de rastreamento solar, torna-se possível a construção de métodos de previsão de dados do concentrador para diferentes condições climáticas e fluidos de trabalho, tornando o sistema uma referência para futuras inovações tecnológicas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Todo o mecanismo termomecânico deve ser regido por diferentes sistemas de controle, como medidores de radiação solar, de temperatura do fluido ao longo do trocador de calor, atuadores que geram o movimento do concentrador de forma a se alinhar com o Sol e medidores de vazão. Alguns aspectos do sistema são discutidos a seguir:

2.1 O Sol

O Sol é uma estrela sem superfície sólida formada basicamente por gás hidrogênio (H_2) e Hélio (He), cuja temperatura no seu núcleo atinge 15 milhões de graus Celsius (27 milhões de graus Fahrenheit), sendo fornecedor de energia intensa de suma importância para a vida na Terra (NASA, 2003).

A energia irradiada pelo Sol, praticamente constante, é descrita como a constante solar, que é a energia emitida por unidade de tempo recebida em uma unidade de área de superfície perpendicular à direção de propagação da radiação fora da atmosfera terrestre. Seu valor atualmente aceito é de $1367 W/m^2$ (Duffie e Beckman, 2006). Ao chegar à superfície terrestre, ela possui principalmente duas componentes: a incidência solar direta, I_{dir} , proveniente da circunferência solar, que não sofre nenhuma mudança de direção ao passar pela atmosfera, e a incidência difusa, I_{dif} , que sofre o processo de dispersão devido a moléculas de ar e partículas suspensas, como mostrado na Fig. 2. No caso do concentrador solar cônico, esta última tem sua participação quase desprezível, devido à própria geometria do coletor e ao mecanismo de captação da radiação, dado por uma serpentina direcionada à posição do Sol em cada instante.

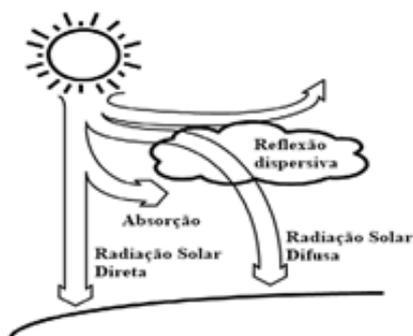


Figura 2 - Passagem da radiação pela atmosfera.

A Fig. 3 mostra a medição de incidência de radiação solar direta e global, durante um dia típico ensolarado com nuvens no município de Fortaleza, com dados do LESGN do ano de 2013. Os dados são mostrados em potência por unidade de área ao longo de um dia.

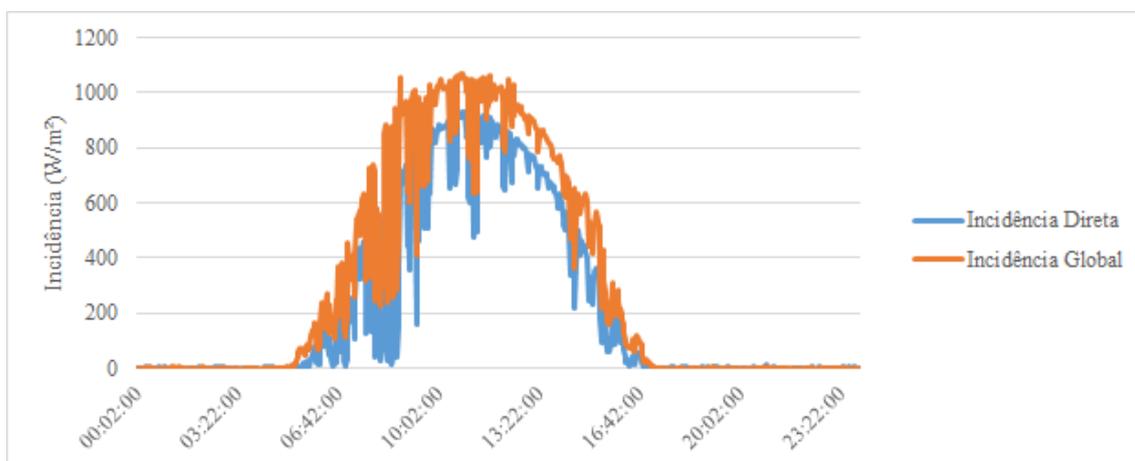


Figura 3 - Incidência Solar em Fortaleza em um dia ensolarado com nuvens.

