

CONFEÇÃO DE UM RASTREADOR SOLAR DE PEQUENO PORTE PARA PLACAS FOTOVOLTAICAS

Mariana Eduarda Ferreira Xavier¹
Eduardo Mendes Paz²
Pedro Henrique Lopes Almeida³
Wesley Matheus Araújo da Silva⁴
Wilker Victor da Silva Azevedo⁵

RESUMO

O sistema fotovoltaico usa como fonte de energia a luz do sol, que por sua vez é abundante e de simples conversão. Para ampliar a competitividade no mercado do sistema fotovoltaico tem-se a necessidade do desenvolvimento de técnicas para maximização da sua eficiência. Assim, o artigo aborda a construção de um sistema de rastreamento solar de eixo único e de baixo custo, capaz de aumentar significativamente a eficiência do sistema e consequentemente a potência gerada. O sistema demonstra grande potencialidade de aplicações para fins comerciais e residenciais. A inserção de um segundo eixo de liberdade e a comparação do sistema fixo com o de rastreamento serão realizados posteriormente.

Palavras-chave: Energia fotovoltaica, Rastreador solar, Eficiência.

INTRODUÇÃO

Diante do cenário de diminuição da capacidade de geração de energia a partir das grandes centrais hidrelétricas, vislumbra-se que grande parte dos atuais e futuros investimentos no setor de energia elétrica, sejam direcionados, por um lado, para ações de eficiência energética dos sistemas e, por outro, para geração de energia utilizando fontes e tecnologias alternativas, renováveis e de baixo impacto ambiental. A geração de energia através de usinas solares fotovoltaicas se situa em posição de destaque nesse cenário, sendo uma das áreas onde se tem verificado maior taxa de crescimento dos investimentos em geração de energia no Brasil.

A transformação da energia contida na radiação luminosa em energia elétrica é um fenômeno físico, denominado de efeito fotovoltaico; isto é, através desse efeito tem-se o aparecimento de uma diferença de potencial, produzida pela absorção de luz. O efeito fotovoltaico ocorre em materiais semicondutores com capacidade de absorver a energia

¹ Graduanda do Curso de **Engenharia Elétrica** do Instituto Federal - IFPE, mefx@discente.ifpe.edu.br;

² Graduando do Curso de **Engenharia Elétrica** do Instituto Federal - IFPE emp@discente.ifpe.edu.br;

³ Graduando do Curso de **Engenharia Elétrica** do Instituto Federal - IFPE, phla@discente.ifpe.edu.br;

⁴ Graduando do Curso de **Engenharia Elétrica** do Instituto Federal - IFPE, wmas@discente.ifpe.edu.br;

⁵ Professor orientador: Mestre, Instituto Federal - IFPE, wilker.azevedo@garanhuns.ifpe.edu.br.

contida nos fótons presentes na radiação luminosa incidente, transformando-a em eletricidade (ZILLES et al., 2012, p. 13).

Para (ZILLES et al., 2012, p. 30) a eficiência de conversão de energia é o parâmetro mais relevante das células fotovoltaicas, pois é a partir desse desempenho de conversão que é possível obter um aumento da potência gerada pelo sistema fotovoltaico. Assim, o avanço na tecnologia fotovoltaica é significativo e crescente, no entanto, sua competitividade ainda é frequentemente prospectada, se traduzindo em pesquisas alternativas que colaborem com o aumento do rendimento no processo de conversão de energia. Nesse âmbito, três fatores se caracterizam como muito importantes para descrever o rendimento de sistemas fotovoltaicos: a temperatura das células que compõem os painéis, o monitoramento do ponto de máxima potência (PMP) e a eficiência do processo de conversão (MEHDI et al., 2019).

A fim de potencializar a capacidade de geração de energia tem-se admitido o acompanhamento do perfil das radiações solares, de modo que a utilização de rastreamento (Figura 1) pode corroborar para que se amplie a geração de sistemas fotovoltaicos, melhorado sua viabilidade econômica na geração distribuída.

