

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELETRÔNICA

GUILHERME MANOEL SOARES

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE RASTREAMENTO
SOLAR MICROCONTROLADO PARA PAINÉIS SOLARES**

CAMPO MOURÃO

2019

GUILHERME MANOEL SOARES

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE RASTREAMENTO
SOLAR MICROCONTROLADO PARA PAINÉIS SOLARES**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado à disciplina de Engenharia Eletrônica, do curso Superior de Engenharia Eletrônica do Departamento Acadêmico de Eletrônica - DAELN - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Gilson Junior Schiavon

CAMPO MOURÃO

2019



TERMO DE APROVAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
INTITULADO

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE RASTREAMENTO SOLAR
MICROCONTROLADO PARA PAINÉIS SOLARES**

DO DISCENTE

GUILHERME MANOEL SOARES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 29 de novembro de 2019 ao Curso Superior de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão. O discente foi arguido pela Comissão Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a comissão considerou o trabalho aprovado.

Prof. Osmar Tormena Junior
(UTFPR)

Prof. Eduardo Giometti Bertogna
(UTFPR)

Prof. Gilson Junior Schiavon
Orientador (UTFPR)

RESUMO

Os sistemas de energia solar fotovoltaicos, possuem seus painéis solares instalados em uma posição fixa, a qual é escolhida estrategicamente para ter o melhor aproveitamento possível. A posição fixa faz com que durante o dia ocorra um mal aproveitamento da energia solar, por isso esse trabalho propõe a criação de um protótipo móvel que faça o rastreamento da melhor posição para gerar energia elétrica. O rastreador desenvolvido é formado por dois pares de sensores de luminosidade, dois servos motores, um microcontrolador (PIC16F877A) e uma estrutura mecânica. O protótipo verificou a potência média e os valores de tensão nos fotoresistores dos três tipos de sistemas: fixo, um eixo e dois eixos de rastreamento, e comparar os valores obtidos. Esses valores foram utilizados no *software Labview* com auxílio do Arduino. Com esse trabalho foi possível concluir que os seguidores solares aumentam o aproveitamento dos painéis fotovoltaicos ao longo do dia de maneira satisfatória, porém o seguidor de dois eixos teve resultados incompatíveis com a literatura. O código para movimentar os servos motores de acordo com a variação da tensão nos fotoresistores funcionou corretamente.

ABSTRACT

Generally, photovoltaic solar energy systems have their solar panels installed in a fixed position, which is strategically chosen to have the best possible use. The fixed position causes the solar energy to be misused during the day, so this work proposes the creation of a mobile prototype that tracks the best position to generate electricity. The developed tracker consists of two pairs of light sensors, two servant motors, a microcontroller (PIC16F877A) and a mechanical structure. The prototype verified the average power and voltage values in the photoresist of the three types of systems: fixed, one axis and two tracking axes, and compare the obtained values. To verify these values, we used the Labview software with Arduino assistance. With this work it was possible to verify that the solar followers increase the use of photovoltaic panels satisfactorily throughout the day, but the two-axis follower had results incompatible with the literature. The code for moving the servo motors according to the voltage variation in the photoresist worked correctly.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem da posição de Campo Mourão.....	14
Figura 2 - Curva típica do comportamento da célula fotovoltaica	15
Figura 3 - Rastreador Passivo	17
Figura 4 - Rastreador ativo	18
Figura 5 - Rastreador controlado	19
Figura 6 - Tipos de plataformas de rastreadores solares	20
Figura 7 - Rastreador Polar	21
Figura 8 - Rastreador com movimentação no eixo horizontal.....	21
Figura 9 - Rastreador com movimentação no eixo azimute.....	22
Figura 10 - Rastreador com movimentação nos dois eixos	23
Figura 11 - Estrutura pedestal	24
Figura 12 - Estrutura Roll-tilt.....	24
Figura 13 - Estrutura com plataforma giratória	25
Figura 14 - Motor de passo.....	26
Figura 15 - Motor de corrente contínua.....	26
Figura 16 - Princípio do funcionamento do motor de indução.....	27
Figura 17 - Servos Motores	28
Figura 18 - Microcontrolador PIC17F877A	29
Figura 19 - Microcontrolador ATmega328	30
Figura 20 - Curva da Resistencia x Luminosidade do LDR	31
Figura 21 - Pinos da PIC16F877A.....	33
Figura 22 - Estrutura Beta.....	33
Figura 23 - Estrutura do protótipo	34
Figura 24 - Engrenagem do protótipo	35
Figura 25 - Funcionamento do servo motor	35
Figura 26 - Especificações do motor MG90S	36
Figura 27 - Período PWM do MG90S.....	37
Figura 28 - Placa Fotovoltaica	37
Figura 29 - Pickit 3.....	38
Figura 30 - Programa LabVIEW.....	39
Figura 31 - Programação do LabVIEW.....	40
Figura 32 - Protótipo do rastreador solar	41

Figura 33 - Rastreador solar no local de teste	42
Figura 34 - Gráfico do sistema sem rastreador.....	43
Figura 35 - Gráfico do rastreamento com um eixo comparando com fixo	44
Figura 36 - Gráfico do rastreamento com dois eixos comparado com fixo	45
Figura 37 - Gráfico comparando todos sistemas	46
Figura 38 - Sensores Norte/Sul do Sistema Fixo.....	46
Figura 39 - Sensores Leste/Oeste do Sistema Fixo	47
Figura 40 - Sensores Norte/Sul do sistema de rastreamento de 1 eixo.....	48
Figura 41 - Sensores do sistema de rastreamento de 2 eixos.....	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Dados do sistema fixo	43
Quadro 2 – Dados do rastreamento em um eixo	44
Quadro 3 – Dados do rastreamento em dois eixos	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 TEMA.....	11
1.1.1 Delimitação do Tema.....	11
1.2 OBJETIVOS.....	12
1.2.1 Objetivos Específicos.....	12
1.3 JUSTIFICATIVA.....	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 ENERGIA SOLAR.....	14
2.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO	15
2.3 RASTREADORES SOLARES	16
2.3.1 Rastreadores passivos	17
2.3.2 Rastreadores ativos	18
2.3.3 Rastreadores cronológicos	18
2.3.4 Rastreadores controlados.....	19
2.4 SISTEMAS DE ROTAÇÃO	20
2.4.1 Seguidor polar de eixo único	20
2.4.2 Seguidor de eixo horizontal	21
2.4.3 Seguidor de eixo azimute	22
2.4.4 Seguidor solar com dois eixos	23
2.5 ESTRUTURAS DOS RASTREADORES SOLARES	23
2.5.1 Estrutura com pedestal.....	23
2.5.2 Estrutura Roll-Tilt.....	24
2.5.3 Estrutura com plataforma giratória.....	25
2.6 MOTORES.....	25
2.6.1 Motor passo a passo.....	25
2.6.2 Motor corrente contínua.....	26

2.6.3 Motor de indução	27
2.6.4 Servo Motor	27
2.7 MICROCONTROLADORES	28
2.7.1 Microcontroladores PIC (microchip).....	28
2.7.2 ATmega (AVR).....	30
2.8 SENSOR LDR (<i>LIGHT DEPENDENT RESISTOR</i>)	30
3. METODOLOGIA	32
3.1 DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES E FERRAMENTAS UTILIZADAS..	32
3.1.1 Microcontrolador PIC16F877A.....	32
3.1.2 Estrutura Do Protótipo	33
3.1.3 Servo Motor	35
3.1.4 Placa Fotovoltaica.....	37
3.1.5 Pickit 3	38
3.1.6 Circuito Projetado	38
3.1.7 <i>Software</i> para coletar dados	39
3.2 FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO.....	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
4.1 SISTEMA FIXO SEM RASTREADOR	43
4.2 SISTEMA COM RASTREAMENTO EM UM EIXO.....	44
4.3 SISTEMA COM RASTREAMENTO EM DOIS EIXOS	45
4.4 SISTEMAS DE RASTREAMENTO COMPARADOS	46
4.5 DADOS SOBRE OS SENSORES.....	46
5. CONCLUSÃO	50
REFERÊNCIAS	51
APÊNDICE A – CÓDIGO DO PWM	54
APÊNDICE B – RASTREAMENTO UM EIXO	62
APÊNDICE C – RASTREAMENTO DOIS EIXO	64

APÊNDICE D – CÓDIGO LCD.....	66
APÊNDICE E – CIRCUITO PROJETADO NO <i>SOFTWARE PROTEUS</i>	67

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

Esse trabalho propõe o desenvolvimento do protótipo de um rastreador solar que tem como objetivo posicionar as placas fotovoltaicas perpendicularmente aos raios solares durante todo o dia, a partir de um sistema microcontrolado.

1.1.1 Delimitação do Tema

A energia é um elemento essencial para o desenvolvimento industrial e socioeconômico de um país. No entanto, a relação entre a energia e a poluição ambiental é um dos maiores desafios que o mundo enfrenta atualmente. Nesse contexto, a utilização de energia solar, que é favorável ao meio ambiente, é importante para o desenvolvimento mundial de forma sustentável (KARIMOV, 2005).

Segundo o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (2010), a energia solar é considerada como pura e inesgotável sendo fornecida, em um ano, o valor energético superior a 10.000 vezes o consumo anual da energia bruta utilizada pela humanidade. Desse modo, a referida energia surge como uma importante alternativa no que tange a produção de energia elétrica a partir de células fotovoltaicas.

Embora a tecnologia dos sistemas fotovoltaicos tenha evoluído nos últimos tempos, os custos desses sistemas ainda são elevados. Todavia, nos últimos anos tem ocorrido uma redução gradativa do custo dos módulos fotovoltaicos e dos inversores, principais componentes desses sistemas (LIRA, 2014).

Um estudo apresentado por Lira (2014) explica que os módulos fotovoltaicos geram energia a partir da radiação solar que incide sobre a sua superfície. O sol apresenta um movimento diário que inicia no Leste e termina no Oeste.

O uso de rastreadores faz com que a estrutura onde os módulos estão fixados, gire segundo a trajetória aparente do sol, em seu percurso do nascer ao pôr do sol. Um rastreador solar deve ser equipado com duas características essenciais (NETO, 2010):

- Seguimento da elevação solar, para ajuste dos ângulos de inclinação durante as mudanças sazonais;

- Seguimento solar diário ou azimutal para a máxima incidência da radiação solar ao longo do dia.

Existem diversas pesquisas para aumentar significativamente a produção de eletricidade dos módulos fotovoltaicos. Algumas empresas investiram em projetos de seguidores solares. Os protótipos desenvolvidos obtiveram um aumento de ordem de 30% a 40% na produção de energia elétrica (OLIVEIRA, 2008).

Os rastreadores têm o intuito de obter potência máxima dos módulos fotovoltaicos que será aproveitada quando o painel estiver posicionado perpendicularmente aos raios solares, maximizando a área de incidência (ARAÚJO, 2015).

1.2 OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho é verificar a eficiência energética dos sistemas fotovoltaicos com rastreamento, para isso é projetado um protótipo que se ajusta automaticamente para estar sempre alinhado ao sol de modo a receber a maior incidência possível, com a utilização de servo motores, fotoresistores e um microcontrolador.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Desenvolver a estrutura mecânica para o sistema;
- Testar os valores de tensão, corrente e potência do rastreamento de um eixo e dois eixos, com o objetivo de obter a maior eficiência possível e comparar com o sistema fixo;
- Testar os valores de variação da resistência do sensor de luminosidade a fim de obter o melhor aproveitamento possível;
- Desenvolver a programação para o microcontrolador;
- Montar o sistema completo (rastreamento em um eixo e dois eixos) em pequena escala para verificação de funcionamento;
- Análise e comparação dos resultados em relação a um sistema fixo e em relação à literatura.

