

## DISPOSITIVO DE RASTREAMENTO SOLAR PARA A GERAÇÃO DESCENTRALIZADA DE ELETRICIDADE

**Danielle Alves Barbosa** – daniellealves@ifce.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Departamento de Indústria.

**Paulo Cesar Marques de Carvalho** – carvalho@dee.ufc.br

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica.

**Raimundo José Andrade de Menezes** – raimundo.menezes@uefs.br

Universidade Federal da Bahia, Mestrado em Engenharia Industrial.

**José Sigefredo Pinheiro Neto** – sigefredo\_nt@yahoo.com.br

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica.

**André Pimentel Moreira** – apmoreira@ifce.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Departamento de Indústria.

**Manuel Rangel Borges Neto** – manuel.rangel@ifsertao-pe.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sertão Pernambucano.

**Resumo.** Na maioria dos países em desenvolvimento, a geração descentralizada pode ser uma maneira viável de disponibilizar energia elétrica. Os custos da ampliação da rede para longas distâncias e pequenas demandas tornam esse procedimento caro. Assim, o presente artigo tem como objetivo avaliar o desempenho de um mecanismo automático de rastreamento solar com um grau de liberdade em relação a um painel fotovoltaico fixo. Devido à simplicidade, foi utilizado um sistema em malha aberta para o controle do posicionamento angular do rastreador. Valores de corrente e tensão foram coletados nos dois sistemas (fixo e móvel) a cada minuto e agrupadas as médias a cada trinta minutos, no período das 6 até às 18 horas. Os resultados demonstram que o sistema proposto de rastreador solar, com um grau de liberdade, apresentou melhoria na potência, 45,46% no dia nublado e 28,25% para o dia ensolarado com nuvens. O fotovoltaico utilizando rastreador solar teve um rendimento superior ao painel fixo. A diferença dos rendimentos foi de 1,71% para o dia nublado e 1,4% para o dia ensolarado com nuvens.

**Palavras-chave:** Rastreador Solar, Sistema Fotovoltaico, Geração descentralizada.

### 1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é recurso essencial e estratégico para o desenvolvimento social e crescimento econômico de uma nação. A qualidade de vida humana está fortemente relacionada com o consumo de energia, que tem aumentado constantemente nas últimas décadas nos países em desenvolvimento como uma consequência do crescimento das atividades agrícolas e industriais, da melhoria das condições sociais e à introdução de novas tecnologias. O resultado tem sido o crescente aumento da demanda de energia que pode deixar de ser cumprida pela tecnologia tradicional de geração de energia, pois esta não tem expandido na mesma proporção da demanda.

De acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2013), pode-se concluir que tanto a oferta quanto a demanda de energia elétrica cresceram nos últimos anos, porém a demanda esteve bem próxima da oferta. Em 2012, a diferença entre a oferta e a demanda foi apenas 0,6%. Isto significa que o Brasil não tinha grande excedente de energia elétrica, sendo, portanto necessário diversificar a matriz energética, além de descentralizar e incentivar a geração de energia elétrica através de fontes alternativas no País.

De acordo com Ricardo Baitelo, coordenador da Campanha de Energia do Greenpeace, geração descentralizada é a forma de gerar energia mais perto de onde consumida. É a maneira mais segura de garantir que não haverá falta de eletricidade no país. A descentralização evita as perdas de energia que acontecem no processo de transmissão e pode garantir fornecimento a um milhão de pessoas que ainda não têm energia elétrica no Brasil. (Greenpeace, 2011).

Sabe-se que a maioria das tecnologias e fontes energéticas usadas atualmente não são apropriadas ecologicamente e estão provocando sérios danos ao meio ambiente. Dentre as questões ambientais mais relevantes da atualidade, as mudanças climáticas globais, devido ao efeito estufa, se destacam, pois é um problema que ameaça o mundo inteiro.

Segundo a EPE (2013), a participação de renováveis na Matriz Elétrica Brasileira caiu de 88,9% em 2011 para 84,5% em 2012 devido às condições hidrológicas desfavoráveis e ao aumento da geração térmica utilizando carvão. O setor elétrico nacional apresenta um perfil bastante peculiar e distinto, pois é predominado pela geração a partir de fontes renováveis hidroelétricas (76,9%), que precisam de rios perenes para viabilizar sua construção. A região semi-árida brasileira, no entanto, conta apenas com o rio São Francisco com essa característica. Nesse caso, a energia utilizada no abastecimento dessa região brasileira precisa ser transportada a grandes distâncias através de linhas de transmissão, gerando custos de implantação e manutenção dessas redes. Por outro lado, outras fontes renováveis de

energia como a solar, eólica e biomassa estão presentes no semi-árido, tornando-se assim uma solução viável por serem ecologicamente corretas, serem amplamente distribuídas e principalmente por não poluírem e não contribuírem para o aquecimento global.