2.2 Aparelhos e Rede de medição

Quanto à incidência direta (I_{dir}), que mais influencia nos concentradores solares, sua medida é feita diretamente por meio de um Pireliômetro Eppley, modelo NIP. Acoplado a um mecanismo de rastreamento, ele possui um detector ao fim de um tubo colimador, que contém diversos diafragmas, e é negro em seu interior. Ele também utiliza um termômetro que é o transdutor responsável pela associação entre a temperatura de um disco de prata aquecido diretamente pelo Sol e valores de incidência.

Outro aparelho utilizado no controle de sistemas de energia solar térmica são os termopares. Estes transdutores são acoplados a diversos pontos dentro do sistema a fim de medir a temperatura do fluido que será aquecido, podendo fornecer dados para posterior análise de eficiência, por exemplo. Os termopares são formados pela junção de dois metais que fazem a leitura da temperatura através de uma transmissão de potencial elétrico, este lido por um *datalogger* após os dados de tensão passarem por um condicionamento de sinal (linearização, compensação por junção fria, dentre outros). Os termopares são divididos por classes, sendo os do tipo K os mais genéricos, por cobrirem temperaturas entre os -200 e os 1200 graus Celsius, tendo uma sensibilidade de aproximadamente $41 \mu V/^{\circ}C$.

Dados de vazão do fluido a ser aquecido também precisam ser coletados, já que a análise do calor trocado pelo concentrador só é possível mediante tal coleta. Medidores de vazão costumam ser acoplados no ponto mais próximo do trocador, a fim de se evitar perdas de carga ou interferências externas.

2.3 O Coletor

Os coletores concentradores são dispositivos que concentram a energia solar e direcionam a mesma para uma área de captação. De acordo com Kalogirou (2009), os concentradores solares possuem, em geral, uma superfície refletora que direciona a radiação solar direta a um foco onde há um receptor pelo qual escoar um fluido que recebe a energia térmica transmitida.

De acordo com Duffie e Beckman (2006), o uso de concentradores solares se justifica em casos que se almejam altas temperaturas com a utilização de áreas de captação pequenas a partir das quais ocorrem as perdas térmicas. Considerando a mesma temperatura para áreas menores, têm-se menores perdas térmicas.

Com o intuito de elevar a radiação nos receptores, muitos tipos de concentradores podem ser utilizados em instalações de energia solar térmica. Estes equipamentos podem apresentar concentração linear, como no caso de coletores parabólicos e cilíndricos, ou concentração pontual, como nos paraboloídes de revolução. Os concentradores podem ser constituídos de refletores ou refratores, sendo que para refletores com superfície de revolução (concentradores circulares) deve-se haver uma orientação de forma a alinhar o eixo e o sol, a fim de que o coletor seja capaz de se mover em dois eixos.

Mesmo sendo pouco difundidos em relação aos coletores concentradores parabólicos, pesquisas mostram o potencial dos coletores solares cônicos na geração de energia térmica para aquecimento de fluidos (Xiaodi *et al.*, 2010; Kaiyanet *al.*, 2009; Togrul e Pehlivan, 2003; Hussain e Lee, 2014).

2.4 Sistema de rastreamento

Por se tratar de um sistema que demanda constante posicionamento da serpentina em direção ao sol, o sistema de rastreamento é peça fundamental em uma instalação solar. Dependendo da localização de tal sistema, torna-se necessário o ajuste do coletor com relação aos diversos ângulos que definem a posição solar em determinado instante. Os dois ângulos que definem a posição do Sol utilizados em um projeto de rastreamento são definidos a seguir:

Altura solar (γ_s): ângulo entre o centro do Sol e a horizontal vista por um observador.