1.3 JUSTIFICATIVA

O futuro do uso da energia está intrinsecamente relacionado com o aproveitamento e o uso de energias renováveis e alternativas. A natureza disponibiliza diversas formas de energia que, ao passar por transformações, praticamente não agredem o meio ambiente, sendo consideradas formas de energia limpa (CAMPOS et al., 2003).

O sistema fixo pode em alguns momentos ao longo do dia ter perdas consideráveis, logo o sistema móvel funciona de modo que aconteça uma correção no posicionamento da placa fotovoltaica. Dessa maneira, o aproveitamento da energia solar será maior trazendo vantagens para regiões em que ocorre muitas perdas, sendo que os investimentos em sistemas fotovoltaicos são descartados em alguns casos devido a baixa produção ou retorno de investimento muito longo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentado todo o estudo e pesquisas feitas para as soluções dos problemas relacionados ao projeto que foi desenvolvido. É discutido a melhor solução de acordo com as condições atuais, pontuando as vantagens e desvantagens obtendo o melhor desempenho.

2.1 ENERGIA SOLAR

A energia que vem do Sol dá origem a outras formas de energia, além de ser responsável pela vida na Terra tem grande potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outras formas, como a térmica e elétrica (PEREIRA, 2016).

A taxa de energia que atinge a Terra é chamada de irradiação solar, e ela não atinge de maneira uniforme toda a crosta terrestre. Sua intensidade depende da latitude, estação do ano e condições atmosféricas (ALBRIGTSEN, 2006).

O aproveitamento da energia solar e a melhor posição em Campo Mourão (Paraná) foi analisada de acordo com as informações do software *Sun Position*, como mostra a Figura 1.

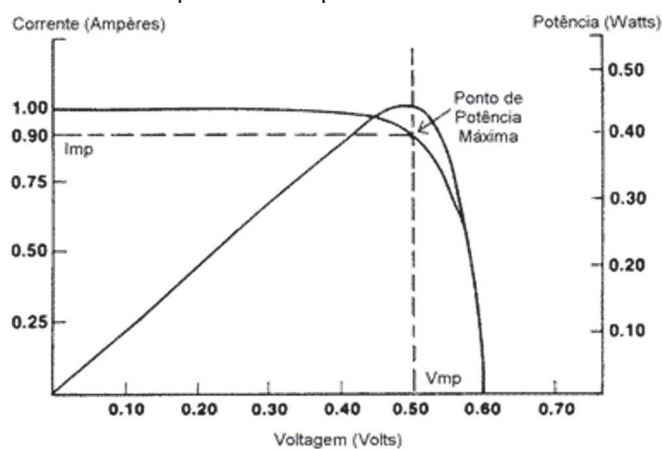


Fonte: Software Sun Position (2018).

2.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO

A energia solar fotovoltaica é definida como a energia gerada através da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Isto se dá, por meio de um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica que atua utilizando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico (IMHOFF, 2007). Analisando a Figura 2, podemos ver a relação entre a corrente e a tensão.

Figura 2 - Curva típica do comportamento da célula fotovoltaica



Fonte: Wenham (2009).

Segundo Severino e Oliveira (2010), o efeito fotovoltaico é gerado através da absorção da luz solar, que ocasiona uma diferença de potencial na estrutura do material semicondutor. E Nascimento (2014) afirma que “Uma célula fotovoltaica não armazena energia elétrica. Apenas mantém um fluxo de elétrons num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ela. Este fenômeno é denominado Efeito Fotovoltaico”.

Em relação aos materiais utilizados, o silício (Si) é o principal material na fabricação das células fotovoltaicas (FV), e se constitui como o segundo elemento químico mais abundante na terra. O mesmo tem sido explorado sob diversas formas: cristalino, policristalino e amorfo (CEMIG, 2012).

Existem três tecnologias que podem ser aplicadas, a primeira é de silício cristalino, que representa 85% do mercado por ser uma tecnologia de melhor eficiência e confiança. A segunda é chamada de filmes finos contendo silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe) (CEPEL, 2014).

E por último a IEEE - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos define como:

Células que permitem uma utilização mais eficiente da luz solar que as células baseadas em um único *band-gap* eletrônico. De forma geral, a terceira geração deve ser altamente eficiente, possuir baixo custo/watt e utilizar materiais abundantes e de baixa toxicidade (IEEE, 2014).

Os painéis solares, ou módulos, são os principais componentes do sistema fotovoltaico de geração de energia. Estes são formados por um conjunto de células fotovoltaicas associadas, eletricamente, em série e/ou paralelo, dependendo das tensões e/ou correntes determinadas em projeto. O conjunto destes módulos é chamado de gerador fotovoltaico e constituem a primeira parte do sistema, ou seja, são os responsáveis no processo de captação da irradiação solar e a sua transformação em energia elétrica (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011).

Os sistemas fotovoltaicos podem ser autônomos, ou seja, são sistemas que não dependem da rede elétrica convencional para funcionar, sendo possível sua utilização em localidades carentes de rede de distribuição elétrica. Existem dois tipos de autônomos: com armazenamento e sem armazenamento. O primeiro pode ser utilizado em carregamento de baterias de veículos elétricos, em iluminação pública e, até mesmo, em pequenos aparelhos portáteis (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

Segundo Pereira e Oliveira (2011) os sistemas ligados à rede são aqueles que trabalham junto com a rede elétrica da distribuidora de energia. Sendo que seu funcionamento basicamente acontece quando o painel fotovoltaico gera energia elétrica em corrente contínua e, após convertê-la para corrente alternada, é injetada na rede de energia elétrica.

E ainda complementam citando os sistemas híbridos que possuem como seu maior benefício proporcionar eletricidade (armazenada nas baterias), na privação de sol, ou seja, em dias de baixa, ou nenhuma, geração. No entanto, é apontado como um sistema complexo, já que necessita integrar diversas formas de produção de energia elétrica, como motores à diesel ou gás, ou por geradores eólicos (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011).

2.3 RASTREADORES SOLARES

De acordo com Veras (2004), é muito vantajoso a utilização de rastreadores solares, por isso o estudo dos mesmos deve ser realizado e aperfeiçoado. O

rastreador solar tem como objetivo deixar os painéis sempre voltados para o Sol, para que o rendimento da transformação de energia solar em elétrica seja a maior possível.

Estudos afirmam que o uso de um rastreador solar aumenta a entrega de energia de um sistema fotovoltaico em 15 % a 35 % (APPLEYARD, 2009).

Segundo Marques (2012), os seguidores solares são divididos basicamente em três tipos, passivos, ativos e cronológicos.

2.3.1 Rastreadores passivos

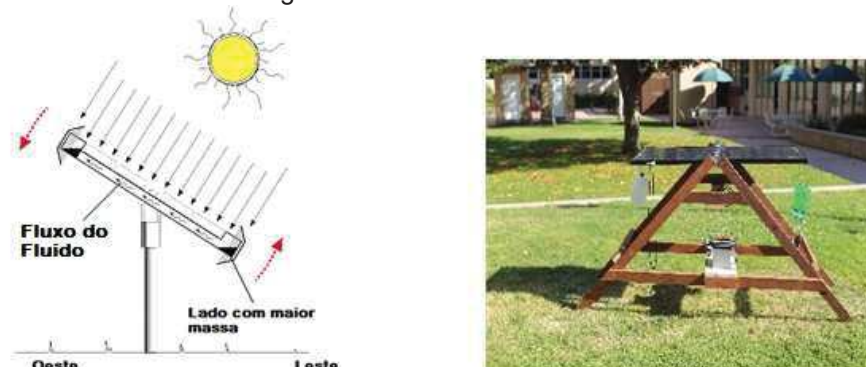
De acordo com Barbosa (2016) os rastreadores passivos não utilizam nenhum sistema eletrônico para o seu funcionamento, desse modo não utilizam nenhuma fonte externa de energia para a movimentação do painel.

Um exemplo desse sistema é com dois cilindros idênticos contendo uma solução líquida colocados nas duas extremidades do painel solar. O painel inicialmente está apontado para o Oeste, assim os raios solares transferem o calor para a superfície dos dois cilindros, ocorrendo a evapotransferência, assim o painel começa a se movimentar em direção ao lado Leste, pelo desequilíbrio de massa do sistema (ADÁN, 2007).

Segundo Abouzeid (2001), quando este tipo de rastreador trabalha em altas temperaturas ele se torna mais eficiente. Porém existe as desvantagens de sofrerem distúrbios pela força do vento, e pela falta de radiação solar e são desenvolvidos para movimentação em apenas um eixo, como pode ser visto na Figura 3.

Como vantagens esses projetos apresentam simplicidade construtiva, baixo custo de implementação (quando comparados aos sistemas de rastreamento ativos) e manutenção simples (VERAS, 2004).

Figura 3 - Rastreador Passivo



Fonte: Zomeworks Corporation e SunSaluter (2014).

2.3.2 Rastreadores ativos

Os rastreadores ativos utilizam para seu funcionamento energia elétrica, pois o seu controle é baseado em sistemas eletrônicos, e geralmente é alimentado pela própria placa fotovoltaica. Nesse tipo de rastreador o principal objetivo é garantir a precisão e a eficiência do sistema (LIRA, 2014).

Lira (2014) ainda complementa que o controle pode ser implementado utilizando microprocessadores ou controladores lógicos. No sistema de tração podem ser empregados como atuadores, motores de passo, motores de corrente contínua ou indução.

Segundo Passos (2018) as desvantagens desses sistemas é a necessidade de um sistema microcontrolado ou lógico complexo, porém, a eficiência é maior, operando em qualquer condição climática e podem ser projetados para dois eixos. Na Figura 4 temos um exemplo de rastreador ativo.

Figura 4 - Rastreador ativo



Fonte: Seguidor Solar (2018).

2.3.3 Rastreadores cronológicos

Uma forma de rastreador solar acontece quando é feito o estudo teórico da direção do sol, de acordo com data e horário é possível calcular a posição do sol e programar um sistema com essas informações. É uma forma mais simples de programação, porém pode sofrer perturbações como as nuvens e chuva (Sanjuan, 2013).

Sanjuan (2013) ainda complementa que este sistema tem a vantagem de não usar o sensoriamento para rastreamento do Sol, o que reduz os custos do rastreador. No entanto existe a desvantagem na dificuldade de projeção dos movimentos solares, já que os cálculos destes movimentos são de extrema importância para o sistema ter o maior aproveitamento de energia.

2.3.4 Rastreadores controlados

O sistema de controle tem como principal objetivo otimizar as variações que acontecem no ângulo de altitude em diferentes localizações geográficas. E eles são divididos em dois tipos: malha fechada e aberta (Martins, 2016).

Martins cita que os controlados em malha fechada têm como característica a realimentação do sinal da variável de saída. Os sensores vão obter os valores para a melhor posição do sol, esta é manipulada pelo controlador através de algoritmos para então acionar os mecanismos para movimentar a estrutura que está localizado o painel fotovoltaico.

A vantagem desse sistema é que acontece uma correção e compensação de possíveis perturbações, deixando a posição mais precisa. No entanto esse tipo de sistema é complexo e pode ter custos elevados (D'AZZO & HOUPIS, 2003).