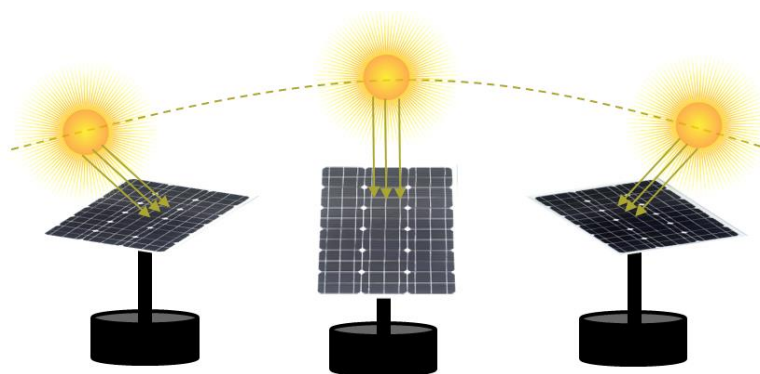


Figura 1 – Operação de rastreamento solar (próprio autor).

Para os painéis fotovoltaicos que expõem tela plana, o objetivo principal efetivado pelo rastreador é a minimização do ângulo de incidência entre o painel fotovoltaico e os raios de luz da fonte (sol). A energia luminosa proveniente da fonte tem duas componentes principais: (i) um é o "raio direto", o qual transporta aproximadamente 90% da energia solar; (ii) o outro é a "luz solar difusa" que transporta o restante (Touati *et al*, 2016). Uma vez que o feixe direto contém a maior parte da energia solar, a maximização da coleta pode ocorrer quando os painéis se encontrarem em inclinação adequada o máximo de tempo possível.

No contexto tratado, o objetivo geral do trabalho consistiu no desenvolvimento de um sistema microcontrolado e eletromecânico, que realiza o movimento dos painéis fotovoltaicos em direção ao sol, proporcionando uma maior incidência de raios solares às superfícies dos painéis; de modo a produzir um maior rendimento do sistema de energia solar. Assim, a análise e a implementação comparativa de técnicas de rastreamento eficientes e a concepção de proposta que alie a isto boa relação custo-benefício propicia aplicações relevantes, como por exemplo, para fins comerciais e residenciais.

O protótipo foi idealizado a partir de uma solução bioinspirada admitindo o heliotropismo do girassol, neste caso, as folhas mais novas seguem o movimento do sol deslocando o seu centro de massa. Analogamente, o sistema de rastreamento solar fará com que o painel fotovoltaico se movimente em direção perpendicular aos raios solares, sendo assim, através de um sistema de sensoriamento, acionamento e controle haverá uma ampliação do rendimento energético.

Atualmente o seguidor solar está em processo de construção, o mesmo já atua com um eixo de rotação, mas ainda não foi possível adquirir dados a cerca de seu impacto na produção de energia elétrica. Em um trabalho futuro planeja-se abordar a questão comparativa do sistema fixo com o de rastreamento solar.

DESENVOLVIMENTO

A otimização a posição do painel fotovoltaico para melhor aproveitamento da irradiação é uma solução exequível para reduzir o tempo de retorno do investimento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede. E, uma abordagem que maximiza a extração da energia nas placas é o sistema de rastreamento solar (HUYNH, D; DUNNIGAN, M, 2016).

Para Ramos (2016) a quantidade de radiação solar incidente nos painéis solares depende de diversos fatores, entre eles a hora do dia, latitude e estações do ano. Com a aplicação do sistema de rastreamento solar a incidência dos raios solares aumenta sensivelmente a quantidade de energia captada pelos painéis. Para maximizar a eficiência desse sistema é necessário avaliar suas características construtivas e relacioná-las aos movimentos geográficos da Terra e características locais. O movimento de Rotação da Terra é direcionado à movimentação no eixo Leste-Oeste, sendo definido pelo ângulo azimutal. O movimento de translação da Terra ao redor do Sol tem orientação Norte-Sul, caracterizado pelo ângulo de latitude. Com os avanços tecnológicos os rastreadores solares permitem a captação solar de forma mais otimizada, pois os raios solares podem incidir de forma perpendicular sobre os painéis durante o ano; tendo a capacidade de seguir a orientação do Sol

e obedecer o ângulo azimutal e de altitude local. Efetuando o acompanhamento contínuo do Sol.

