



DESENVOLVIMENTO DE SEGUIDOR SOLAR DE DOIS EIXOS COM SUPORTE PARA CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Gustavo Alves Silveira, gustavo93silveira@gmail.com¹

José Orlando Rodrigues Santos, orlando.jors@gmail.com¹

Douglas Bressan Riffel, dbr.ufs@gmail.com¹

¹Universidade Federal de Sergipe, Avenida Marechal Rondon, S/n - Jardim Rosa Elze, São Cristóvão - SE, 49100-000,

Resumo: *Os seguidores solares são mecanismos capazes de aumentar o aproveitamento da energia solar por sistemas fotovoltaicos. No entanto, os altos custos dos seguidores inviabilizam suas utilizações em alguns sistemas. Buscando desenvolver um seguidor solar de baixo custo, foram projetados três modelos de seguidores solares de dois eixos e dois protótipos foram construídos para realização de testes. O primeiro protótipo do seguidor utiliza dois motores de corrente contínua e eixos longos fabricados em impressora 3D, o segundo utiliza dois motores de passo e suporte para células fotovoltaicas e lentes Fresnel acoplado no eixo do motor superior e o terceiro consiste na variação do segundo protótipo, utilizando correia e polia para movimentação do aparato. O protótipo do primeiro modelo mostrou-se inviável devido à folga dos eixos dos motores de corrente contínua, enquanto o protótipo do segundo modelo apresentou resultados satisfatórios em relação à precisão no posicionamento, apesar da existência de inclinação indesejada do suporte para células fotovoltaicas em relação à caixa do seguidor. A construção e teste de funcionamento do protótipo do terceiro modelo serão realizados posteriormente.*

Palavras-chave: *energia solar, seguidor solar, dois eixos*

1. INTRODUÇÃO

O inevitável esgotamento das fontes tradicionais de obtenção de energia aliado a constantes pressões de órgãos ambientais têm despertado o interesse pelo estudo de obtenção de fontes alternativas. O Brasil é um exemplo mundial na utilização de fontes de energia renovável dentro da sua matriz energética. Mesmo assim, recomenda-se uma maior diversificação, pois evita colapsos como os experimentados no início deste século. Neste contexto, a energia solar apresenta-se como uma das melhores alternativas, tendo em vista a problemática da questão ambiental e o aquecimento global.

Áreas de desertos ou regiões semiáridas, bem como os telhados de construções, são espaços ideais para o aproveitamento da energia solar, uma vez que não competem com as atividades agrícolas. Em particular, a região Nordeste do Brasil apresenta condições bastante favoráveis para o aproveitamento da radiação solar.

Atualmente o governo vem regularizando e fomentando investimentos nesse setor. A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) regulamentou a geração distribuída em 2012 e, em 2015, expandiu o conceito a consórcios ou cooperativas. Com um crescimento exponencial, mesmo com a crise político-econômica vigente no país, a geração fotovoltaica distribuída já atingiu 42,8 MWp instalados, totalizando mais de seis mil conexões a rede. O estado de Sergipe, em agosto de 2016, totalizava apenas 10 conexões e pouco mais de 20 kWp, mas com a recente adesão convênio Confaz 16/2015, que isenta de ICMS o consumo de créditos de energia gerados, espera-se uma crescente expansão (ANEEL, 2016).

Na geração centralizada, a ANEEL, através do acompanhamento da expansão da oferta de energia elétrica, relata que existem 288 MW em usinas fotovoltaicas com licença ambiental de instalação vigente e obras civis em andamento capazes de entrar em operação já em 2017 e outros 2692 MW com previsão para os próximos três anos. Em dezembro, está previsto o 2º LER/2016, onde irão concorrer outros 419 projetos de geração fotovoltaica que totalizam 13,3 GWp. O estado de Sergipe, novamente, não apresentou nenhum projeto. Paralelo a isso, a Bahia apresentou 101 projetos.

A empresa de pesquisa energética - EPE (2015) analisando os empreendimentos vencedores do 2º LER/2015 concluiu que 73% utilizaram rastreamento de um eixo (acompanhamento do sol durante o dia, na direção leste-oeste). Esses empreendimentos, ainda, apresentaram um fator de capacidade aproximadamente 25% superior aos sem rastreamento.