Os controlados em malha aberta não utilizam realimentação, dessa maneira a correção, que é uma vantagem na malha fechada, não acontece nesse caso. Assim o controlador toma sua decisão de acordo com os valores que ele tem no real momento. Uma grande vantagem desse tipo de rastreador é o seu custo, que pode ser baixo, porém necessita de um estudo detalhado para sua calibração inicial (TESSARO,2014). A Figura 5 mostra um exemplo de rastreador controlado.

Figura 5 - Rastreador controlado



Fonte: Portal da Energia (2018).

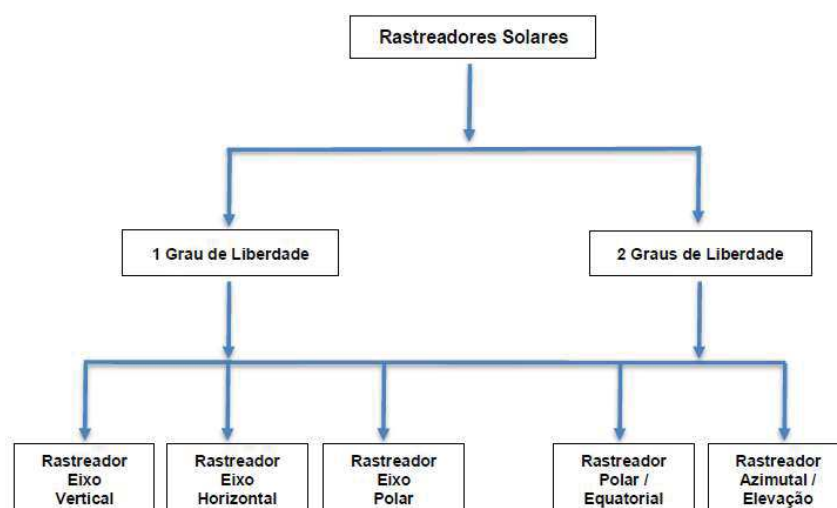
2.4 SISTEMAS DE ROTAÇÃO

Nesta seção será discutido os prós e contras dos sistemas de rotação para um seguidor solar, com o objetivo de escolher a melhor alternativa para o projeto.

Os seguidores solares podem ter um ou dois eixos de movimentação. Quando possui apenas um eixo, ele pode ser com orientação polar, norte-sul ou leste oeste. Já com dois eixos, um tem a função de ajustar o azimute da superfície e o outro é horizontal (Martins, 2016).

Analisando todos os métodos de rastreadores solares, Chong (2014) concluiu que os seguidores podem ser divididos em dois grupos principais, caracterizados pela sua quantidade de eixos de rotação como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Tipos de plataformas de rastreadores solares



Fonte: Chong (2014).

2.4.1 Seguidor polar de eixo único

Este tipo de rastreador solar geralmente é fixo num ângulo Norte-Sul, e sua variação acontece Leste-Oeste. Ao adotar este método o painel vai estar perpendicular ao sol nos equinócios da Primavera e Outono. Em qualquer outro dia do ano um pequeno erro vai acontecer (Sanjuan, 2013).

Abouzeid (2001) construiu um rastreador solar do tipo polar de um eixo. O seu controle era por malha fechada, com um controlador lógico programável. Para sua movimentação era utilizado um motor de passo concluindo que os de eixo polar são mais adequados em latitudes altas, afastadas do equador e dos trópicos.

Com uma ideia parecida Oliveira (2007) propôs um rastreador solar de um eixo, do tipo polar, porém seu tracionamento é utilizado um motor de corrente contínua que opera verificando a diferença de potencial entre os dois sensores. Nesse protótipo houve um ganho de 31% em relação à uma estrutura fixa equivalente, a Figura 7 mostra um exemplo de rastreador polar.

Figura 7 - Rastreador Polar



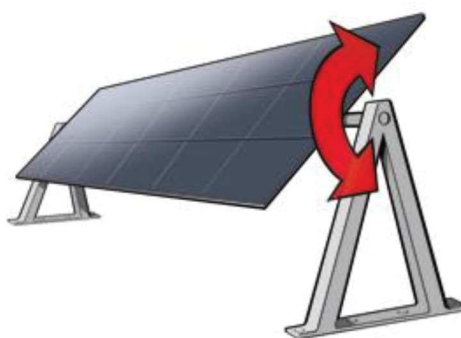
Fonte: Martins (2016).

2.4.2 Seguidor de eixo horizontal

Os seguidores horizontais permitem um seguimento sazonal ao sol, são seguidores mais simples, mais rígidos e estáveis se tornando uma melhor opção em locais com tempestades. Porém a sua eficiência é menor comparada a outros seguidores (Cortez, 2013).

A Faculdade de Engenharia da Colômbia desenvolveu um seguidor de um eixo do tipo horizontal com um servomotor. O acréscimo de desempenho que se obteve com este seguidor foi de 25% em relação ao painel fixo. E ainda concluindo que vai ter bom desempenho onde a latitude é próxima a linha do equador. A Figura 8 mostra um rastreador com movimentação no eixo horizontal.

Figura 8 - Rastreador com movimentação no eixo horizontal



Fonte: Martins (2016).

2.4.3 Seguidor de eixo azimute

Os seguidores de eixo azimute vão movimentar-se sobre uma base fixa, e assim procurar uma variação do azimute (ângulo medido no plano horizontal entre o meridiano do lugar do observador e o plano vertical que contém o ponto observado) ao longo do dia (Cortez, 2013).

Sua montagem é simples, tem bom desempenho em locais com dias longos e poder ter a inclinação ajustável e produz menos sombra que o polar. Esses rastreadores apresentam uma boa eficiência em regiões onde a latitude é distante da linha do equador (AYABE; JUNIOR; LOVATO; 2017), é possível observar essas características na Figura 9.

Segundo o Mauricio Madeira Oliveira (2008) que no programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul fez a análise do desempenho de um gerador fotovoltaico com seguidor solar azimutal e obteve 35,5% de potência média de ganho sobre o sistema fixo.

Figura 9 - Rastreador com movimentação no eixo azimute



Fonte: Oliveira (2008).

2.4.4 Seguidor solar com dois eixos

Os dois eixos se movimentam, fazendo com que seja possível encontrar a melhor posição possível para que a eficiência de geração de energia elétrica seja máxima. É o tipo de seguidor mais completo, pois permite coletar o máximo de energia possível, porém é o mais complexo e necessita de uma área maior, além do custo que pode ser maior comparado aos outros (Martins, 2016), como mostra a Figura 10.

Abdallah e Nijmeh (2004) propuseram um rastreador solar do tipo azimutal de dois eixos, os resultados obtidos foram de eficiência de 41,34 % em relação ao fixo.

Figura 10 - Rastreador com movimentação nos dois eixos



Fonte: Solar Choice (2011).

2.5 ESTRUTURAS DOS RASTREADORES SOLARES

A estrutura pode influenciar nos resultados dependendo de algumas variáveis que serão citadas nesse capítulo. As estruturas são divididas em: Pedestal, Roll-Tilt e Plataforma Giratória.

2.5.1 Estrutura com pedestal

A estrutura de um seguidor solar com pedestal é a mais simples, sendo que possui um eixo posicionado na vertical que sustenta as placas fotovoltaicas. Esse tipo de estrutura é mais utilizado quando é necessária rotação em torno eixo vertical (ângulo azimute) (BARBOSA, 2016).

Segundo o Instituto de Sistemas Fotovoltaicos – Universidade de São Paulo (2008), a principal vantagem dessa estrutura é sua instalação que é muito simples, uma vez que pode ser fixada ao solo sobre uma base concretada. Porém necessita de uma maior fundação e caixa de engrenagem mais robusta pois a parte mecânica

pode sofrer esforços por causa dos ventos, um exemplo dessa estrutura está representado na Figura 11.

Figura 11 - Estrutura pedestal



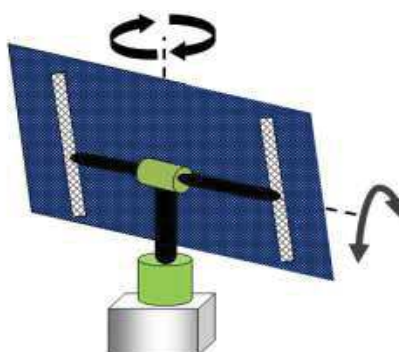
Fonte: Seguidor Solar (2018).

2.5.2 Estrutura Roll-Tilt

Na estrutura roll-tilt o eixo de rotação é na horizontal, que sustenta as placas fotovoltaicas para seguir o movimento do sol (Pinto; Macagnan; Zilles; Lehmann; 2008).

Esse tipo de estrutura é muito utilizado quando possuem um grande número de módulos fotovoltaicos, sendo que sua desvantagem está na implementação em relação a parte mecânica que é complexa. A Figura 12 mostrar um exemplo de estrutura roll-tilt.

Figura 12 - Estrutura Roll-tilt



Fonte: Barbosa (2008).

2.5.3 Estrutura com plataforma giratória

Rastreadores com a plataforma giratória possuem uma base circular, e geralmente sustentam muitos módulos fotovoltaicos, pois esse tipo de estrutura é utilizado em sistemas de grande porte e de alta concentração (Pinto; Macagnan; Zilles; Lehmann; 2008). A Figura 13 mostra uma estrutura com plataforma giratória.

Figura 13 - Estrutura com plataforma giratória



Fonte: Projectista (2018).

2.6 MOTORES

Nesta seção será abordado os motores mais utilizados nos seguidores solares: motor passo a passo, de corrente contínua e por indução.

2.6.1 Motor passo a passo

Segundo Soares (2004), os motores de passo a passo são muito utilizados na eletrônica e na mecatrônica, pois esse tipo de motor é muito interessante quando é necessário precisão aliada a força.

O seu funcionamento é dado pelo uso de enrolamentos alinhados dois a dois de forma que quando energizados atrairão o rotor fazendo-o se alinhar com o eixo determinado pelos enrolamentos, gerando assim uma pequena variação rotacional que é chamada de passo (BRITES & SANTOS, 2008).

O motor utilizado nos seguidores solares deve operar em condições que apresentam forte corrosão e adversidades climáticas, essa é uma desvantagem pois os motores de passo a passo podem parar de funcionar ou apresentar defeitos nessas

condições, sendo apenas utilizados em protótipos (Sanjuan, 2013). A Figura 14 mostra a imagem de um motor de passo.

Figura 14 - Motor de passo



Fonte: Sanjuan (2013).

2.6.2 Motor corrente contínua

Os motores de corrente contínua possuem estrutura simples e características bem favoráveis para realização de acionamentos elétricos a velocidade variável. No entanto, seu custo é elevado e é necessário estar em manutenção constantemente para seu perfeito funcionamento (Neoyama, 2016). A Figura 15 mostra a imagem de um motor de corrente contínua.

Figura 15 - Motor de corrente contínua



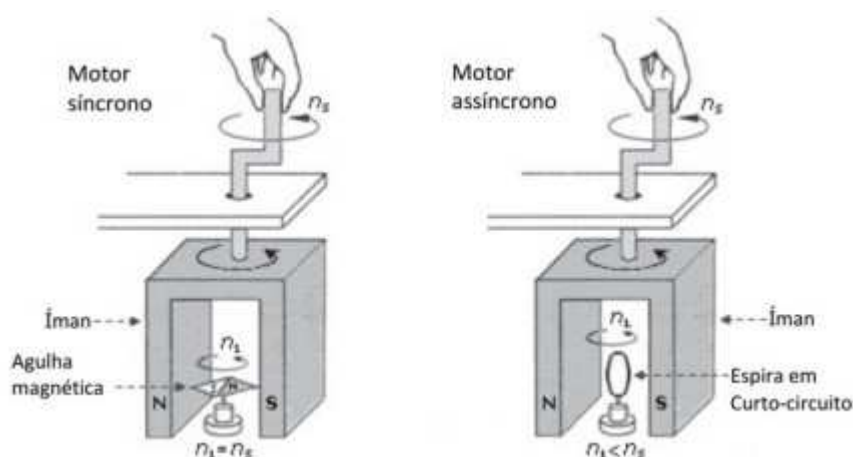
Fonte: Neoyama (2016).