Azimute solar (α_s): ângulo solar que descreve o ângulo entre o norte geográfico e a projeção horizontal dos raios solares.

A altura e o azimute solar, mostrados na Fig. 4, dependem da localização geográfica do observador, do dia, da hora e do fuso-horário. A posição do Sol é também influenciada pelo ângulo entre o plano equatorial da Terra e o plano rotacional da Terra em torno do Sol, chamado de ângulo de Declinação Solar (Quaschnig, 2005). A declinação solar (δ_s) varia entre $+23,45^\circ$ e $-23,45^\circ$ durante o ano, sendo que a duração de um dia solar também varia ao longo do ano devido à órbita não circular da Terra.

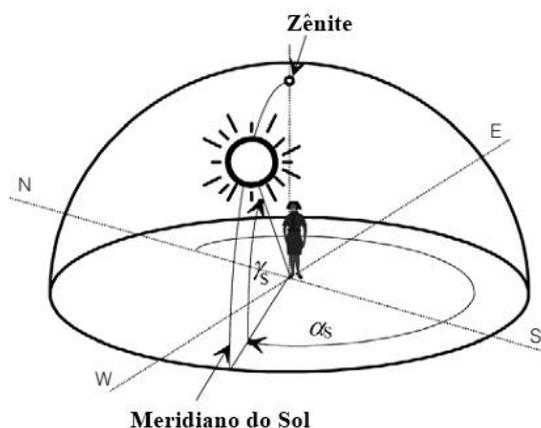


Figura 4 -Definição dos ângulos altura e azimute solar.

Para determinar a localização do Sol em um específico dia, hora, latitude, dentre outros parâmetros, pode-se fazer uso de três mecanismos de rastreamento: algoritmos desenvolvidos para cálculo da posição solar, utilização de controle automatizado e rastreamento manual ao longo do dia. Os três mecanismos são descritos brevemente abaixo.

Algoritmos para cálculo da posição solar: Rastreamento da posição solar por meios de equações para cálculo de γ_s , α_s e δ_s , levando em consideração dados de latitude e dia do ano, por exemplo. Esses valores são comparados aos valores de inclinação de superfície (β), que é o ângulo entre a normal da área da superfície e a sua projeção horizontal, azimute de superfície (α), que é o ângulo entre a projeção horizontal da normal da superfície e o norte geográfico, e a declinação de superfície (δ).

Controle automatizado: após a coleta dos dados de incidência direta instantânea, no caso de coletores cônicos, sensores informam a um microcontrolador qual a posição ótima para posicionamento do coletor ao longo do dia. Um motor de passo também é utilizado nesse tipo de sistema de rastreamento e desta forma consegue-se posicionar o coletor dependendo do arranjo de sensores instalados.

Sistema de rastreamento manual: Fazendo-se uso de acessórios mecânicos acoplados ao próprio coletor, como os guias de sombra, consegue-se observar se a linha direta do sol está ou não alinhada à serpentina do gerador solar (no caso dos coletores pontuais). O rastreamento é feito em tempos predeterminados e o sistema é acoplado a barras mecânicas que permitem ajuste em diferentes posições. Necessita-se também de uma base rotatória para o sistema, já que rastreamento apenas Leste-Oeste não leva em conta a declinação solar, por exemplo. Para sistemas focais, qualquer desalinhamento do Sol já acarreta grande perda na captação da incidência solar.

3. METODOLOGIA, INSTALAÇÃO E EXPERIMENTOS

Para um processo de aquecimento de água, o coletor cônico foi acoplado a um sistema de armazenamento de tal fluido, podendo este ser uma caixa d'água atrelada à companhia de fornecimento local. Utilizou-se uma caixa com capacidade de 2000L, que serve para todo o abastecimento dos coletores solares do LESGN. O controle da quantidade de fluido que entra no coletor é feito a poucos metros deste, por uma torneira que possui um termopar para medir a temperatura fria do fluido.