2. SEGUIDOR SOLAR

Seguidor solar é o dispositivo responsável por rastrear o Sol, reorientando o plano de captação na direção do sol para aproveitamento da energia solar ou medição de radiação por equipamentos, como painéis fotovoltaicos e pireliômetros. No caso de painéis fotovoltaicos, objetivo desta reorientação é aumentar a captação da radiação direta da luz solar, através do aumento da área de incidência dos raios solares. A maior área de incidência é obtida sempre que a

superfície do aparato estiver formando um ângulo reto com os raios solares. Segundo Yao *et al* (2014) experimentos comprovam que a produção de energia elétrica é maior em módulos fotovoltaicos equipados com seguidor solar que em sistemas que não dispõem deste dispositivo.

A classificação dos seguidores solares é realizada segundo dois parâmetros principais: número de eixos e tipo de controle. Em relação ao número de eixos, os seguidores apresentam um único eixo ou dois eixos. O seguidor de um eixo realiza rotação em apenas um eixo, podendo ser polar ou horizontal. O seguidor de duplo eixo realiza movimentação no plano horizontal e vertical simultaneamente (TUDORACHE, 2010).

A classificação baseada no tipo do controle divide os seguidores em duas categorias: ativos e passivos. Os seguidores passivos não utilizam sistema de controle eletrônico, podendo utilizar expansão térmica de um fluido quando há incidência de luz solar e os seguidores ativos utilizam motores para seguimento, interpretando sinais de sensores ou algoritmos cronológicos e utilizando controle eletrônico de posição (LIRA, 2014).

3. PROTÓTIPOS

3.1 Primeiro modelo

O desenvolvimento do primeiro modelo iniciou-se com a adequação de um pré-projeto do seguidor elaborado por um estudante francês em seu período de estágio na Universidade Federal de Sergipe, em 2014. Os principais componentes do seguidor, motores e redutor, não eram vendidos no mercado nacional, assim fez-se necessária a seleção de novos motores para o seguidor.

A orientação em direção ao sol de um equipamento para medição de radiação solar direta, pireliômetro, é o principal objetivo deste modelo. O rastreamento deve ocorrer com boa precisão, em dois eixos, pois a medição correta da radiação ocorrerá apenas se o pireliômetro estiver direcionado ao sol. Para este protótipo de seguidor de dois eixos, selecionou-se um motor que apresentasse os pré-requisitos estabelecidos: baixo custo, presença de redutor e disponibilidade no mercado nacional. Assim, os motores elétricos de corrente contínua utilizados para elevação de vidros de carros foram selecionados.

O protótipo do seguidor, apresentado na

Figura 1, consiste em duas caixas retangulares com furo para passagem dos eixos acoplados aos eixos dos motores, dois motores de corrente contínua, dois eixos impressos em impressora 3D e potenciômetros conectados aos eixos. O motor inferior é responsável pela movimentação do sistema no plano horizontal, modificando o ângulo azimute de rastreamento, e o motor superior movimenta o sistema no plano vertical, alterando o ângulo de elevação do aparato.

Para o teste de funcionamento do seguidor solar, fabricou-se um dispositivo composto de quatro sensores do tipo LDR (*Light Dependent Resistor*), que variam sua resistência interna de acordo com a luz incidente sobre eles, e de estrutura capaz de fornecer sombra sobre estes sensores em caso de direcionamento incorreto em relação ao sol.

Para a realização de teste em laboratório, utilizou-se uma lâmpada de luz amarela em substituição à luz solar. O teste consistiu na movimentação da lâmpada sobre a caixa superior do seguidor solar e a rotação do motor acontece em caso de leituras diferentes dos valores das resistências dos sensores LDR. A programação inserida no sistema é responsável por comparar os valores das resistências dos sensores e enviar sinal para movimentação do motor nos sentidos horário e anti-horário, fazendo com que os sensores estejam igualmente iluminados, orientando-os perpendicularmente aos raios de luz.