2.6.3 Motor de indução

Os motores de indução, também conhecidos como motores assíncronos, é um dos tipos de motores mais utilizados nos rastreadores solares comerciais. Esse tipo de motor é alimentado por corrente alternada (Neoyama, 2016).

De acordo com Francisco (2013), os motores de indução funcionam rodando o imã e criando um campo magnético, designado por girante, em torno da agulha magnética que tem a velocidade de sincronismo. A Figura 16 mostra o princípio do funcionamento do motor de indução.

Figura 16 - Princípio do funcionamento do motor de indução



Fonte: Francisco (2013).

Segundo Francisco (2013) esse é o motor mais utilizado nos rastreadores solares devido a sua robustez (resistentes a umidade e corrosão), baixo custo, rendimento elevado e por apresentarem manutenção simples. Porém o acionamento de máquinas assíncronas possui uma alta complexidade em virtude a sua modelagem, pois exige o estudo de um sistema multivariável.

2.6.4 Servo Motor

Os servos motores são motores elétricos utilizados em aplicações de posicionamento, em que recebem sinais elétricos que transformam em movimentos de rotação ou em deslocamentos lineares precisos. (FRANSICO, 2013). A Figura 17 mostra a imagem de um servo motor.

Figura 17 - Servos Motores



Fonte: Francisco (2013).

2.7 MICROCONTROLADORES

A utilização dos microcontroladores tem contribuído para grandes transformações tecnológicas nas mais diversas áreas. Projetos microcontrolados têm ganhado destaque, pois viabilizam o desenvolvimento de soluções personalizadas e de baixo custo, o que vêm se tornando uma enorme exigência nas empresas modernas (ZANCO, 2010).

Zanco (2010) cita que em muitos projetos, que até poucos anos eram elaborados com base numa grande quantidade de componentes, podem hoje ser elaborados com base em microcontroladores. Os microcontroladores “fazem tudo” pois podem ser programados para isso.

Ele ainda afirma que a diferença entre os diversos tipos de microcontroladores é a sua capacidade de memória que pode variar de algumas centenas de bytes a centenas de milhares de bytes, dependendo do que desejamos fazer com eles, a arquitetura, velocidade e alimentação. Assim, não basta fazer o projeto e escolher um microcontrolador qualquer para elaborá-lo: é preciso escolher um microcontrolado que tenha as características exigidas pelo projeto.

2.7.1 Microcontroladores PIC (microchip)

Os microcontroladores PIC tem se mostrado excelentes, tanto para projeto em *assembly* como na linguagem C. Esse tipo de microcontrolador usa a arquitetura Harvard, nessa arquitetura tanto o programa como os dados podem ser armazenados no mesmo espaço da memória, o que facilita a operação dos circuitos de entrada e

saída, mas usam barramentos diferentes, ou seja, circuitos de entrada e saída separados (BRAGA, 2014).

Braga ainda afirma que um PIC vem sem informações de fábrica contendo apenas o set de instruções que o tipo escolhido oferece. Assim, o primeiro passo para se escolher o PIC no projeto é entender o set de instruções disponível e elaborar um código que possa ser usado pelo microcontrolador.

Na Figura 18 pode ser visto um microcontrolador PIC17F877A.

Figura 18 - Microcontrolador PIC17F877A



Fonte: Web Electro (2017).

Segundo Maas (2018), os microcontroladores do Microchip têm vantagens na portabilidade, maior velocidade de desenvolvimento. Porém as desvantagens de se programar em C são que o tamanho do código HEX final gerado é sempre maior que o gerado pelo compilador "Assembler" (em média 10% a 30%) e a velocidade de execução do programa gerado pelo compilador "C" é inferior do que do "Assembly".

Os microcontroladores da família PIC podem ser uma boa alternativa para utilizar em um seguidor solar, já que existem diversos tipos entre essa família, com diferentes capacidades. Dessa forma foi escolhido esse tipo de microcontrolador para este projeto, já que será implementado em C.

2.7.2 ATmega (AVR)

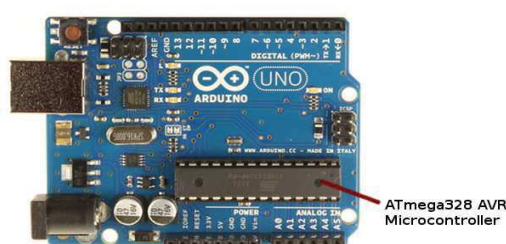
Devido ao seu desempenho, os microcontroladores AVR têm assumido um papel de destaque entre os microcontroladores de 8 bits. Sua arquitetura moderna, além de permitir execuções mais rápidas dos programas, permite uma maior densidade de código comparado às outras tecnologias de 8 bits (Borges e Vilaça, 2012).

Borges e Vilaça (2012) ainda complementam que a plataforma Arduino tornou populares os microcontroladores AVR, possibilitando que esses alcancem um número cada vez maior de pessoas. A plataforma Arduino associa, principalmente, a facilidade de programação com a disponibilidade de inúmeros periféricos na forma de módulos, ferramentas de programação gratuitas e amplo suporte técnico.

As vantagens do Arduino, segundo O'REILLY (2007), são que o Arduino é uma ferramenta *open-source*, e tem uma enorme comunidade de seguidores em todo o mundo e pode operar sem presença de um computador.

Na Figura 19 está presente a imagem de um Arduino com um microcontrolador ATmega328.

Figura 19 - Microcontrolador ATmega328



Fonte: O'Reilly (2007).

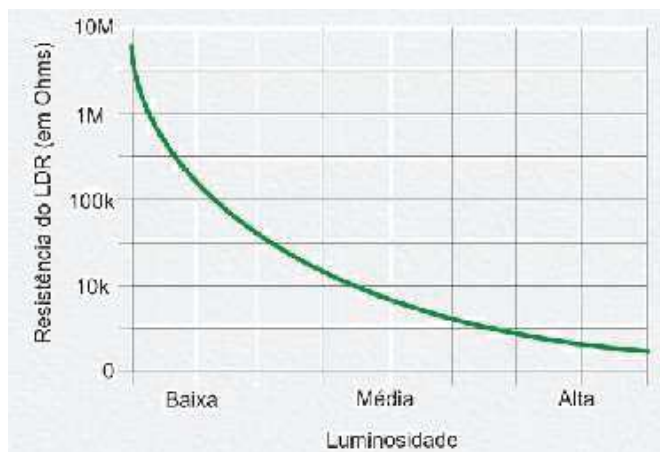
2.8 SENSOR LDR (*LIGHT DEPENDENT RESISTOR*)

Segundo André Meneses (2004), um LDR (Resistor Dependente da Luz) é um tipo especial de resistor que apresenta uma mudança em sua característica de resistência elétrica quando submetido à ação da luz.

André Meneses (2004) ainda concluí que apresentam um valor de resistência elevada em um ambiente escuro, e quando expostos à luz, têm a condutividade

aumentada. Ou seja, oferecem baixa resistência elétrica quando iluminados, como pode ser visto na Figura 20.

Figura 20 - Curva da Resistência x Luminosidade do LDR



Fonte: Menezes (2014).

3. METODOLOGIA

O rastreador solar que foi projetado, é do tipo ativo, já que suas vantagens são precisão e eficiência. A precisão é essencial para um rastreador solar, pois é necessário localizar a melhor posição para as placas fotovoltaicas. A única desvantagem desse tipo de rastreador é a sua complexidade, que foi compensada com a utilização de um microcontrolador PIC16F877A, que permite implementação na linguagem C.

A rotação foi projetada em um primeiro momento para um eixo, analisada e testada. Depois foi realizada para dois eixos, ocorrendo uma varredura e assim buscando a posição com maior intensidade de raios solares. A rotação vai ser auxiliada com um servo motor para cada eixo, que apresentam uma pequena variação rotacional que pode ser controlada facilmente.

3.1 DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES E FERRAMENTAS UTILIZADAS

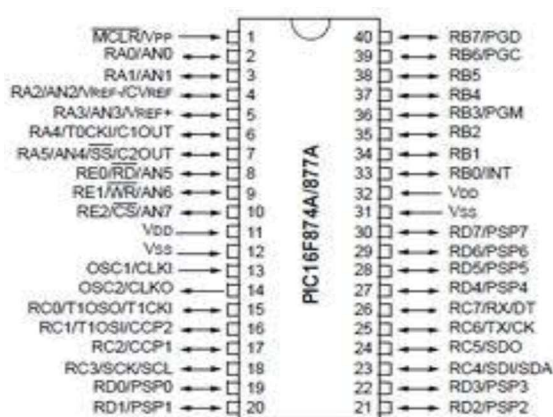
3.1.1 Microcontrolador PIC16F877A

De acordo com o *datasheet* da Microchip, as características do microcontrolador PIC16F877A são:

- Frequência de operação (*clock*) até 20 MHz;
- Memória *flash* de programa com 8192 palavras de 14 bits;
- Memória RAM com 368 bytes;
- Memória EEPROM com 256 bytes e;
- Função *watchdog* timer;
- Programação na linguagem C.

Por essas características foi utilizado esse microcontrolador, já que possui memória suficiente para implementar uma programação de rastreamento solar. E ainda possui 40 pinos como mostra na figura 20 e podendo ser alimentado com 2 V a 5,5 V. A Figura 21 mostra os pinos do PIC16F877A.

Figura 21 - Pinos da PIC16F877A



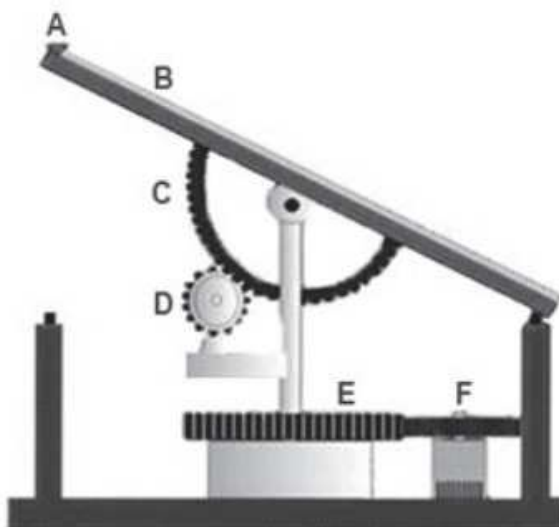
Fonte: VARALELETRONICO, 2013.

Outras razões que influenciou foi o seu baixo custo e sua gravação, que pode ser feita com um pequeno circuito eletrônico, através da porta paralela ou serial de qualquer computador.

3.1.2 Estrutura Do Protótipo

A estrutura, como já foi citada, será realizada com dois eixos. Baseada no modelo do seguidor beta, atualmente presente no mercado como mostra a Figura 22.

Figura 22 - Estrutura Beta



Fonte: Artigo Seguidor Solar Aplicado em Placas Fotovoltaicas.