A literatura comprova que os seguidores solares proporcionam um aumento significativo na potência de energia gerada. Existem duas técnicas mais comuns de rastreadores com a capacidade seguir o movimento sol: passivo e ativo. O rastreador passivo não utiliza energia elétrica em seu funcionamento. Esse sistema atua através da expansão térmica de um fluido (líquido ou gasoso), em função da sua temperatura. A partir do aumento da temperatura do fluido, o volume do gás também aumenta na mesma proporção, e conseqüentemente converte esse “ganho” em força mecânica para movimentar as placas fotovoltaicas (SILVA, 2010). Por sua vez, a técnica de rastreamento ativo, foco do artigo em tela, movimenta o painel fotovoltaico através do uso de energia elétrica. Esse tipo de sistema pode ser subdividido em (RAMOS, 2016): (i) *rastreador ativo de eixo vertical* - o sistema instalado permite que o painel movimente-se sobre uma base fixa, provocando uma variação angular azimutal, ou seja, o eixo pode ser orientado de modo que o painel se movimente em uma determinada inclinação no eixo vertical; (ii) *rastreador ativo de eixo horizontal* - o sistema instalado permite que as placas fotovoltaicas movimentam-se no sentido Leste-Oeste, de modo que a vista frontal do módulo seja orientada paralelamente ao eixo de rotação da Terra; e (iii) *rastreador ativo de dois eixos* - esse sistema permite a movimentação do painel solar no sentido azimutal e o de inclinação (eixo horizontal), de modo a proporcionar uma eficiência significativa da captação solar.

Silva (2010) acena que os rastreadores ativos, com a utilização de novas tecnologias (microcontrolador, computadores, sensores e entre outros sistemas eletrônicos), e em conjunto com o desenvolvimento de rotinas computacionais, levam a uma maior eficiência que os passivos. Os rastreadores ativos de eixo único podem promover um aumento superior a 20% na geração de energia em relação aos rastreadores passivos. E, em relação aos rastreadores ativos de dois eixos pesquisas indicam que é possível aumentar em até 40% o rendimento do conjunto ao longo do ano (HUYNH & DUNNIGAN, 2016; MEHDI *et al.*, 2019).

Outro ponto de desenvolvimento, o qual requer análises eletromecânicas, diz respeito à maneira de estruturar a base mecânica do seguidor solar, verificando tipo e características construtivas e limitadoras de conjunto motrizes. A estrutura não deve interferir nos ângulos máximos de inclinação. Na pesquisa de Silva (2010) é apresentada uma base fixa feita de aço, sustentando um suporte móvel, usado como base para os módulos fotovoltaicos, enfatizando a

localização do centro dos painéis, pois podem estar dispostos no eixo de rotação do sistema, a fim de refletir em um equilíbrio mecânico do conjunto.

A literatura afirma que através da utilização de sensores de luminosidade é possível fornecer os sinais de controle para viabilizar o rastreamento solar; o acionamento do sistema consiste nos servomecanismos, motores e atuadores; e o controlador do sistema, no qual é responsável pelo processamento e gerenciamento de todo o sistema do rastreador, é composto por microcontroladores. (ALMEIDA & SANTOS, 2019; ORTIZ et al., 2018; BITTENCOURT et al, 2017). Na tabela 4 é possível observar as características da composição dos rastreadores solares encontrados na literatura.

ANO	AUTORES	COMPOSIÇÃO DO RASTREADOR SOLAR
2019	REVOREDO, T; RIBEIRO, M; LEITÃO, P.	Rastreador solar de dois eixos. Sensores: LDR's. Acionamento: motor de passo e driver do motor. Microcontrolador: arduino ATmega. Ganho de 48,5% de potência em relação ao sistema estático.
2019	MEDHI, G; ALI, N, HUSSAIN, S; ZAIDI, A; SHAH, A, AZEEM, M.	Seguidor solar de um eixo. Sensores: LDR's. Acionamento: motor DC e engrenagens. Microcontrolador: arduino. Baterias e relés. Aumento de 110,24% da potência em relação ao sistema fixo.
2018	ORTIZ, F; ALVES, V; HOLDOFER, A; MEDEIROS, A.	Seguidor solar de dois eixos. Sensores: LDR's. Acionamento: motor de passo. Controlador: arduino. Maximização de 27,2% de potência em relação ao painel fixo.
2018	FERNANDES, N; SORENTINO, T.	Rastreador solar de dois eixos. Sensores: LDR's. Acionamento: servo motor. Microcontrolador: Arduino UNO.