O coletor cônico possui um diâmetro de aproximadamente 1,10m e é dotado de uma serpentina, por onde o fluido passa continuamente (Fig. 5). O coletor possui dois guias de sombra, a fim de favorecer um melhor ajuste no momento do rastreamento solar. Estes guias são: a própria serpentina, que faz sombra na base interior do coletor quando este não está alinhado ao Sol, e um parafuso na extremidade da superfície cônica, que possibilita o ajuste do azimute.



Figura 5 – Concentrador cônico instalado.

Utilizou-se uma superfície transparente para cobrir a base do cone para um melhor aproveitamento da radiação absorvida, evitando-se perdas convectivas para a atmosfera. Para tal, usam-se películas plásticas específicas, que possuem alta transmitância, geralmente utilizadas para a montagem de coletores solares planos.

Com dois termopares do tipo K, dois canais do *datalogger* foram utilizados para coleta de temperatura instantânea da água, na entrada e saída do coletor. Estes dados armazenados foram coletados a cada 48 horas e associados aos dados de radiação medidos também em tempo real através de um pireliômetro. Dados de radiação global provenientes de um piranômetro horizontal servem de base para acompanhamento diário da incidência solar, pois devido à geometria do gerador solar, este funciona majoritariamente com incidência direta.

Estes dados coletados tanto do anexo de coleta solar do LESGN quanto do *datalogger* instalado nas proximidades dos coletores foram colocados em uma planilha para posterior análise de dados de eficiência, quantidade de calor absorvida e quantidade de fluido aquecido a cada dia. Em um banco de dados pode-se verificar qual a incidência esperada para determinado período do ano e foi então feita a escolha dos dias de testes com o coletor cônico.

O coletor é acoplado a uma base metálica dotada de diversos furos que possibilitam a mudança da angulação do cone da forma que se deseja, como mostrado na Fig.6. Cada furo da barra horizontal possibilita a mudança de 7,5° do coletor, o que é suficiente para mudanças a cada 30 minutos, sendo o tempo estimado para melhor funcionamento do coletor (Arbizu, 2013).



Figura 6 - Base metálica com sistema de ajuste dos ângulos do coletor.

Como já discutido, o rastreamento Leste-Oeste é uma simplificação para um melhor posicionamento do coletor, entretanto, como se deseja o uso deste durante todo o ano, utilizar a declinação como um parâmetro a mais no projeto possibilita uma melhor captação da incidência direta. Para tal rastreamento, é necessário que não só as barras horizontais mostradas na Fig. 6 sejam utilizadas, mas que o coletor seja movido de 360° em seu plano de instalação.

Quanto à análise da troca térmica, o sistema requer um controle da vazão de água na entrada do coletor. Para garantir um valor constante de vazão na entrada da serpentina, mediu-se a vazão de saída de água do coletor durante todo o tempo de rastreamento manual. Tal vazão é então associada aos dados de temperatura e incidência solar, completando as variáveis necessárias para a análise de eficiência do sistema. Para tal coleta, fez-se uso de uma proveta, de forma a assimilar vazão com o volume dividido pelo tempo de enchimento, sendo este o tempo necessário para se fazer um ajuste no ângulo de inclinação do coletor. Em outras palavras, a cada intervalo de rastreamento, a coleta dos dados era feita concomitantemente.

Os meses de coleta de dados foram os do segundo semestre do ano de 2013, período em que a incidência de irradiação direta é mais intensa em todo o estado cearense. Devido à quantidade de nuvens durante o dia que interferem no caminho dos raios solares ao coletor, os testes precisaram ser feitos para diferentes condições meteorológicas.