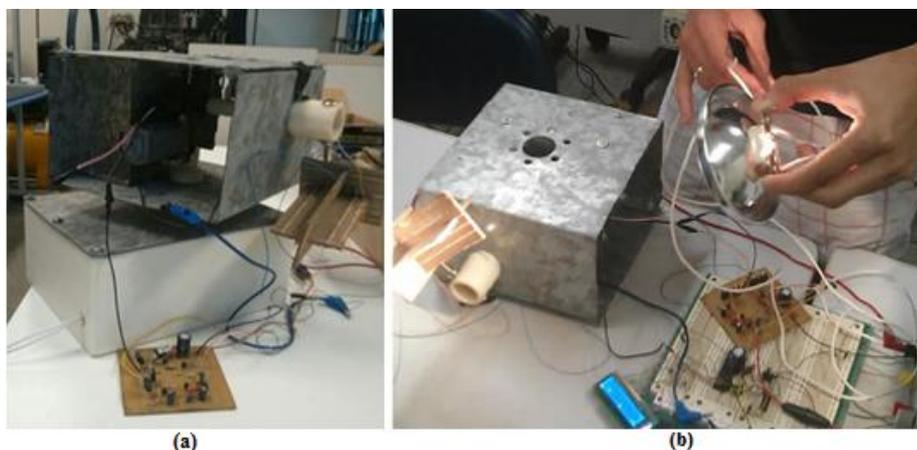


Figura 1: (a) Protótipo do primeiro seguidor solar e (b) teste de funcionamento.

O seguidor solar apresentou rastreamento satisfatório da lâmpada e o movimento de rotação do motor ocorreu nos dois sentidos ao variar a posição da lâmpada. Porém, houve instabilidade da estrutura de zinco do seguidor e uma folga no eixo do motor foi observada durante seu funcionamento. Além disso, verificou-se que esta folga está presente nos motores elétricos utilizados para elevação de vidros de carros no mercado nacional. Para correta medição da radiação direta utilizando o pireliômetro, a precisão na movimentação do seguidor solar é indispensável e esta folga característica deste tipo de motor elétrico impossibilita a precisão necessária e, por isso, a sua utilização no seguidor solar com esta finalidade é inviável.

Tabela 1: Análise de modo e efeito de falha FMEA para motores do seguidor solar.

Descrição do Produto	Função(ões) do Produto	Tipo de Falha Potencial	Efeito da Falha Potencial	Causa da Falha em Potencial	Ações de Melhoria Ações Recomendadas
Motor Inferior	Transmitir movimento à caixa superior (horizontal)	Folga do eixo do motor	Erro de precisão no rastreamento	Desgaste, erro de fabricação, montagem	Inspeção periódica do motor, aquisição de motores mais precisos
		Alteração de rotação	Erro de precisão no rastreamento	Tensão de alimentação incorreta (Inferior ou superior)	Verificação e testes da tensão de alimentação do motor
Insuficiência/excesso de rotação no rastreamento					
Motor Superior	Transmitir movimento ao pireliômetro (azimutal)	Folga do eixo do motor	Erro de precisão no rastreamento	Desgaste, erro de fabricação, montagem	Inspeção periódica do motor, aquisição de motores mais precisos
		Alteração de rotação	Erro de precisão no rastreamento	Tensão de alimentação incorreta (Inferior ou superior)	Verificação e testes da tensão de alimentação do motor
Insuficiência/excesso de rotação no rastreamento					

Na fase de projeto do protótipo, elaborou-se uma análise de modo e efeito de falha deste protótipo (*Failure Mode and Effect Analysis*, FMEA, em inglês). Nesta análise, todos os componentes do seguidor e suas respectivas funções foram listados. Em seguida, as potenciais falhas de cada componente, suas causas e efeitos foram considerados. Por fim, determinaram-se ações recomendadas para eliminação de cada falha ou de sua causa.

A folga no eixo do motor é uma falha do motor elétrico que provoca erro na precisão no rastreamento, como mostrado na Tabela 1. A ação recomendada para eliminação desta falha apresentada no primeiro protótipo é a aquisição de motores mais precisos e, por isso, um segundo projeto de seguidor solar foi elaborado utilizando novos motores e um novo protótipo construído.

3.2 Segundo modelo

O teste realizado no primeiro protótipo possibilitou a descoberta de erros de funcionamento que deveriam ser corrigidos no segundo protótipo, como folgas no eixo do motor e instabilidade da estrutura. Um novo projeto de seguidor foi realizado para correção destes erros e, assim, os motores elétricos de corrente contínua foram substituídos por motores de passo.

A nova configuração, mostrada na Figura 2 consiste em um suporte em formato de “L” para os motores de passo e seus respectivos *drivers* fabricado em aço SAE 1020 de espessura três milímetros. Os dois motores de passo encontram-se fixos nas faces do suporte de maneira que os eixos dos motores formem um ângulo reto entre si para garantir a movimentação nos planos horizontal e vertical do aparato acoplado ao seguidor.

Além disso, o suporte apresenta furos para passagem dos eixos de motores, permitindo a conexão de peças de náilon nos eixos que facilitam a fixação de suporte para células fotovoltaicas. Para verificação da posição angular do eixo do motor, *encoder* com eixo vazado foi conectado ao motor de passo responsável pela movimentação no plano vertical.