Legenda para a Figura 22:

A: Sensores

B: Painel Solar

C: Engrenagens para movimento de inclinação

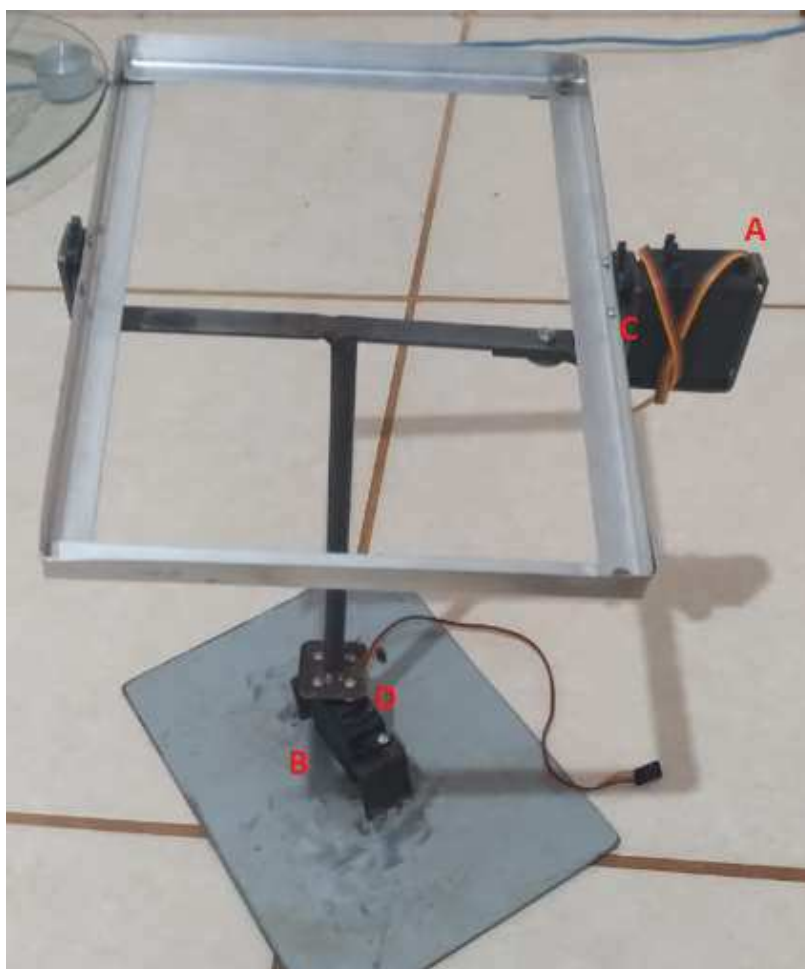
D: Motor de inclinação

E: Corona para movimento azimutal

F: Motor azimutal

A Figura 23 mostra a estrutura do protótipo baseada no modelo beta, com uma estrutura de pedestal de ferro, com engrenagens pequenas e a plataforma para a placa fotovoltaica de alumínio.

Figura 23 - Estrutura do protótipo



Fonte: Autoria própria.

Legenda para a Figura 23:

A: Servo Motor 1

B: Servo Motor 2

C: Engrenagem para movimento de inclinação 1

D: Engrenagem para movimento de inclinação 2

A Figura 24 mostra a imagem da engrenagem utilizada na estrutura.

Figura 24 - Engrenagem do protótipo

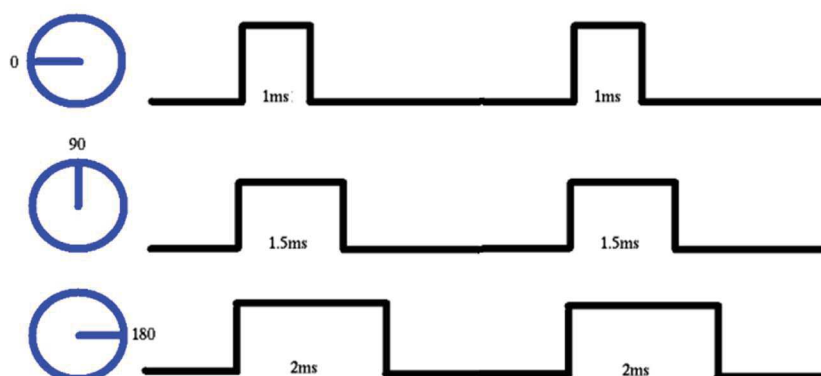


Fonte: Autoria própria.

3.1.3 Servo Motor

A principal diferença entre um servo motor e os outros motores (tanto de corrente alternada quanto contínua) é que os servos possuem incorporado neles um encoder e um controlador. A Figura 25 mostra o funcionamento do servo motor.

Figura 25 - Funcionamento do servo motor

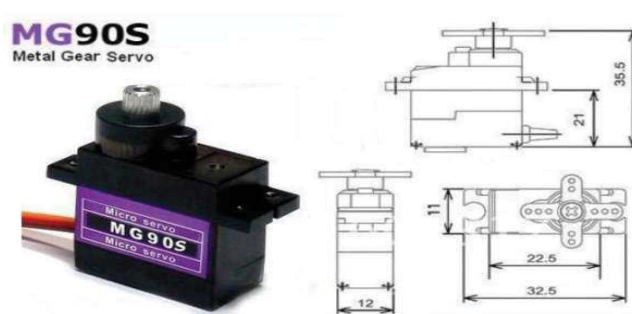


Fonte: Eletronics Stackexchange

A escolha desse tipo de motor para o projeto foi devida as suas vantagens que são: alta precisão de controle, torques altos e força motriz elevada, ruídos e vibrações baixas e excelente manutenção. Utilizando um *PWM (Pulse Width Modulation)* para controlar o seu posicionamento, facilitando muito o projeto e sendo eficiente.

Foram adquiridos dois servos motores MG90S, a escolha do motor foi baseada no seu preço, dimensão e torque. A Figura 26 mostra as especificações do motor MG90S.

Figura 26 - Especificações do motor MG90S



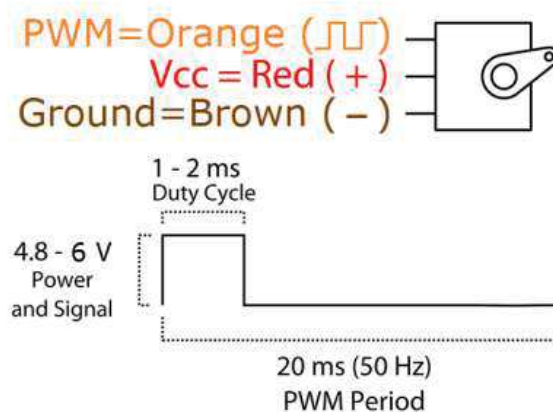
Fonte: Electronicoscaldas (2019).

De acordo com o datasheet da Tower Pro, as características do servo motor são:

- Peso de 13.4 gramas;
- Dimensão de 22.5 x 12 x 35.5 milímetros aproximadamente;
- Torque de 1.8kgf.cm (4.8V) e 2.2kgf.cm(6V) ;
- Velocidade de operação com 0.1s/ 60 graus (4.8V) e 0.08s/60 graus (6V);
- Tensão de operação com 4.8 a 6 V.

A Figura 27 mostra o período PWM do motor MG90S.

Figura 27 - Período PWM do MG90S.



Fonte: Electronicascaldas (2019).

3.1.4 Placa Fotovoltaica

A placa fotovoltaica foi escolhida baseada no preço, tensão máxima e potência máxima para que a análise dos resultados fosse satisfatória. A Figura 28 mostra a foto da placa fotovoltaica utilizada no projeto.

Figura 28 - Placa Fotovoltaica



Fonte: A autoria própria.

Especificações:

- Tensão máxima: 9 V;
- Potência de saída: 1 W;

- Corrente de trabalho: 0-100 mA;
- Tamanho do produto: 110 x 70 x 3.0 mm
- Material: Silício Policristalino

Aplicações:

- Carregar telefones celulares;
- Para iluminação;
- Adequado para a bomba de água movido a energia solar.

3.1.5 Pickit 3

O Pickit 3 é um gravador de baixo custo, mais rápido se comparado com versões anteriores e que realiza a gravação dos microcontroladores PIC por meio de conexão ICSP (In Circuit Serial Programming). Suporta os microcontroladores PIC das linhas PIC16F, PIC18F, dsPIC33f, PIC24 e PIC 32. A Figura 29 mostra a imagem do Pickit 3.

Figura 29 - Pickit 3



Fonte: Robokits (2019).

3.1.6 Circuito Projetado

Com o auxílio do software *Proteus 8*, foi desenvolvido o circuito e testado o código no microcontrolador. O Apêndice E mostra o circuito projetado no *Proteus*.

Materiais utilizados:

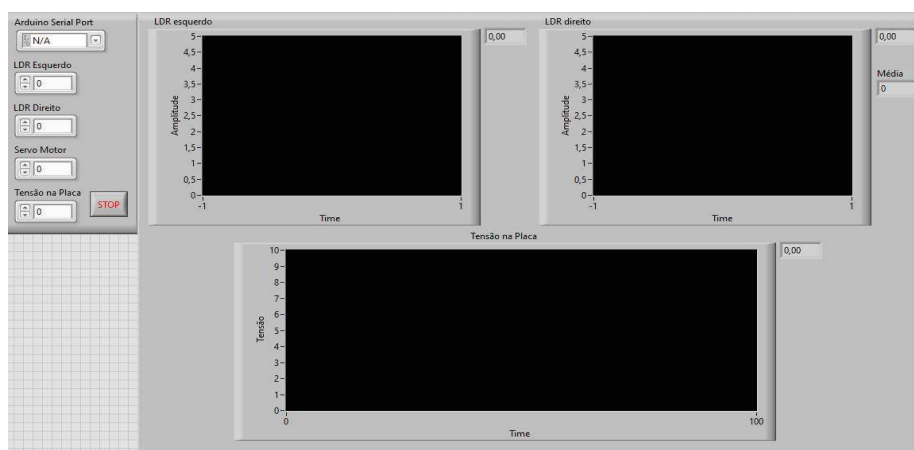
- 4 Resistores LDR
- 2 Motores MG90S
- 1 PIC16F877A
- 2 Fontes de tensão de 5V
- 1 LCD 16x2
- 4 Resistores 5k Ohm
- 2 Capacitores de 200uF
- 1 Crystal de 8MHz

3.1.7 Software para coletar dados

Foi utilizado o software LabVIEW 2018, para desenvolver uma plataforma para analisar e armazenar os dados.

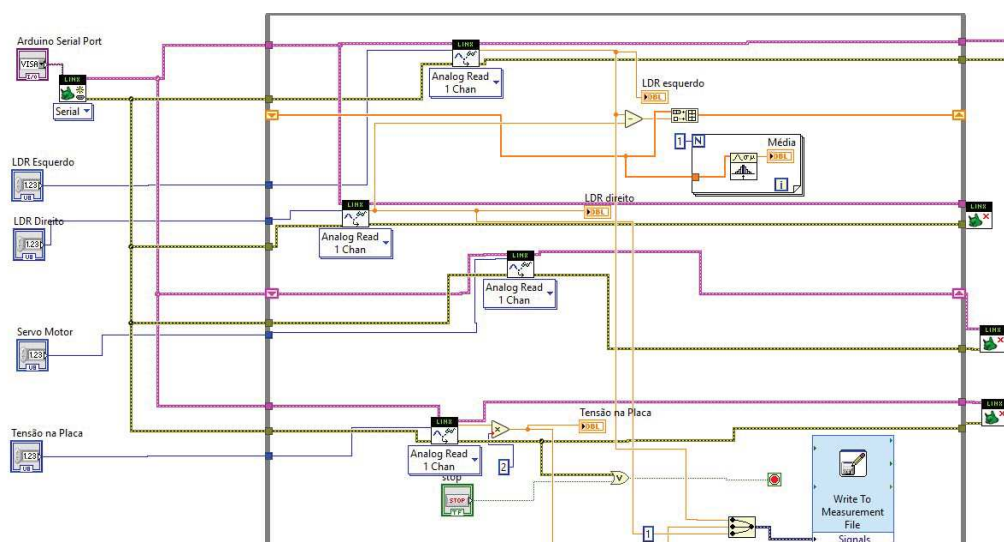
Os dados podem ser vistos em tempo real e são armazenados no Excel, para essa realização foi necessário o auxílio de um Arduino UNO que a partir da programação do LabVIEW analisava as tensões nos fotoresistores (LDR – *Light Dependent Resistor*) e na placa fotovoltaica. A Figura 30 mostra o programa no LabVIEW e a Figura 31 mostra a sua programação.