4. RESULTADOS

4.1 Rastreamento

O primeiro ponto a ser levado em consideração quanto ao rastreamento é o intervalo no qual este é feito pelo operador, no caso de rastreamento manual. Fazendo-se testes com ajuste da posição a cada uma hora, observa-se uma grande queda de eficiência do coletor, em torno de 25%. Tal queda na eficiência durante o funcionamento do coletor representa um grande desperdício de aproveitamento energético.

Para tal, testes com o coletor sendo posicionado a cada trinta minutos foram elaborados e verificou-se então uma queda em torno de 10% da eficiência durante cada intervalo de tempo, como mostrado na Fig. 7.

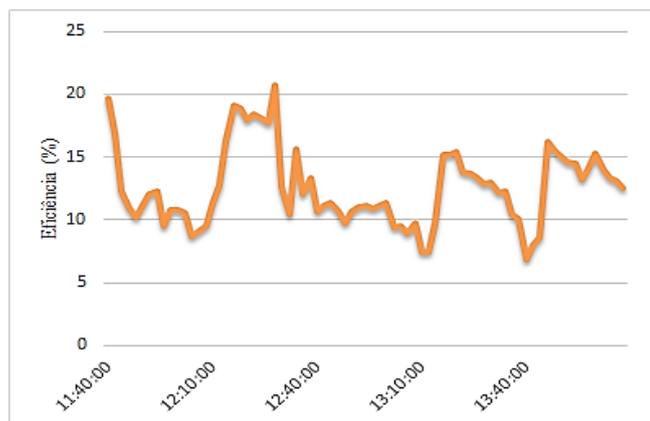


Figura 7 - Comportamento da eficiência térmica com o rastreamento manual de 30 minutos.

O parâmetro do intervalo de tempo do rastreamento é muito importante, sendo que quanto menor o tempo em que o coletor fica desalinhado com o Sol, mais radiação o gerador solar consegue captar. Entretanto, para um rastreamento de tal detalhamento, devem-se levar em conta os gastos com o motor que faz o posicionamento do coletor, bem como o sistema eletrônico de controle, em caso de um rastreamento automático, por exemplo.

4.2 Dados para futuras previsões

Após verificar que o intervalo estabelecido para o rastreamento manual previne quedas bruscas de eficiência do coletor, é possível traçar comportamentos de tal aparelho para determinadas condições meteorológicas e período do ano, através de um banco de dados do funcionamento do coletor. Com a incidência solar direta, tem-se a potência fornecida ao coletor pela fonte renovável devido à geometria conhecida do coletor. Já com os dados de temperatura e vazão de água, é possível estimar a quantidade de calor trocada com o fluido por unidade de tempo, tornando o cálculo de eficiência um parâmetro mensurável ao longo do dia.

Dados de eficiência do coletor cônico foram mostrados na Fig. 7 para um dia ensolarado com nuvens, mas podem ser traçados comportamentos de potência útil e eficiência em função da incidência solar de forma análoga. Na Fig. 8 a potência de aquecimento da água é mostrada de acordo com o tempo em um teste no mês de Novembro durante um certo período do dia. É possível perceber que a presença de interferências na incidência direta em alguns momentos atrapalha o calor trocado com a água, mesmo que o sistema possua alguma inércia térmica. Para intervalos em que a

incidência direta é mais uniforme, percebe-se a mesma tendência do calor trocado com a queda na eficiência enquanto o coletor desalinha-se do Sol.

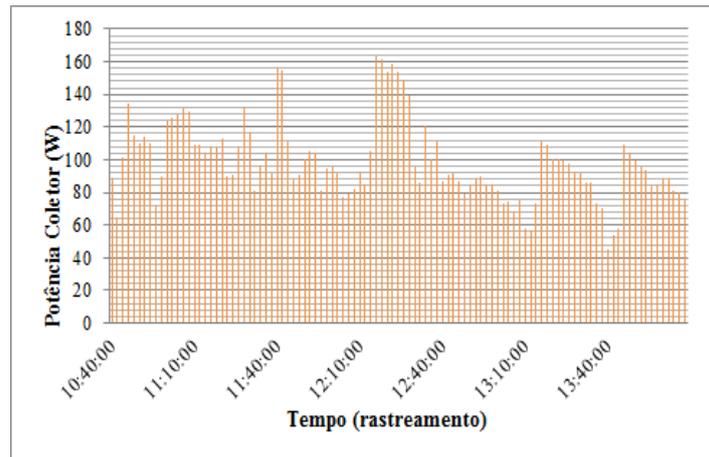


Figura 8 - Comportamento da potência do coletor utilizado para aquecimento.