Além dos fatores mencionados, as energias renováveis, apesar do custo inicial relativamente mais alto comparado a sistemas convencionais, possuem características que as tornam atrativas como: uso e produção descentralizada, que envolve um grande número de produtores rurais, e baixo custo de manutenção.

No Brasil existem alguns fatores que favorecem uma expansão do mercado de módulos fotovoltaicos: o fato de ter grandes reservas de quartzo e silício, matérias-primas importante para a construção dos painéis (CGEE, 2009) e possuir um potencial solar muito favorável à geração. Por exemplo, os níveis médios de irradiação solar no Brasil variam de 4,25 a 5,50 kWh/m<sup>2</sup>.dia. Como comparação, na Alemanha estes índices variam entre 2,5 e 3,4 kWh/m<sup>2</sup>.dia e, na Espanha, de 3,3 a 5,1 kWh/m<sup>2</sup>.dia (Pereira et al. , 2006; EPE, 2013).

Uma motivação adicional surgiu em 2012 na área da regulamentação. A resolução 482 da ANEEL, publicada em abril de 2012, fornece as condições gerais para o acesso da micro-geração (até 100 kW) e da mini-geração (de 100 kW a 1 MW) à rede de distribuição. A 482 considera as fontes hidro, solar, eólica, biomassa ou cogeração como fontes de eletricidade para alimentar a rede. Com tais iniciativas, um cenário otimista para unidades FV conectadas à rede no Brasil parece finalmente se tornar realidade.

## 2. RASTREADOR SOLAR

A energia solar incidente no planeta, sempre alvo de pesquisas, é considerada uma energia limpa e inesgotável, o que fez com que a humanidade, através de diversas tecnologias, procurasse captá-la de alguma forma e armazená-la. O sistema de conversão de energia solar em elétrica, através de placas fotovoltaicas (FV), é uma forma de produzir energia elétrica através do sol. Os raios solares não transferem somente o calor a sistemas térmicos, possuem comprimentos de ondas diferenciados, com o qual pode-se obter a energia elétrica.

A geração FV apresenta como vantagens:

- Baixo impacto ambiental;
- A possibilidade de serem instalados próximos aos centros de carga, aliviando as linhas de transmissão;
- A ausência de partes móveis no sistema de geração, o que facilita e simplifica a manutenção;
- A modularidade do sistema, o que permite a expansão da potência instalada;
- A não-emissão de gás carbônico ou outros gases poluentes nocivos ao meio ambiente.

Nos últimos cinquenta anos, o uso da energia solar no mundo tem crescido consideravelmente em suas principais modalidades de aproveitamento: térmica e fotovoltaica. Apesar da significativa evolução da tecnologia FV ao longo das últimas décadas, o custo da eletricidade produzida por esses sistemas continua sendo elevado quando comparado à eletricidade produzida por sistemas convencionais. Diversos meios que tendem a reduzir esses custos têm sido experimentados, dentre os quais o uso de dispositivos de acompanhamento do movimento do Sol (rastreadores). (Oliveira, 2007).

Um módulo FV gera uma maior quantidade de eletricidade quando o módulo está faceando diretamente o Sol. Assim, a utilização de um rastreador solar aumenta a produção de eletricidade proporcionando um menor ângulo de incidência dos raios solares no painel.

A eficiência de um módulo FV é definida pela relação entre a potência gerada pelo módulo e a irradiação incidente sobre o módulo. Segundo Treble (1980), a eficiência do módulo pode ser obtida pela Eq. 1.

$$\eta = \frac{(I_{mp} \cdot V_{mp})}{I_c \cdot A} \cdot 100 \quad (1)$$

$I_{mp}$  = Corrente máxima de potência (A)

$V_{mp}$  = Tensão máxima de potência (V)

$I_c$  = Irradiância solar (W/m<sup>2</sup>)

$A$  = Área útil do módulo (m<sup>2</sup>)