Tabela 4 – Desenvolvimento do rastreador solar em literaturas atuais (próprio autor).

Para Ortiz et al. (2018) os rastreadores ativos seguem em paralelo com as novas tecnologias e desenvolvem o aperfeiçoamento de rotinas computacionais mais eficientes. O artigo em tela buscou a construção de um rastreador solar microcontrolado e eletromecânico, no qual os painéis fotovoltaicos conseguem atingir o ponto de máxima potência elétrica, operando com uma alta eficiência.

METODOLOGIA

Para a construção do rastreador solar para painéis fotovoltaicos foi necessário realizar a compreensão detalhada dos parâmetros de solarimetria local e do sistema eletrônico, análise das características da placa solar e aquisição das técnicas de construção do seguidor solar na literatura, de modo a realizar o aperfeiçoamento de métodos para maximizar a eficiência do seguidor solar de eixo único.

O painel solar utilizado no protótipo é policristalino, ou seja, é composto por várias células solares (Figura 2).



Figura 2 – Placa Solar (próprio autor).

Suas características são observadas na tabela 1, abaixo.

Características	
Especificação	SA30-36P
Máxima Potência [W]	30
Tensão de circuito aberto [V]	22,5
Corrente de curto-circuito [A]	1,7
Tensão de máxima potência [V]	19
Corrente de máxima potência [A]	1,6

Tabela 1 – Especificações da placa solar.

A estrutura do seguidor solar foi desenvolvida no programa SketchUp, seu arranjo foi arquitetado de maneira a não interferir nos ângulos máximos de inclinação do sistema, ou seja, seu design foi pensado e esboçado visando uma livre movimentação do posicionamento da placa solar. Ressalta-se que para a projeção dessa estrutura foi levado em consideração à dimensão do painel solar base e também, a aplicação para fins comerciais e residenciais. Para confecção foi utilizada madeira por tratar-se de um protótipo.

Para o sensoriamento da luminosidade do sistema foi utilizado o Light Dependent Resistor (LDR). Esse dispositivo é constituído por um semicondutor, que é capaz de medir a energia luminosa através da variação de sua resistência. A resistência do LDR varia de forma inversamente proporcional à quantidade de luz incidente em uma superfície sensível do mesmo, sendo assim, sua resistência será baixa quando houver luz incidindo, e alta, quando a luz não estiver incidindo. Destarte, por ser um componente eletrônico de baixo custo e com uma vida útil relativamente alta foi disposto no painel fotovoltaico um anteparo com dois pares de LDR's, cada par está correlacionado a um eixo de movimentação; ressaltando que para a construção do rastreador solar em tela utilizou-se de apenas um par dos sensores, de modo que o segundo eixo irá ser estruturado em outra etapa do projeto. O anteparo tem cuja função de aprimorar a captação de radiação solar, pois quando o sistema não está alinhado com o sol, o LDR estará sombreado e conseqüentemente, enviará a resposta para o sistema de controle realizar o alinhamento, através da formulação da rotina computacional. Logo, foi possível transformar as variações de resistências causadas pela posição solar em sinais elétricos.

Para o controle de posicionamento dos painéis fotovoltaicos foi utilizado um motor de passo, sendo este um motor de corrente contínua, que realiza a conversão de pulsos elétricos e movimentos mecânicos que geram variações angulares discretas, tendo como vantagem a sequência de uma lógica digital, de modo a proporcionar uma maior precisão em seu posicionamento. Assim, pelo fato de conseguir obter um controle preciso da posição de rastreamento solar, utilizou-se o motor de passo. Suas especificações estão apresentadas na tabela 2.