Figura 30 - Programa LabVIEW



Fonte: Autoria própria.

Figura 31 - Programação do LabVIEW



Fonte: Autoria própria.

3.2 FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO

São dois pares de LDR, um para cada eixo cardeal. O movimento do painel em torno do eixo vertical acontece quando tem uma diferença entre a tensão no LDR Norte e a tensão no LDR Sul, o mesmo acontecendo com o eixo horizontal em relação ao par de LDR's Leste e Oeste.

Essa diferença foi testada para que o protótipo não se movimentasse de maneira irregular sendo de aproximadamente 0,2 V sendo que a alimentação do circuito é de 5 V.

O rastreamento vai começar quando o sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) identificar uma alteração na resistência comparada com o LDR considerado o seu par, sendo a posição inicial o nascer do sol do local testado.

Os valores desse protótipo foram comparados a um sistema fixo, que foi testado em condições parecidas com a intenção de obter resultados mais precisos. A Figura 32 mostra o protótipo do rastreador solar.

Figura 32 - Protótipo do rastreador solar



Fonte: Autoria própria.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram analisados os dois tipos de rastreamento solar, o de eixo simples e o de eixo duplo e comparado com o sistema fixo.

A tensão foi analisada em tempo real com o auxílio do LabVIEW e calculado a média dentro de uma hora, já a corrente foi medida com um multímetro a cada 30 minutos do teste, que se iniciou as 8 horas e foi finalizado as 18 horas.

Alguns testes foram descartados, devido ao dia estar muito nublado, chuvas ou até mesmo muito calor. Para obter bons resultados na comparação só foram aceitas temperaturas médias de 28 graus Celsius com poucas nuvens no céu, de acordo com o ClimaTempo.

O valor da comparação entre os dois LDR's para ativar o movimento do servo motor foi modificado várias vezes em busca de resultados melhores, descartando valores maiores que 0,2 V e menores que 0,1 V que obteve resultados ruins.

Os testes foram realizados próximo da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão, em um campo aberto na Marginal Rua Maria Rosalina Ferreira, como mostra a Figura 33.

Figura 33 - Rastreador solar no local de teste



Fonte: A autoria própria.

4.1 SISTEMA FIXO SEM RASTREADOR

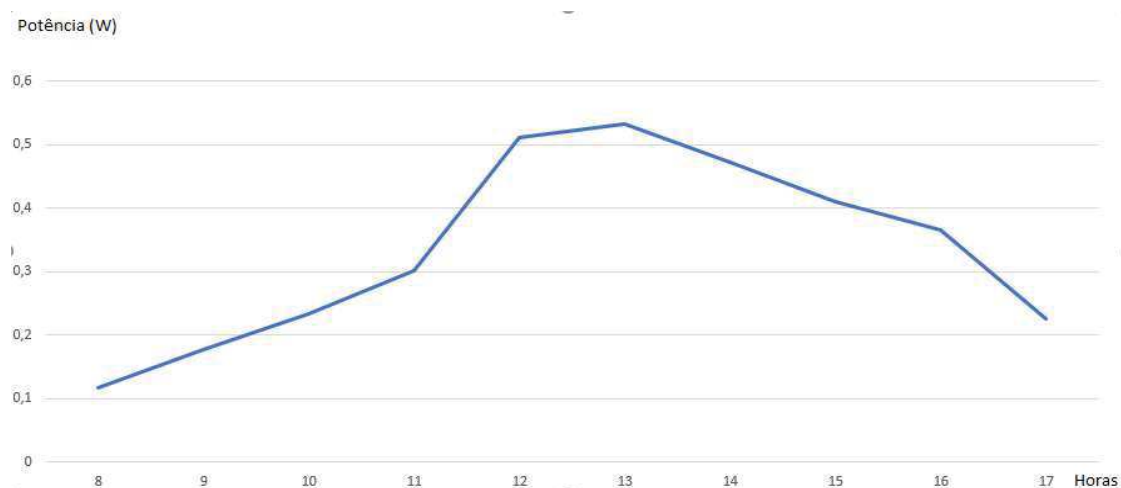
Teste realizado em condições climáticas favoráveis, citadas anteriormente, e sem nenhum mecanismo de rastreamento. O Quadro 1 apresenta os dados coletados resumidamente e o gráfico está representado na Figura 34.

Quadro 1 – Dados do sistema fixo

Horário	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência(W)
08:01 até 09:00	6,18	0,019	0,11742
09:01 até 10:00	6,3	0,028	0,1764
10:01 até 11:00	6,33	0,037	0,23421
11:01 até 12:00	6,54	0,046	0,30084
12:01 até 13:00	7,5	0,068	0,51
13:01 até 14:00	7,1	0,075	0,5325
14:01 até 15:00	6,65	0,071	0,47215
15:01 até 16:00	6,62	0,062	0,41044
16:01 até 17:00	6,75	0,054	0,3645
17:01 até 18:00	6,1	0,037	0,2257

Fonte: Aatoria própria.

Figura 34 - Gráfico do sistema sem rastreador



Fonte: Aatoria própria.

4.2 SISTEMA COM RASTREAMENTO EM UM EIXO

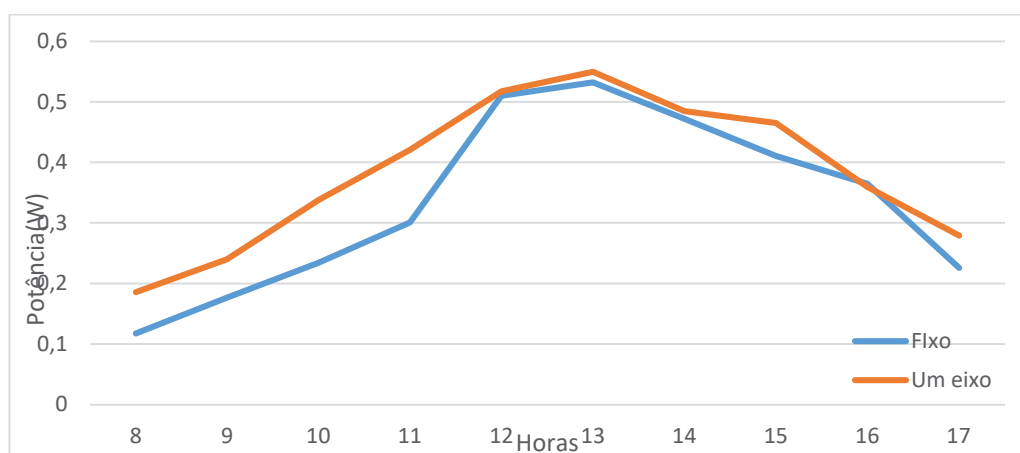
Repete-se o teste anterior em outro dia e em condições climáticas favoráveis, citadas anteriormente. Um eixo (Leste-Oeste) é fixado nas condições mais favoráveis para época do ano (outono), segundo o aplicativo Sol Position, e o outro eixo (Norte-Sul) a partir de variações dos fotoresistores ativam o servo motor para procurar a melhor posição. Os estão representados no Quadro 2 e no gráfico da Figura 35.

Quadro 2 – Dados do rastreamento em um eixo

Horário	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência(W)
08:01 até 09:00	6,40	0,029	0,18560
09:01 até 10:00	6,66	0,036	0,23976
10:01 até 11:00	6,62	0,051	0,33762
11:01 até 12:00	6,68	0,063	0,42084
12:01 até 13:00	7,61	0,068	0,51748
13:01 até 14:00	7,05	0,078	0,54990
14:01 até 15:00	6,92	0,070	0,48844
15:01 até 16:00	6,84	0,068	0,46512
16:01 até 17:00	6,78	0,053	0,35934
17:01 até 18:00	6,64	0,042	0,27888

Fonte: Autoria própria.

Figura 35 - Gráfico do rastreamento com um eixo comparando com fixo



Fonte: Autoria própria.

4.3 SISTEMA COM RASTREAMENTO EM DOIS EIXOS

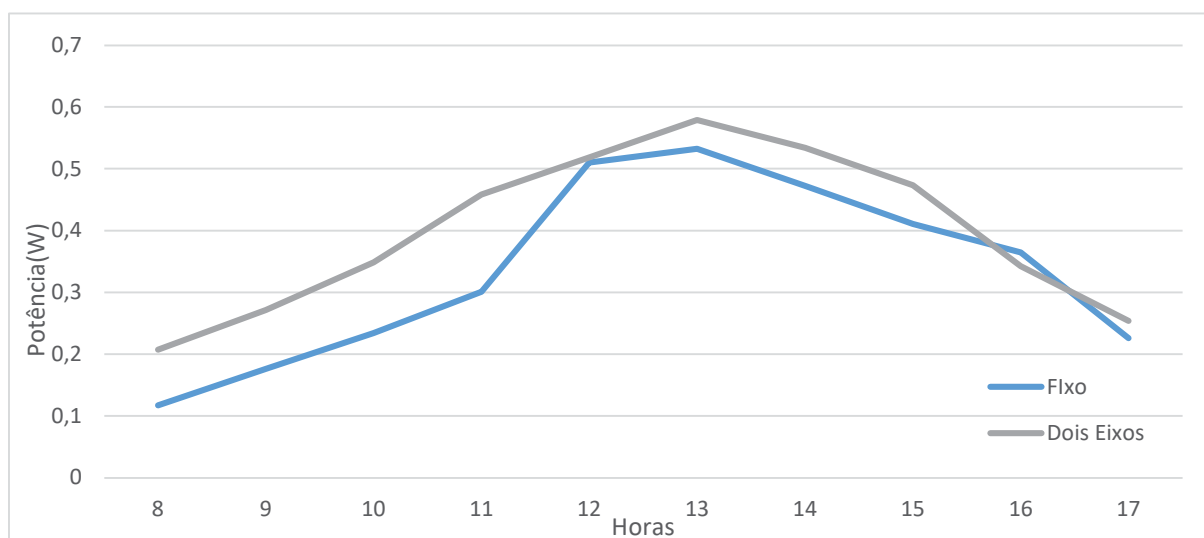
Repete-se o teste anterior em outro dia e em condições climáticas favoráveis, citadas anteriormente. Os dois eixos estão com servos motores para procurar a melhor posição possível. Os dados estão representados no Quadro 3 e o gráfico na Figura 36.

Quadro 3 – Dados do rastreamento em dois eixos

Horário	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência(W)
08:01 até 09:00	6,48	0,032	0,20736
09:01 até 10:00	6,62	0,041	0,27142
10:01 até 11:00	6,70	0,052	0,34840
11:01 até 12:00	6,74	0,068	0,45832
12:01 até 13:00	7,51	0,069	0,51819
13:01 até 14:00	7,33	0,079	0,57907
14:01 até 15:00	7,12	0,075	0,53400
15:01 até 16:00	6,76	0,070	0,47320
16:01 até 17:00	6,71	0,051	0,34221
17:01 até 18:00	6,51	0,039	0,25389

Fonte: Autoria própria.