### 3. INFRAESTRUTURA LABORATORIAL

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Energias Alternativas (LEA) da Universidade Federal do Ceará (UFC). A planta FV do LEA é composta por dois sensores magnéticos do tipo *reed switches* ORD 211 (Fig. 1(a)), um piranômetro CMP 3 (Fig. 1(b)), placa de condicionamento e aquisição de sinais, composta por dois disjuntores, quatro relés de acionamento das cargas, dois sensores de corrente por efeito hall ACS 756 e dois sensores de tensão (Fig. 1(c)), oito painéis FV modelo KC 85T (Fig. 1(d)), um controlador lógico programável (CLP) Twido modelo TWDLC-E40DRF e sete módulos de expansão analógica (um módulo TM2AMI4LT, um módulo TM2AMM6HT e cinco módulos TM2AMI8HT) (Fig. 1(e)), software de supervisão e controle (Eclipse SCADA PRO) (Fig. 1(f)).

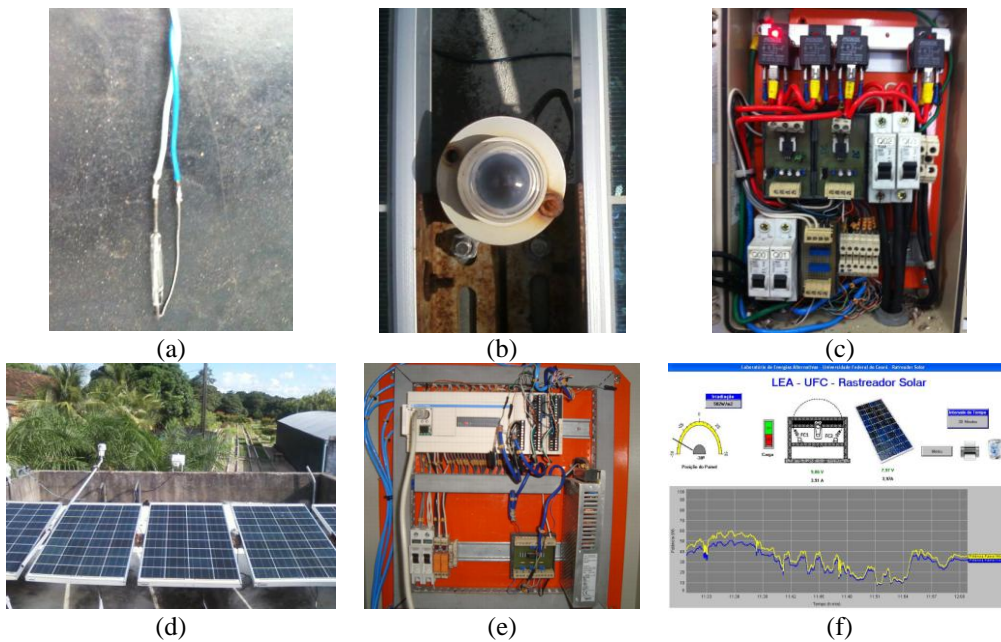


Figura 1 - Planta FV do LEA.

### 4. METODOLOGIA

A escolha do número de eixos depende da variação dos ângulos azimutal e zenital. O primeiro eixo é responsável pelo sentido leste e oeste e o segundo eixo pelo sentido norte e sul. Como Fortaleza fica localizada próxima à linha do equador (Latitude  $03^{\circ}43'02''$ , Longitude  $38^{\circ}32'35''$  e altitude 21 metros) não existe ganho significativo em adotar rastreamento no sentido norte-sul. Dessa forma, foi utilizado para a aquisição de dados da planta FV um rastreador de um grau de liberdade.

O rastreador possui uma armação fixa e uma plataforma móvel, onde foi fixado o painel. A plataforma, juntamente com o painel, possui inclinação de  $15^{\circ}$  em relação ao solo, conforme observado na Fig. 2. A inclinação foi estabelecida a fim de evitar o acúmulo de poeira, fator que reduz a eficiência na geração de eletricidade.

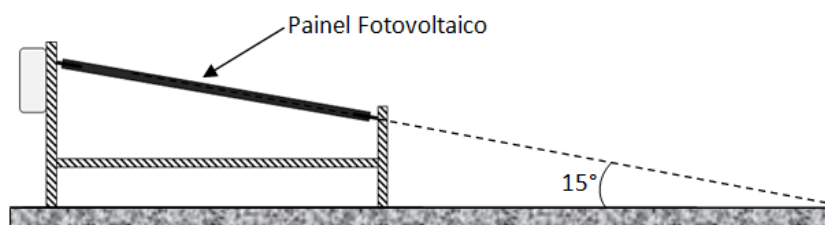


Figura 2 - Inclinação do painel FV.