Características	
Especificação	17HS841
Torque [kg·f]	5
Corrente [A]	1,7

Tabela 2 – Especificações do motor de passo.

Visando uma solução de baixo custo e de simples implementação, sabendo que o microcontrolador não pode suprir a potência necessária demandada pelo motor de passo, uma solução foi elaborada, com auxílio da biblioteca "Stepper.h" é possível controlar o atuador em questão mudando apenas o sentido da corrente em suas bobinas, por meio de uma ponte H foi possível controlar o sentido da corrente em uma das bobinas e ao implementar duas delas o controle foi facilmente implementado na rotina computacional utilizando uma fonte externa

para suprir a potência necessária. Outra solução para atingir o esforço mínimo no eixo do motor de passo, um sistema de engrenagens foi acoplado no eixo da placa fotovoltaica.

Foi utilizado o microcontrolador Arduino UNO para o sistema de controle do seguidor solar. Esse dispositivo permite o processamento de entradas e saídas entre os componentes externos conectados a ele, é de fácil instalação e é baseado na linguagem C/C++. Por ser um microcontrolador de fácil acesso, realizar projetos no Arduino se torna prático e rápido, por essa razão, foi escolhida para dar início aos primeiros resultados do projeto. A rotina computacional desenvolvida realiza as leituras da resposta dos LDR's na entrada do microcontrolador, de modo que quando há variação de luminosidade, a tensão das portas analógicas muda e o microcontrolador é capaz de interpretar o valor recebido dos sensores, implicando no acionamento do motor de passo em um eixo, verificando sua atual posição pelo sol e chegando até o local desejado.

A rotina computacional desenvolvida no Arduino tem o objetivo simples de tratar o valor recebido pelos LDR's e atuar, por meio do acionamento do motor de passo, de modo a balancear a exposição à luz dos pares dos LDR's.

Na tabela 3 são apresentados os materiais utilizados para a construção do seguidor solar, seguido dos preços unitários e orçamento total. Não foram considerados a mão de obra e alguns elementos periféricos (parafusos, adaptador de bateria, etc).

Produto	Quantidade	Preço unitário	Total
Placa Solar	1	R\$ 200,00	R\$200,00
Estrutura	1	R\$ 100,00	R\$100,00
Rolamentos	3	R\$15,00	R\$45,00
Motor de passo	1	R\$80,00	R\$80,00
LDR	4	R\$00,90	R\$3,60
Arduino UNO	1	R\$28,00	R\$28,00
Bateria Duracell	1	R\$22,00	R\$22,00
			R\$478,60

Tabela 3 – Orçamento do rastreador solar

Assim, a partir da realização de pesquisas nas literaturas atuais, conhecimentos a cerca de energia solar e eletrônica foi efetuado a escolha de cada componente para a composição do

rastreador solar. A construção do protótipo do seguidor solar de único eixo foi concluída, no qual foi observado o desempenho do mesmo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o processo construtivo do rastreador solar notou-se que a análise da estrutura mecânica de baixo custo, o estudo dos componentes elétricos e eletrônicos para o sistema de sensoriamento e acionamento; e o desenvolvimento do sistema de controle foram fundamentais para a elaboração do protótipo.

Na Figura 3(a,b) é possível visualizar a idealização da estrutura e sua confecção finalizada, respectivamente; a base da estrutura tem 60 cm de diâmetro. E, observa-se na Figura 3(c) a disposição dos LDR's para melhor capturação da radiação solar.