Figura 36 - Gráfico do rastreamento com dois eixos comparado com fixo

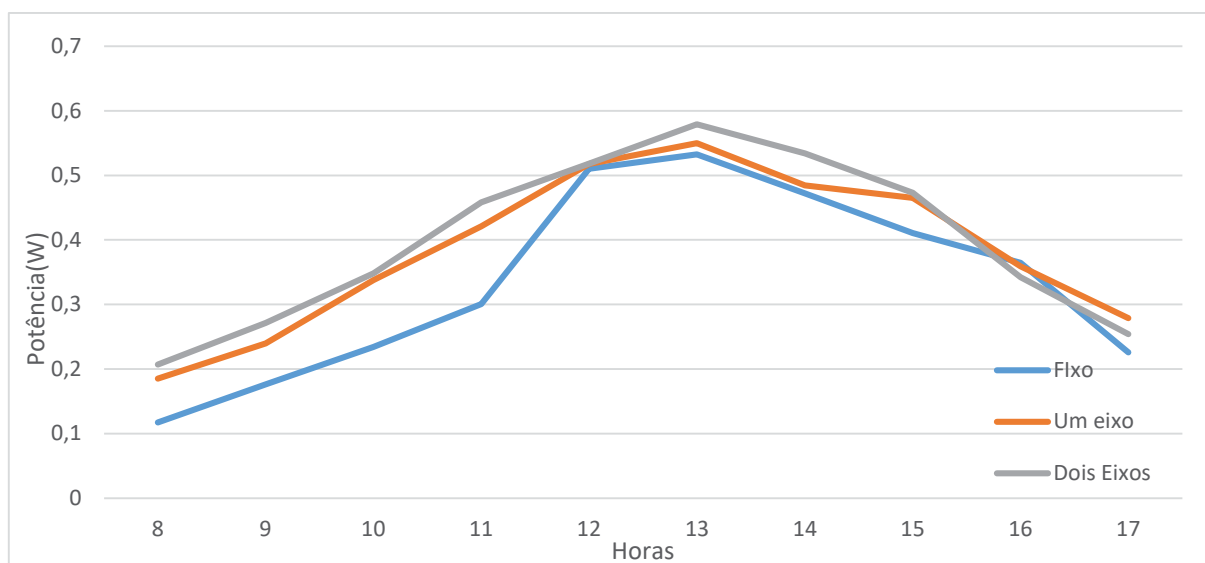


Fonte: Autoria própria.

4.4 SISTEMAS DE RASTREAMENTO COMPARADOS

A Figura 37 mostra todos os gráficos comparados, de modo que podemos perceber as diferenças na potência de cada teste realizado.

Figura 37 - Gráfico comparando todos sistemas



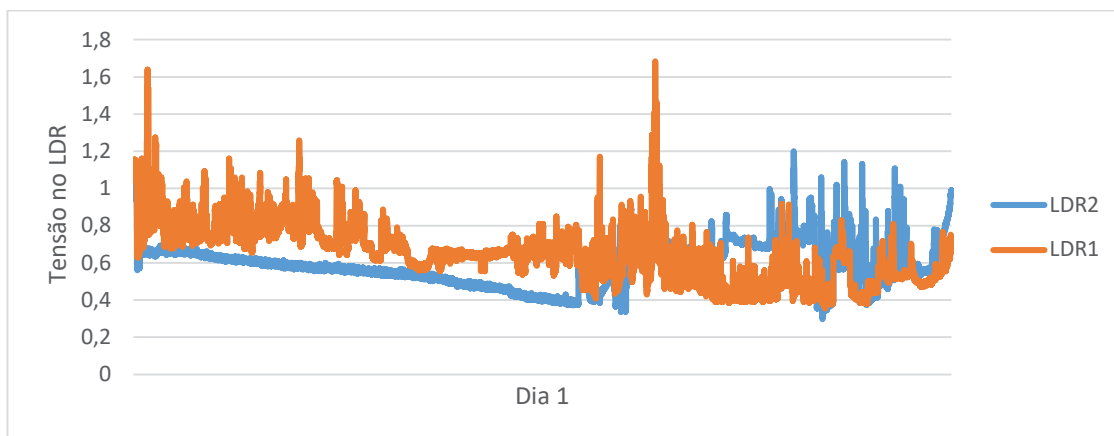
Fonte: Autoria própria.

O sistema de rastreamento com um eixo comparado com o fixo obteve uma potência média durante o dia de 16% a mais. O sistema de rastreamento com dois eixos comparado com o fixo obteve 19% de potência média a mais.

4.5 DADOS SOBRE OS SENSORES

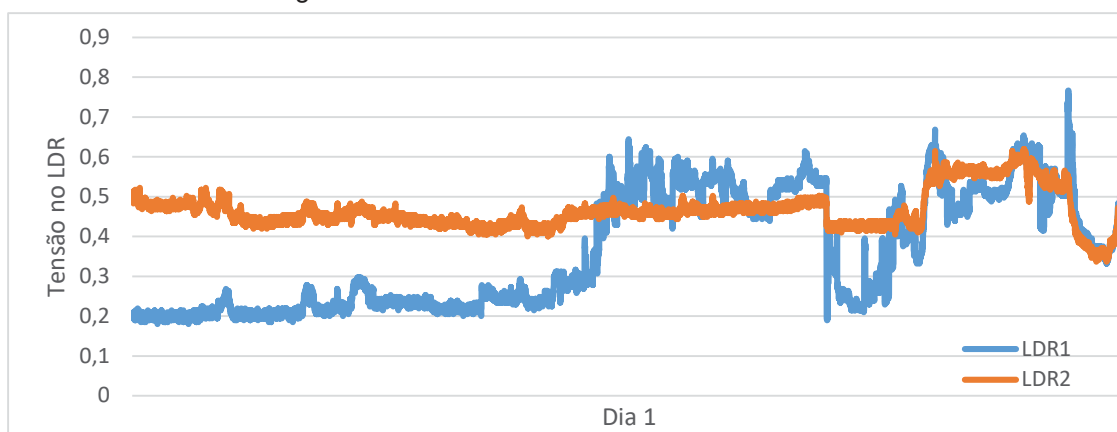
Os sensores Norte/Sul e Leste/Oeste foram analisados em tempo real pelo LabVIEW, com o objetivo de testar se a programação estava funcionando corretamente, sendo que a tensão nos LDR's tem que ser parecida durante todo o dia, exceto no sistema fixo em que não acontece a correção. Os LDR's foram analisados mesmo no sistema fixo de modo a comparar o comportamento com o sistema móvel. A Figura 39 e 40 mostra os gráficos com os valores de um sistema fixo.

Figura 38 - Sensores Norte/Sul do Sistema Fixo



Fonte: Autoria própria.

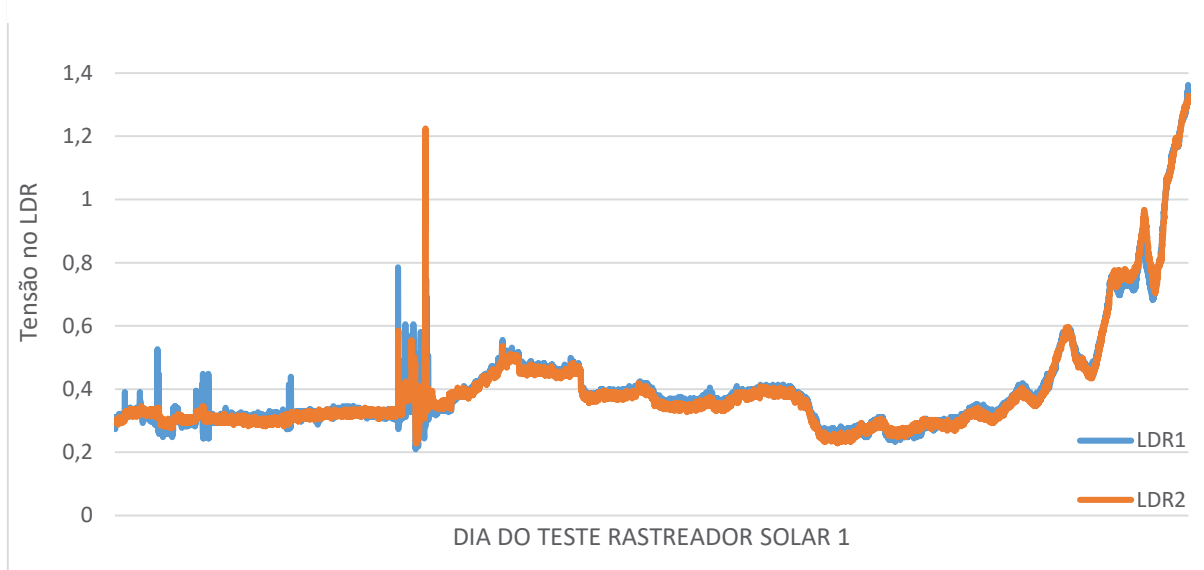
Figura 39 - Sensores Leste/Oeste do Sistema Fixo



Fonte: Autoria própria.

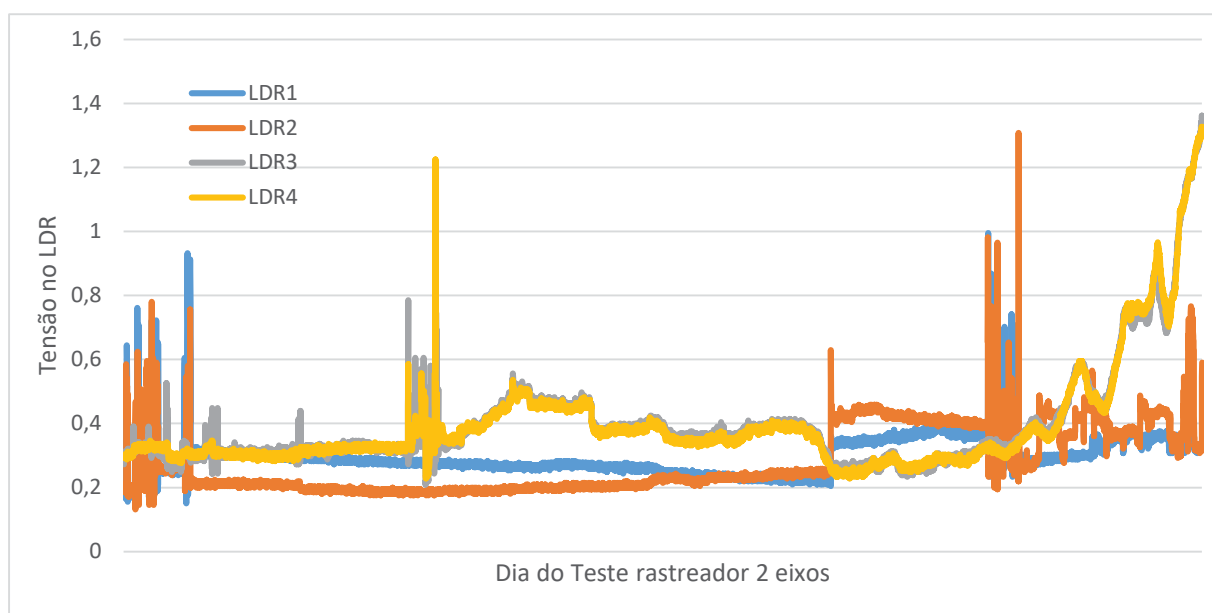
Observa-se que no sistema fixo os valores são diferentes pela manhã e depois das 15 horas, pois não acontece correção com o rastreador. Também foi possível observar que a correção seria mínima as 12 horas até as 15 horas, pois a placa fotovoltaica já está em sua melhor posição. Na Figura 40 tem-se os dados da tensão do LDR no sistema de um eixo, e na Figura 41 os mesmos dados, porém no sistema de dois eixos.