O movimento de rotação da plataforma juntamente com o painel móvel é realizado pela transmissão entre a correia, polias e engrenagens que são acionados por um motor de passo. O mecanismo de acionamento da plataforma de giro do rastreador pode ser observado na Fig. 3.

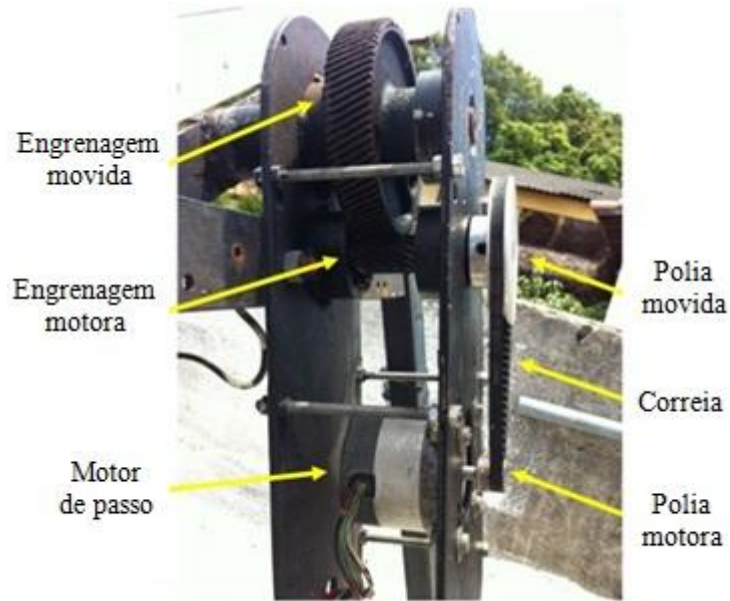


Figura 3 – Mecanismo do rastreador solar desenvolvido.

A fim de constatar a eficácia do sistema de rastreamento proposto e justificar novos testes e algoritmos de controle em malha fechada, foi utilizado o sistema de controle em malha aberta. Os dados de corrente e tensão foram coletados com intervalos de três minutos durante dois diferentes dias (parcialmente nublado e ensolarado com nuvens).

Os dados foram agrupados em intervalos de trinta minutos e comparados com os dados de um painel semelhante fixado em uma base, com a mesma inclinação em relação ao solo ( $15^\circ$ ). Na Fig. 4 é observado o esquema de ligação da planta FV do LEA utilizando um painel fixo e outro móvel.

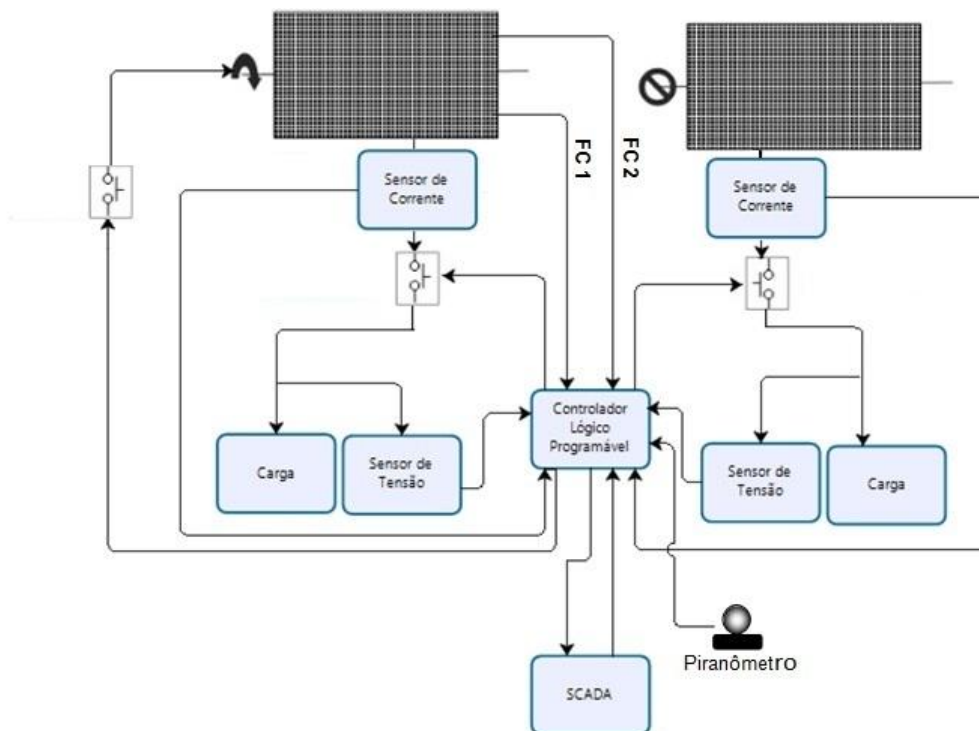


Figura 4 - Esquema de ligação da planta FV do LEA.