Os erros do primeiro protótipo foram solucionados com esta configuração: a nova estrutura de aço mostrou-se estável e as folgas foram removidas com a troca dos motores. A maior dimensão do seguidor solar apresenta cerca de 30 cm e seu formato compacto é um ponto positivo em relação ao primeiro protótipo.

Este protótipo possui a finalidade de realizar o rastreamento solar para correta orientação de um conjunto de lente Fresnel e células fotovoltaicas. Para fixação de células fotovoltaicas e lente Fresnel, fabricou-se uma estrutura de perfis

de alumínio unidos por rebites em que a lente Fresnel deve ser fixada no topo desta estrutura e as células fotovoltaicas logo abaixo. A distância entre as células e a lente pode ser ajustada para no máximo 30 cm, permitindo a realização de medições em diferentes distâncias. Para validação desta estrutura, foram realizadas simulações computacionais de carregamentos e observaram-se os esforços atuantes.



Figura 2: (a) Segundo protótipo do seguidor solar e (b) suporte para lente Fresnel e células fotovoltaicas acoplado ao seguidor.

Testes com o seguidor solar junto ao suporte foram executados em laboratório para o motor de passo inferior, visando analisar o comportamento deste quando em movimento responsável pela movimentação. Este motor é responsável pela movimentação do seguidor no plano horizontal. Os principais parâmetros observados foram estabilidade da estrutura e precisão de posicionamento durante funcionamento. O seguidor com o suporte apresentou excelente resultado em relação à precisão posicionamento do eixo do motor, como pode ser observado no gráfico da Figura 3. O gráfico foi criado através do *software* ES Series Protuner para controle de drivers.

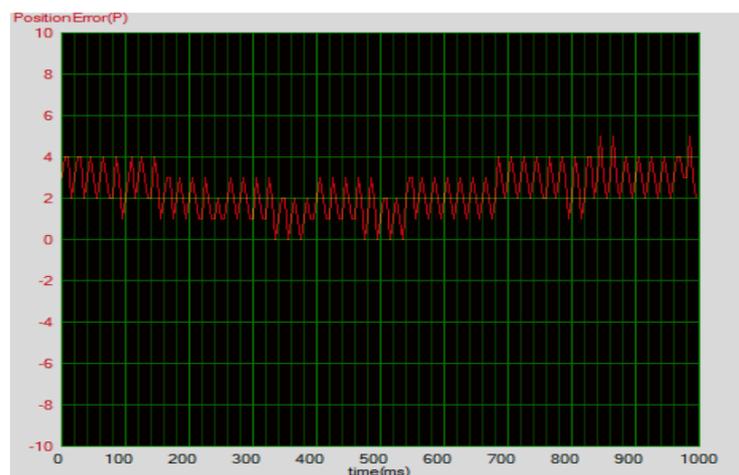


Figura 3: Gráfico do erro de posicionamento em relação ao tempo do motor de passo.

Porém, uma inclinação indesejada do suporte para lente Fresnel e células fotovoltaicas em relação ao eixo vertical foi o principal ponto negativo encontrado neste protótipo. Esta inclinação possui valor aproximado de 5° e é inevitável nesta configuração, pois a massa do suporte para a lente e para células fotovoltaicas e a dificuldade de fixação do suporte em decorrência do tamanho reduzido do eixo do motor provocam esta inclinação.

Considerando os resultados dos testes realizados em laboratório que mostraram a precisão de posicionamento do segundo protótipo do seguidor solar, conclui-se que esta configuração proposta pode ser utilizada na medição de radiação direta por um pireliômetro.

3.3 Terceiro modelo

O projeto do terceiro modelo foi realizado com o objetivo de eliminar a inclinação indesejada do suporte para a lente Fresnel e para as células fotovoltaicas, aproveitando os pontos positivos do modelo anterior. Neste modelo, os motores de passo serão mantidos por apresentarem precisão no posicionamento, mas devem ser reposicionados a fim de garantir maior estabilidade da estrutura.

A estrutura em “L” do seguidor solar anterior para comportar os motores de passo e seus drivers deverá ser substituída por nova estrutura de mesmo material, porém em formato de “U”. O novo formato da estrutura permite a adição de um eixo passante com capacidade de fixar o suporte para lente e células fotovoltaicas em uma das extremidades e uma massa para balanceamento da estrutura na outra. Após a fabricação deste protótipo, esta massa permitirá ajustes durante a etapa de testes de funcionamento possibilitando o correto balanceamento da estrutura.