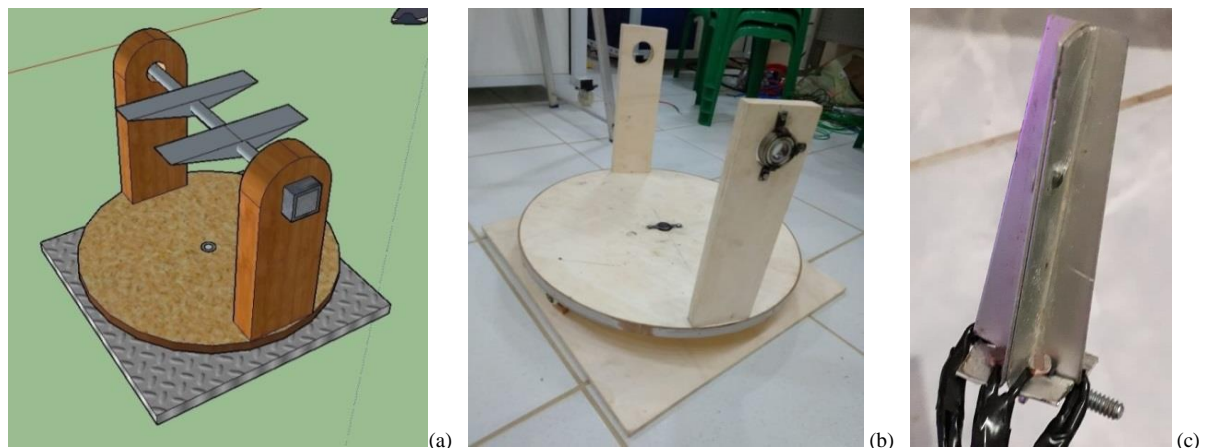


Figura 3 – Estrutura do rastreador solar e anteparo dos LDR's (próprio autor).

Para melhor percepção do acionamento do motor foi construído o circuito ponte H, no software PSIM. Como pode ser apresentado, abaixo.

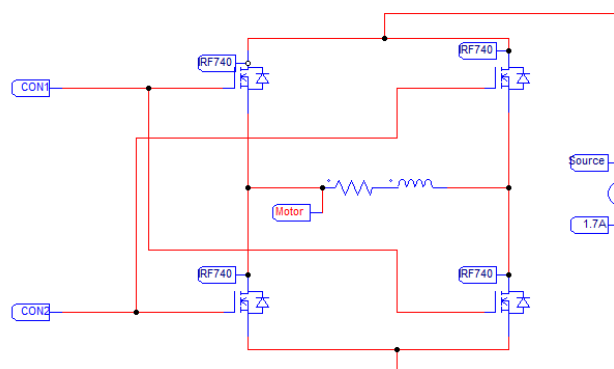


Figura 4 – Simulação do circuito ponte H (próprio autor).

A rotina computacional inicia com a declaração do motor de passo feita com auxílio da biblioteca "Stepper.h", após a definição de passos por volta e pinos de conexão referentes ao modo operação das bobinas do motor são declaradas as variáveis responsáveis pelo armazenamento dos valores referentes à exposição luminosa de casa LDR, que são comparados na rotina de trabalho para operação correta do motor, considerando que a movimentação, em uma situação real, envolve um tempo razoável de operação do motor, uma instrução de espera é adicionada após a movimentação do motor. Na figura abaixo é possível observar a rotina computacional desenvolvida no Arduino.

```
TRAKER | Arduino 1.8.11 Hourly Build 2019/09/30 10:33
Arquivo  Editor  Sketch  Ferramentas  Ajuda

TRAKER $
#include <Stepper.h>

Stepper myStepper(100, 8, 9, 10, 11);
int pinoLDR4=0;
int pinoLDR3=0;
int pinoLDR2=0;
int pinoLDR1=0;

void setup() {
  myStepper.setSpeed(10);
  pinMode(A0, INPUT);
  pinMode(A1, INPUT);
}

void loop() {

  pinoLDR1=analogRead(A0);
  pinoLDR2=analogRead(A1);

  if(pinoLDR1<pinoLDR3-10){
    myStepper.step(-5);
    delay(500);
  }
  if(pinoLDR1>pinoLDR3+10){
    myStepper.step(5);
    delay(500);
  }

  // pinoLDR3=analogRead(A2);
  // pinoLDR4=analogRead(A3);

  // if((pinoLDR1<(pinoLDR3-50))){
  //   myStepper.step(20);
  //   delay(500);
  // }

  // if((pinoLDR1<(pinoLDR3-50))){
  //   myStepper.step(20);
  //   delay(500);
  // }

}
```

Figura 5 – Estrutura de controle: Sensoriamento e acionamento (próprio autor).

A simulação do rastreador solar de único eixo foi construída no software Thinkercad, na qual possibilita a análise do funcionamento do sistema.