As correntes dos painéis são medidas através dos sensores instalados em série com a carga. Os sensores utilizados foram do tipo hall modelo ACS758, que possuem baixa perda de energia.

Para medir as tensões dos painéis foram adicionados, em paralelo, potenciômetros (trimpot) multivoltas 20 K, 1/8 W. O cursor corre sobre um cilindro de material resistivo em espiral de modo que, em lugar de termos a varredura da

resistência total em pouco menos de uma volta, têm-se a varredura mais lenta e precisa. Para os tipos comuns são dadas 10 voltas para se percorrer a resistência total do componente.

Foram utilizadas como cargas lâmpadas de 12 V e 55 W para cada painel. Para medir a irradiância foi utilizado o piranômetro modelo CMP 3, que é usado para medir o fluxo de radiação solar incidente sobre uma superfície plana num campo visual a 180 graus.

O motor de passo utilizado para movimentar a plataforma do rastreador solar é do Modelo 4034-326-T. A configuração adotada para a energização das bobinas foi a ligação unipolar, devido à simplicidade do controle e que apresenta um bom desempenho no funcionamento.

A fim de proteger as saídas do CLP foi utilizada uma placa com seis relés de 12 V 15A (Fig. 5); porém devido à ligação unipolar foi necessário utilizar apenas quatro relés.

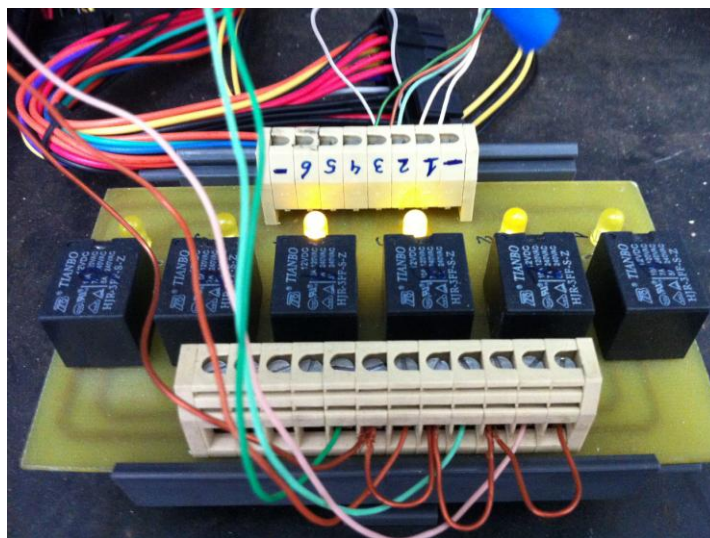


Figura 5 - Ligação Unipolar.

Embora o motor de passo tenha seis fios, dois desses fios são ligados internamente no centro de duas bobinas. Ao conectar o motor de passo nas saídas do CLP através dos relés, os fios que estão ligados ao centro das bobinas são interligados no mesmo terminal. Esses fios são conhecidos por “center-tape” e têm como função alimentar o motor, enquanto que os terminais quando aterrados, efetuam o controle do movimento. A ligação unipolar pode ser vista na Fig. 6 e na Tab. 1 as características do motor de passo Modelo 4034-326-T.

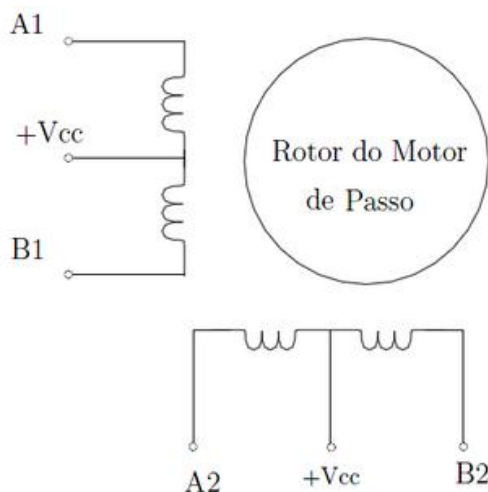


Figura 6 - Ligação Unipolar. Fonte: (Inovabots, 2013).