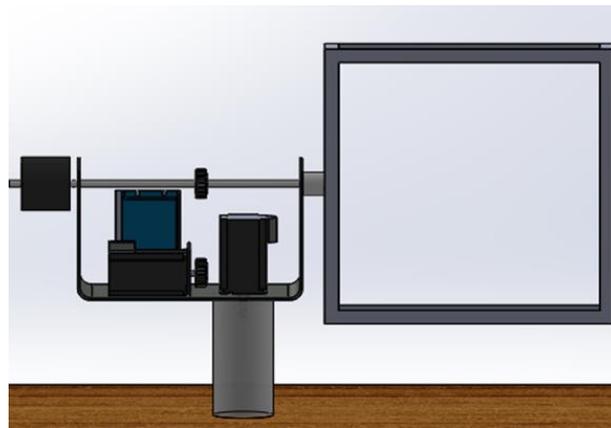


Figura 4: Projeto do terceiro modelo de seguidor solar.

A transmissão do movimento rotativo do eixo do motor de passo ao suporte será modificada para o sistema polia-correia. Uma polia será fixada ao eixo do motor de passo e outra polia fixada ao eixo passante da estrutura e a união entre elas será realizada por uma correia. Neste arranjo, o tamanho reduzido do eixo do motor de passo não representa um problema para a estabilidade do sistema, como observado no protótipo anterior.

Após a fabricação do modelo, serão realizados testes de funcionamento para avaliar precisão de posicionamento e estabilidade do sistema. O controle do seguidor será avaliado em duas maneiras distintas: sistema de malha aberta e sistema de malha fechada. As duas estratégias de controle serão testadas a fim de verificar suas eficiências e o comportamento do seguidor em cada estratégia. A lógica de controle em malha fechada é mais complexa e terá auxílio de sensores para a correção de posicionamento.

Este protótipo será utilizado para fixação e teste de lentes Fresnel que estão sendo fabricadas na Universidade Federal de Sergipe. As lentes Fresnel apresentam peso reduzido e possuem a finalidade concentrar a radiação solar para um foco, podendo ser utilizadas para geração de vapor de processo, em células fotovoltaicas e em usinas heliotérmicas.

4. CONCLUSÃO

O primeiro protótipo do seguidor foi construído com motores simples encontrados no mercado nacional e o teste de funcionamento foi realizado. Considerando a finalidade de utilização do seguidor para medição de radiação direta com pireliômetro, o modelo mostrou-se inviável devido às folgas nos eixos dos motores de corrente contínua utilizados. O segundo protótipo apresentou resultados satisfatórios nos testes de posicionamento e as folgas nos eixos foram eliminadas com a seleção de novos motores. Apesar de o suporte de alumínio para a lente Fresnel e células fotovoltaicas apresentar uma inclinação indesejada em relação ao eixo vertical, o segundo protótipo pode ser utilizado para aproveitamento de energia solar. O projeto do terceiro protótipo busca eliminar esta inclinação indesejada, mantendo as características positivas do segundo protótipo e utilizando o sistema polia-correia para transmissão de movimento. Posteriormente, o terceiro protótipo será construído e os testes de funcionamento serão realizados.

5. REFERÊNCIAS

ANEEL, “Registro de micro e mini geradores distribuídos”, Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd.asp>>, Acessado no dia 27/11/2016.



EPE, “Expansão da geração - 2º leilão de energia de reserva de 2015 - Participação dos Empreendimentos Solares Fotovoltaicos: Visão Geral”, Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/leiloes/Documents/Leilão de Reserva \(2015\)/NT_EPE-DEE-NT-023_2016-r0_completo.pdf](http://www.epe.gov.br/leiloes/Documents/Leilão%20de%20Reserva%20(2015)/NT_EPE-DEE-NT-023_2016-r0_completo.pdf)>, Acessado no dia 27/11/2016.

LIRA, J. R. Vieira, “Desenvolvimento de um Rastreador Solar do Tipo Polar com Ajuste do Ângulo de inclinação”, 2014, Natal, 65 f.: il.

TUDORACHE, T., KREINDLER, L., “Design of a Solar Tracker System for PV Power Plants”, Acta Polytechnica Hungarica, 2010, v. 7, No. 1, p. 23-39.

YAO, Yingxue et al. “A multipurpose dual-axis solar tracker with two tracking strategies”, Renewable Energy, 2014, v. 72, p. 88-98.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.