Talvez o mais importante resultado do estudo do comportamento do coletor cônico com uso do rastreamento manual, é que, mesmo apresentando menos precisão e menor controle da incidência direta, este fornece uma razoável captação de energia do Sol, levando em conta o baixo custo do sistema, e também abre a possibilidade de se obter dados para previsões futuras. A fim de não ser necessária a realização de mais testes do coletor para diferentes situações em ocasiões futuras (aperfeiçoamento do projeto, rastreamento automático, acoplamento a mais coletores, dentre outros), com os dados até aqui coletados foi possível traçar um comportamento da eficiência do coletor para determinada incidência solar direta. Como os dados de radiação podem ser coletados e analisados instantaneamente, pode-se prever qual seria a eficiência e a troca de calor que ocorreria para determinado fluido se o coletor estivesse funcionando em tal situação. Isto é mostrado no gráfico de dispersão da Fig. 9, onde se observa a eficiência em relação à incidência solar direta.

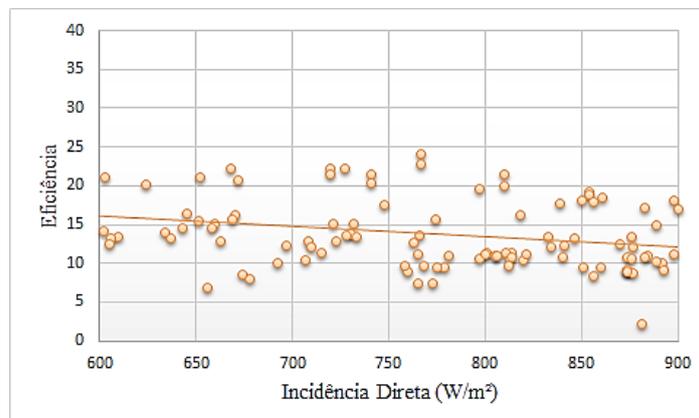


Figura 9 - Comportamento da eficiência do coletor cônico com a incidência solar direta.

5. CONCLUSÃO

O tempo de rastreamento de concentradores solares, tanto parabólicos quanto cônicos, os quais trabalham majoritariamente com a radiação solar direta, influencia bastante na eficiência térmica, como também na eficiência exergética do sistema para casos em que se almeja geração de energia elétrica. Concentradores solares, que trabalham direcionando a radiação para uma linha de foco, concentração linear, ou para um ponto de foco, concentração pontual, são intensamente influenciados por qualquer variação na radiação solar direta, de modo que uma simples passagem de nuvens, que bloqueiam a incidência dos raios solares nos coletores, causa uma diminuição acentuada na temperatura de saída do coletor solar, ocasionando, dessa forma, uma menor absorção de energia pelo sistema.

Este trabalho analisou a influência do tempo de rastreamento, por meio de rastreamento manual, na queda da eficiência térmica de um coletor cônico. Dois intervalos de tempo foram analisados: rastreamento a cada 1 hora e rastreamento a cada 30 minutos. O rastreamento a cada 1 hora mostrou uma queda na eficiência térmica de até 25% entre cada ajuste de orientação do concentrador, enquanto o rastreamento a cada 30 minutos mostrou uma queda de