Tabela 1 - Características do motor de passo Modelo 4034-326-T. Fonte: (Gecko, 2013).

Descrição	Dados
Torque estático	15 Kg.cm
Diâmetro do eixo	3/8"
Corrente para ligação unipolar	4,7 A
Inércia	560 g.cm <sup>2</sup>
Peso do Motor	1,5 Kg
Quantidade de Fios	6 fios
Resolução	200 PPR
Temperatura ambiente	-20 °C à +50 °C
Classe de isolamento	Até 130 °C

Através do *real time clock* (RTC) do CLP, foi estipulado o horário de funcionamento do rastreador de 6hs às 18hs. O incremento e o intervalo de posicionamento angular do painel foram definidos empiricamente, onde foi estabelecida a faixa de trabalho (nascente ao poente) do rastreador em 100 graus (-50 a +50) e o intervalo de trinta minutos, gerando uma variação de 4,2 graus no painel, que pode ser alterado através do sistema de supervisão.

Além do incremento e do intervalo do posicionamento angular foi definida a posição inicial diária do painel fotovoltaico na nascente, que sempre ocorre quando o rastreador aciona o fim de curso FC2 (poente) ou quando o RTC indicar 18 horas e 5 minutos.

Com o fim de curso FC1 (nascente) acionado e horário do RTC indicando 6 horas, um temporizador do CLP inicia a contagem do tempo. Após o intervalo de tempo, estabelecido no sistema de supervisão, ser atingido é habilitado um contador no CLP. Os pulsos são enviados para o motor de passo até que o fim de curso FC2 (poente) seja novamente acionado, fazendo que o rastreador solar retorne para posição inicial para realizar um novo ciclo. Na Fig. 7 pode ser observado o movimento de rotação do rastreador solar do LEA.

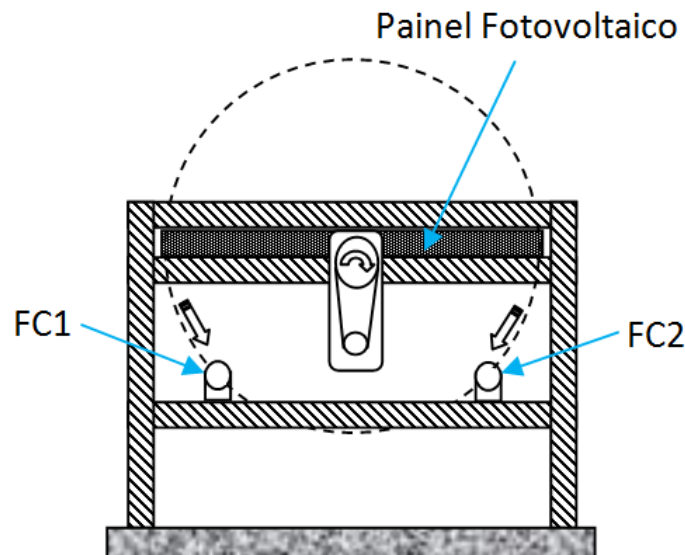


Figura 7 - Movimento de rotação do rastreador solar.

## 5. RESULTADOS

Observa-se através da análise da média dos dados de potência entre o painel fixo e o painel móvel no dia parcialmente nublado, que no intervalo de 6h às 6h30min as potências são nulas. Durante o intervalo de 7h30min às 10h30min observa-se um crescimento significativo da potência do painel móvel em relação ao painel fixo. Esse fator é justificado devido ao mecanismo proporcionar menor ângulo de incidência de radiação no painel móvel. A potência gerada nesse intervalo foi de 35 W e 23 W para painel móvel e painel fixo, respectivamente.

Conforme mencionado anteriormente, os dados foram coletados em um dia nublado com precipitações. Portanto, no intervalo de 10h30min às 12h30min observa-se uma queda acentuada nas potências dos painéis com valores de 2,8 W (painel fixo) e 3,5 W (painel móvel). Ainda nesse intervalo, percebe-se que as potências são praticamente idênticas, fato justificado devido ao alinhamento horizontal de ambos os painéis.

No intervalo de 12h30min às 13h e de 14h às 14h30min observa-se a retomada momentânea da potência, devido à instabilidade do tempo. Nesse intervalo foram verificados os valores máximos das médias das potências (39 W – painel móvel e 32 W – painel fixo).