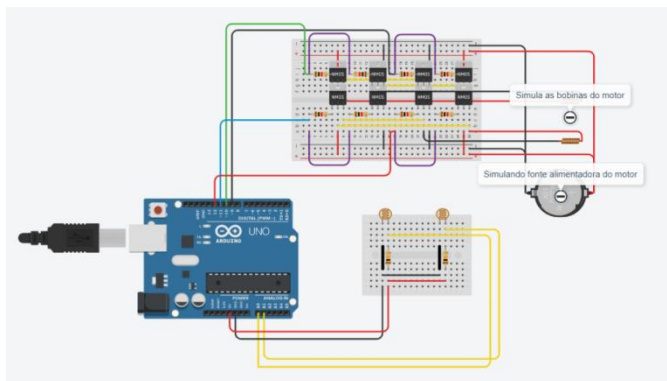


Figura 6 – Simulação do rastreador solar (próprio autor).

Na fase de análise e testes do protótipo foi possível observar que já é possível realizar um rastreamento parcial do sol com apenas um eixo de rotação. Desde a estrutura inicial o protótipo sofreu algumas alterações durante o processo de construção, envolvendo a posição do motor superior (localizado no eixo da placa). Na figura abaixo é possível observar o sistema de rastreamento solar de único eixo no laboratório.



Figura 7 – Rastreador solar (próprio autor).

Também foi possível notar que o protótipo apresentou um bom nível de estabilidade, para um processo de aprimoramento estão sendo avaliadas estratégias para minimização do efeito causado pelo posicionamento do eixo fora do centro de massa da placa fotovoltaica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O rastreador solar de único eixo desenvolvido caracteriza-se pelo baixo custo e um hábil sensoriamento solar. Um problema encontrado está relacionado ao posicionamento do centro de massa da placa fotovoltaica em relação ao eixo de rotação, em trabalhos futuros pode-se buscar uma solução para este problema. Para aperfeiçoamento, tem-se a

implementação do segundo eixo de liberdade do sistema, com a fixação do segundo motor; elaboração de um circuito de controle para o motor que será acoplado; atualização do algoritmo de rastreamento e operação; mudança de sistema de controle, que visa à substituição do Arduino por uma solução específica; exportação dos circuitos para PCB; testes e revisões.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S; SANTOS, J. Rastreador solar para painéis fotovoltaicos com reaproveitamento térmico. Revista Mackenzie de Engenharia e Computação, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 99-124, 2019.

BITTENCOURT, F. et al. Construção de um protótipo de rastreador solar para aplicação em sistema fotovoltaico conectado à rede. Revista Sítio Novo, Tocantins, 2017.

HUYNH, D; DUNNIGAN, M; Development and Comparison of an Improved Incremental Conductance Algorithm for Tracking the MPP of a Solar PV Panel. **IEEE**. 2016. p. 1-8.

MEHDI, G. et al. Design and Fabrication of Automatic Single Axis Solar Tracker for Solar Panel, **IEEE**, 2019. p. 1-4.

ORTIZ, F. et al. Desenvolvimento de Sistema Automático de Rastreamento Solar para Painéis Fotovoltaicos, In: VII Congresso de Energia Solar, 2018, Gramado.

FERNANDES, N; SORENTINO, T. Projeto de um rastreador solar de dois eixos para pasteurizador solar automatizado. 2018. 9f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal Rural do Semiárido, 2016.

RAMOS, L. F. Metodologia detalhada para rastreadores solares automatizados de dois eixos em sistemas fotovoltaicos. 2016. 113f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

REVOREDO, T. et al. Especificação e prototipagem de um sistema de microgeração fotovoltaica com rastreamento solar. Revista Brasileira de Energia Solar, v. X, n. 1, p. 64-76, 2019.

SILVA, I. T, Desenvolvimento de um sistema mecânico para posicionamento de um painel fotovoltaico e comparação com painel fixo. 2010. 80 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

Touati, F., et al., Investigation of solar PV performance under Doha weather using a customized measurement and monitoring system. Renewable Energy, 2016. 89: p. 564- 577.

ZILLES, R. et al. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. 1 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2012.