aproximadamente 10%, em um dia ensolarado com nuvens. Mesmo sendo um sistema simples a priori, apresentando menos precisão e menor controle da incidência solar direta, este fornece uma razoável captação de energia do Sol, levando em conta o baixo custo do mesmo. Com os dados coletados durante alguns meses de experimento foi possível estimar o comportamento da eficiência térmica do concentrador para diferentes valores de incidência solar direta, de modo que este apresentou uma tendência de queda de aproximadamente 3% em uma variação de 300 W/m² na radiação solar direta. Logo, situações de variações bruscas na radiação solar direta, como a passagem de nuvens, não interferem de forma intensa na eficiência térmica, apesar de a energia absorvida diminuir bruscamente, já que é matematicamente determinada pela parcela de energia absorvida em meio à energia disponível.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro na realização do projeto.

REFERÊNCIAS

- Aldabó, R. Energia solar. São Paulo: Artliber, 2002. 155 p.
2013
- Arbizu, Alvaro Valero. Estudo de Melhoria de Desempenho de um concentrador Solar Cônico. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Ceará, 2013.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A. Solar engineering of thermal processes. 3ª ed. Hoboken: Wiley, 2006. p. 908.
- GreenPro Project. Energia Solar Térmica: manual sobre tecnologias, projeto e instalação. 2004.
- Hussain, M. I., Lee, G. H. Thermal performance evaluation of a conical solar water heater integrated with a thermal storage system. Energy Conversion and Management, v. 87, p. 267-273. 2014.
- Kaiyan, H., Hogfei, Z., Tao, T., Xiaodi, X. Experimental investigation of high temperature congregating energy solar stove with sun light funnel. Energy Conversion and Management, v. 50, p. 3051-3055. 2009.
- Kalagirou, S. Solar energy engineering: processes and systems. San Diego: Elsevier, 2009. p. 756.
- Mourão, R. R. F. Sol e energia no terceiro milênio. São Paulo: Scipione, 2007. 114 p.
- NASA, National Aeronautics and Space Administration, 2003. Solar System Exploration. Available at: <<http://solarsystem.nasa.gov/planets/profile.cfm?Object=Sun>>.
- Palz, W. Energia Solar e Fontes Alternativas. Editora Hemus, 2002.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Abreu, S. L., Ruther, R. Atlas brasileiro de energia solar. São José dos Campos: INPE, 2006. 60 p.
- Pinho, J. T., Galdino, M. A. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. CEPTEL, 2014. 530 p.
- Quaschning, V. Understanding Renewable Energy Systems. 2005.
- ReenergyBrasil. Somos a terra do Sol?, v. 2, p. 48-49. 2010.
- Togrul, I. T., Pehlivan, D. The performance of a solar air heater with conical concentrator under forced convection. International Journal of Thermal Science, v. 42, p. 571-581. 2003.
- Xiaodi, X., Hongfei, Z., Kaiyan, H., Zhili, C., Tao, T., Guo, X. Experimental study on a new solar boiling water system with holistic track solar funnel concentrator. Energy, v. 35, p. 692-697. 2010.

INFLUENCE OF TRACKING TIME ON A CONICAL SOLAR COLLECTOR EFFICIENCY

Abstract. *This paper presents an evaluation of a conical solar collector, installed at the Solar Energy and Natural Gas Laboratory (LESGN), in the Federal University of Ceará (UFC). With regard to the collector geometry, it is sensible to the natural movement of the Sun, so the system has been tested in different situations. By a performance analysis of the collector and the tracking system, it was possible to verify the efficiency data for specific irradiances in the Northeast of Brazil, allowing project specification forecasts, such as possible reached temperatures for the solar energy system to water heating. Furthermore, the tested tracking permits a more accurate control over the heating along the day, providing several applications for the hot fluid. Experiments carried out in this work showed variations of 25% and 10%, for 1 hour and for 30 minutes tracking intervals, respectively, in system thermal efficiency. In addition, the data allowed estimating the behavior of the efficiency for different beam radiation values, in order to become possible future evaluations of its behavior in different radiation incidence situations.*

Keywords: Solar Energy, Conical Solar Collector, Sun tracking.