A partir das 14h30min percebe-se a redução das potências e assim como no intervalo de 7h30min às 10h30min observa-se que a potência do painel móvel em relação ao painel fixo ainda continua maior. Da mesma forma do intervalo mencionado, esse fator é ocasionado devido ao menor ângulo de incidência ao plano do painel móvel. Na Fig. 8 são observadas as curvas de potência do painel fixo e do painel móvel para o dia parcialmente nublado.

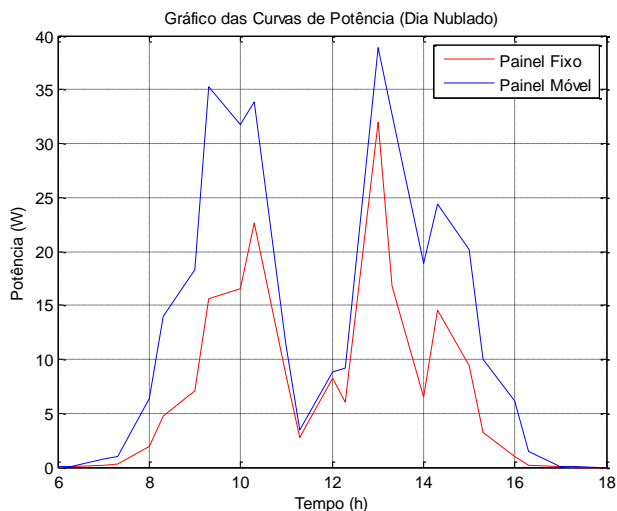


Figura 8 - Curvas de potência do painel fixo e do painel móvel para o dia parcialmente nublado.

As curvas de potências do painel fixo e painel móvel para o dia ensolarado com nuvens apresentam algumas semelhanças com as curvas do dia nublado. Entre estas, a maior potência observada foi no início da manhã e final da tarde devido ao rastreador posicionar o painel com menor ângulo de incidência. Da mesma forma, no intervalo de 11h às 13h observa-se que as potências são praticamente idênticas, devido ao alinhamento horizontal de ambos os painéis.

As curvas apresentam oscilações nas potências em diversos intervalos de tempo. Esse fator é atribuído à grande quantidade de nuvens, que reduzem os níveis de irradiação solar. Os valores de pico da potência foram 46 W e 43,5 W para os painéis móvel e fixo, respectivamente. Na Fig. 9 são observadas as curvas de potência do painel fixo e do painel móvel para o dia ensolarado com nuvens.

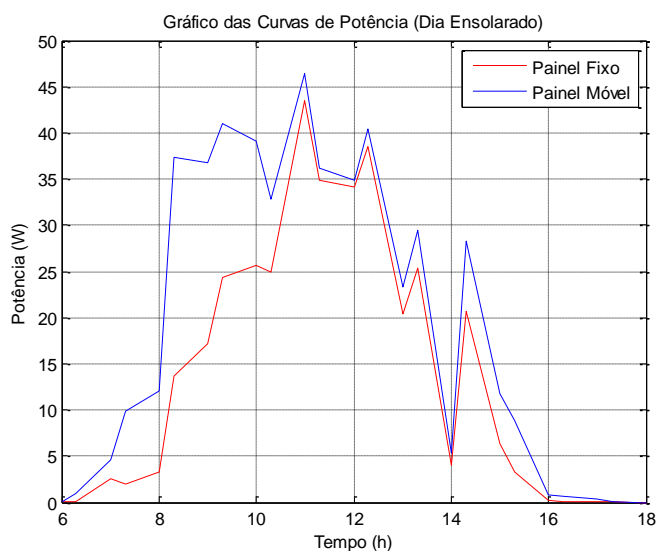


Figura 9 - Curvas de potência do painel fixo e do painel móvel para o dia ensolarado com nuvens.

A média diária de potência do painel móvel para o dia nublado foi de 13,08 W e para o painel fixo foi de 7,13 W. Ou seja, o painel móvel teve a média de potência 45,4 % maior do que o painel fixo. Da mesma forma, no dia ensolarado o painel móvel obteve média diária de 20,05 W e 14,38 W para o painel fixo. Ou seja, o ganho de potência do painel móvel foi de 28,25 % em relação ao painel fixo.

Em termos de potencia máxima registrada para os dias nublado e ensolarado, a potência do painel móvel no dia nublado foi 17,94 % maior do que a potencia do painel fixo e para o dia ensolarado com nuvens, um acréscimo de 5,4 %.

Para os dias nublado e ensolarado, o painel com rastreador obteve um melhor rendimento. Para calcular o rendimento foram utilizados os máximos valores de irradiação, corrente e tensão e aplicados na Eq. 1. Para o dia nublado, o rendimento do painel fixo foi de 3,54% e para o painel móvel foi de 5,25%. No dia ensolarado, o rendimento do painel fixo foi de 4,1% e para o painel móvel foi de 5,5%.

Considerando o funcionamento diário do motor de passo e do CLP em 0,0015 horas e 24 horas, foram calculadas as potências diárias consumidas, sendo 0,036 W do motor de passo e 73,728 W do CLP. A potência gerada pelo painel fotovoltaico no período de 12 horas no dia nublado foi 172,32 W e no dia ensolarado 237,84 W, portanto os ganhos diários de potência para o dia nublado e ensolarado foram 0,098556 kW e 0,164076 kW, respectivamente.

## 6. CONCLUSÕES

Os resultados oriundos de dois dias de medição indicam que o sistema proposto de rastreador solar, com um grau de liberdade, apresenta melhoria significativa na potência média diária, 46% no dia nublado e 28,25% para o dia ensolarado com nuvens.

O painel FV utilizando rastreador solar teve um rendimento superior ao painel fixo. A diferença dos rendimentos foi de 1,71% para o dia nublado e 1,4% para o dia ensolarado com nuvens. Os ganhos de potência diária foram 0,098556 kW e 0,164076 kW, respectivamente.

Como esperado, o sistema proposto apresentou, em relação ao existente (painel fixo), maior potência nos períodos da manhã e da tarde devido ao menor ângulo de incidência dos raios solares no painel. Esse fator ficou evidenciado na distribuição das médias das potências diárias, principalmente no dia nublado, onde ocorreu precipitação no período em que os painéis se encontravam praticamente na posição horizontal (11h às 13h). Nesta posição o painel fixo tem o seu melhor desempenho. Esse fator contribuiu para validar a eficiência do painel móvel nos períodos da manhã e tarde.

O posicionamento do rastreador solar utilizando malha aberta com a utilização de temporizadores e contadores do CLP foi satisfatório.

## REFERÊNCIAS

- CGEE Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Estudo prospectivo em energia fotovoltaica**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2009. (Nota Técnica).
- EPE. **Balanco Energético Nacional 2013 – Ano base 2012: Relatório Síntese**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2013.
- Greenpeace. **Há luz no fim do túnel: Gerar energia próximo ao local de consumo é alternativa para evitar apagão generalizado**. 2011. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/Ha-luz-no-fim-do-tunel/>>. Acesso em: 03 abr. 2012.
- Inovabots. **Ligação Unipolar em Motores de Passo**. Disponível em: <<http://inovabots.com/tutoriais/motores/motores-de-passo/ligacao-unipolar/>>. Acesso em: 7 ago. 2013.
- Oliveira, C. A. A. De. **Desenvolvimento de um protótipo de rastreador solar de baixo custo e sem bateria**. Dissertação de Mestrado (Tecnologias Energéticas e Nucleares). 80 f. 2007. Universidade Federal de Pernambuco. Recife - PE - [S.l.]. 2007.
- Pereira, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.
- Treble, F. C. **Gerating electricity from de sun**. New York: Pergamon Press, 1991.

## EVALUATION OF THE DEVICE TRACKING SOLAR FOR DECENTRALIZED GENERATION OF ELECTRICITY

**Abstract.** *In most developing countries, decentralized generation can be a viable way to provide electricity. The cost of grid expansion for long distances and small demands make this an expensive procedure. The present article aims to evaluate the performance of an automatic solar tracking mechanism with one degree of freedom in relation to a fixed photovoltaic panel. Due to the simplicity, an open loop system was used for the control of the angular positioning of the tracker. Current and voltage values were collected in two systems (fixed and mobile) every minute and grouped the averages every thirty minutes in the period 6 am to 6 pm. The results demonstrated that the proposed system of solar tracker, with a degree of freedom, showed significant improvement in power, 45.46% in the overcast day and 28.25% for the sunny day with clouds. The photovoltaic panel using solar Tracker had a yield greater than the fixed Panel. The difference in yields was 1.71% for the overcast day and 1.4% for the sunny day with clouds.*

**Keywords:** Tracking Solar, Photovoltaic System, Decentralized Generation.