Figura 40 - Sensores Norte/Sul do sistema de rastreamento de 1 eixo



Fonte: Autoria própria.

Figura 41 - Sensores do sistema de rastreamento de 2 eixos



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 40 é possível observar que quando acontece mudanças na tensão do LDR, o servo motor movimenta a placa para que a tensão nos pares de LDR continue a mesma de acordo com o dia.

Na Figura 41 é necessário 4 fotoresistores pois é um rastreador de dois eixos, o servo motor no eixo Norte/Sul (LDR3/LDR4) corrige a diferença de tensão de maneira eficiente. Já o servo motor no eixo Leste/Oeste manteve uma diferença maior

pois nos primeiros testes ocorreu uma movimentação constante durante todo o dia, assim foi necessário aumentar a tolerância da tensão entre os dois LRD's.

5. CONCLUSÃO

Segundo Appleyard (2009) os estudos afirmam que o uso de rastreador solar aumenta a entrega de potência em 15 % a 35 %. Os resultados do protótipo do sistema de rastreamento de um eixo nesse trabalho mostraram 16 % de ganho, tendo em vista que é um projeto econômico e com uma programação considerada simples, os resultados foram satisfatórios.

De acordo com Oliveira (2008), empresas investiram em projetos com seguidores solares de dois eixos e obtiveram um aumento na ordem de 30 % a 40 % na produção de energia elétrica. O protótipo com os dois servos motores ativados obteve cerca de 19 % de ganho, muito distante do que a literatura informa. Essa parte do trabalho não foi satisfatória, pois com o uso de um servo motor a mais o ganho foi de apenas 3 %, além de estar longe dos valores citados por Oliveira.

A estrutura mecânica para o sistema funcionou perfeitamente, respeitando o torque que o servo motor suportava e sustentando a placa fotovoltaica.

Os valores de variação da resistência do sensor de luminosidade foram testados na programação de modo que o servo motor não ficasse se movimentando a todo instante, precisando apenas de alteração no sentido leste/oeste e obtendo sucesso.

Nos gráficos da Figura 40 e 41, pode-se ver que o código funcionou como esperado, pois os valores de tensão do sensor de luminosidade se mantiveram parecidos durante os testes realizados.

REFERÊNCIAS

ABOUZEID, M. **Use of a reluctance stepper motor for solar tracking based on a programmable logic array (pla) controller.** *Renewable Energy*, v23, 2001, ISSN 0960-1481.

ADÁN, J. B.. **Prototipo Fotovoltaico con Seguimiento del Sol para Procesos Electroquímicos.** Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico - Coordinación de Mecatrónica Dissertação. 2007.

ALBRIGTSEN, E. **Global, Diffuse and direct Pyranometer.** Agder University College.Grimstad,.2006.

APPLEYARD, D. **Solar Trackers: Facing the Sun.** 2009. Disponível em : <<http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2009/06/solar-trackers-facing-the-sun>> Acesso em 20/05/2018.

ARAUJO, J.D.B. **Prototipo de Rastreador Solar de um eixo baseado em microcontrolador,**2015. Dissertação de Mestrado do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

AYABE, M.S. – **Análise de desempenho de um gerador fotovoltaico dotado de um seguidor solar de eixo polar.** Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) do curso de Engenharia Elétrica na Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

BRAGA, N. C. – **Microchip PIC,** 2014. Disponível em : <http://www.newtonbraga.com.br/index.php/microcontroladores/141-microchip-pic/1243-mic001%3E>.

BRITES, F. G.; SANTOS, V. P. A.. **Motor de Passo.** UFF - Curso de Engenharia de Telecomunicações, Niterói, 2008.

CEMIG - **COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Alternativas Energéticas: uma visão** Cemig. Belo Horizonte: CEMIG, 2012.

CEPEL. **As energias solar e eólica no Brasil.** 2013. Disponível em: . Acesso em: 03 de out. 2015.

CHONG, K., WONG, C., TUNKU, U. e RAHMEN. **General Formula for On-Axis Sun Tracking System.** Universiti Tunkun abdul Rahman Malaysia, 2014.

D'AZZO, J. J. & HOUPIS, C. H. (2003), **Linear Control System Analysis and Design with Matlab,** Marcel Dekker, Inc.

FRANCISCO, A. **Motores Eletricos** 2009. Disponível em: https://issuu.com/lidel/docs/motores_el_tricos.

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos**. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007.

KARIMOV, K. **A simple photo voltaic tracking system**. *Solar Energy Materials and Solar cells*, 2005.

LIMA, C.B de L; Villaça, M.V.M. – **AVR e Arduino: Técnicas de Projeto**, 2008.

LIRA, J R. V. Implementação de um Sistema de Controle de Posição Aplicado a um Rastreador Solar do Tipo Polar. Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, 2014.

MARQUES, A. **Energias Renováveis**. Disponível em:

http://www.profafonso.com/index.php?option=com_content&view=article&id=122%3Aseg-solares&catid=20&Itemid=24&lang=pt, 2012. Acesso em 14/03/2018

MARTINS, F.O. **Seguidor solar de dois eixos com motores passo-a-passo**,2016. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Energias Renováveis na Universidade Nova de Lisboa.

MOUSAZADEH, H. et al. **A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,2004.

O'REILLY; Banzi, M. - **Getting started with Arduino**, 2007.

OLIVEIRA, C. A. A. **Desenvolvimento de um protótipo de rastreador solar de baixo custo e sem baterias**. Dissertação (Mestrado) universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, 2007.

PEREIRA, A.T.F. **Projeto, construção e análise de um sistema de posicionamento automático de painel solar fotovoltaico**,2016. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Juiz de Fora.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. **Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica**. Porto: Publindústria, 2011.

Pinto,A; Macgnan M; Ziles R; Lehmann J. – **Descrição de seguidores e sua aplicação em centrais fotovoltaicas conectadas à rede**, 2008.

Sanjuan, L.B.T. **Desenvolvimento de um rastreador solar para placas fotovoltaicas**,2013. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) do curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Vale do São Francisco.

SOARES, M. J.. **Três Circuitos Práticos com PIC 16F628A**. *Eletrônica Total*, nº 101, Julho – Agosto, 2004.

Souza,R.di. –**Energia Solar**, Artigo BBlueSol 2014.

Tessaro, A.R. - **Desempenho de um painel fotovoltaico acoplado a um rastreador solar**, 2010. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Energias Renováveis na UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

VÉRAS, P. C. **Estudo dos Benefícios e Proposta de um Modelo de Controle de um Rastreador Solar Ativo**. Monografia. Universidade de Pernambuco - Escola Politécnica de Pernambuco. Recife, PE, 2004.

VILLALVA, M.; GAZOLI, J. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Erica, 2012.

WENHAM, S. R. et al. **Applied photovoltaics**. 2 ed. Australia: Centre for Photovoltaic Engineering of UNSW, 2009.

ZANCO, V. S.. **Microcontroladores “Uma abordagem prática e objetiva”**. 2005.

APÊNDICE A – CÓDIGO DO PWM

```
//CODIGO PARA 8MHZ COM CLOCK
```

```
void MoverServo1(int termo)
```

```
{
```

```
switch (termo) {
```

```
case 0: // 0 graus
```

```
    PORTB.F0 = 1;
```

```
    Delay_us(500);
```

```
    PORTB.F0 = 0;
```

```
    Delay_us(19500);
```

```
    break;
```

```
case 1: // 0 graus
```

```
    PORTB.F0 = 1;
```

```
    Delay_us(520);
```

```
    PORTB.F0 = 0;
```

```
    Delay_us(19480);
```

```
    break;
```

```
case 2: // 0 graus
```

```
    PORTB.F0 = 1;
```

```
    Delay_us(580);
```

```
    PORTB.F0 = 0;
```

```
    Delay_us(19420);
```

```
    break;
```

```
case 3: // 0 graus
```

```
    PORTB.F0 = 1;
```

```
    Delay_us(640);
```

```
    PORTB.F0 = 0;
```

```
    Delay_us(19360);
```

```
    break;
case 4: // 0 graus
    PORTB.F0 = 1;
    Delay_us(700);
    PORTB.F0 = 0;
    Delay_us(19300);
    break;

case 5: // 0 graus
    PORTB.F0 = 1;
    Delay_us(760);
    PORTB.F0 = 0;
    Delay_us(19240);
    break;

case 6: // 0 graus
    PORTB.F0 = 1;
    Delay_us(820);
    PORTB.F0 = 0;
    Delay_us(19180);
    break;

case 7: // 0 graus
    PORTB.F0 = 1;
    Delay_us(880);
    PORTB.F0 = 0;
    Delay_us(19120);
    break;

case 8: // 0 graus
    PORTB.F0 = 1;
    Delay_us(940);
    PORTB.F0 = 0;
    Delay_us(19060);
```



```
break;
```

```
case 9: // 0 graus  
PORTB.F0 = 1;  
Delay_us(1000);  
PORTB.F0 = 0;  
Delay_us(19000);  
break;
```

```
case 10: // 8 graus  
PORTB.F0 = 1;  
Delay_us(1044);  
PORTB.F0 = 0;  
Delay_us(18956);  
break;
```

```
case 11: // 16 graus  
PORTB.F0 = 1;  
Delay_us(1090);  
PORTB.F0 = 0;  
Delay_us(18910);  
break;
```

```
case 12: //24 graus  
PORTB.F0 = 1;  
Delay_us(1134);  
PORTB.F0 = 0;  
Delay_us(18866);  
break;
```

```
case 13: //32graus  
PORTB.F0 = 1;  
Delay_us(1178);  
PORTB.F0 = 0;  
Delay_us(18822);  
break;
```

case 14: //40 graus

```
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(1222);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(18778);
break;
```

case 15: //48 graus

```
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(1266);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(18734);
break;
```

case 16: // 56 graus

```
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(1310);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(18690);
break;
```

case 17: // 64 graus

```
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(1354);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(18646);
break;
```

case 18: // 72 graus

```
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(1398);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(18602);
```

```
break;
case 19:      //80gradus
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(1442);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(18558);
break;
```

```
break;
case 20:      //88gradus
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(1486);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(18514);
break;
```

```
break;
case 21: // 96 gradus
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(1530);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(18470);
break;
```

```
case 22: // 104 gradus
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(1574);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(18426);
break;
```

```
case 23: // 112gradus
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(1618);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(18382);
```

```
break;
case 24: // 120 graus
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(1662);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(18338);
break;

case 25: // 128 graus
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(1706);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(18294);
break;
case 26: // 136 graus
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(1750);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(18250);
break;
case 27: // 144 graus
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(1794);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(18206);
break;
case 28: // 152 graus
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(1838);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(18162);
break;
case 29: // 160 graus
PORTB.F0 = 1;
```

```
Delay_us(1882);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(18118);
break;
case 30: // 168 graus
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(1926);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(18074);
break;
case 31: // 176graus
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(1970);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(18030);
break;

case 32: // 184graus
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(2030);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(17970);
break;

case 33: // 192graus
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(2090);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(17910);
break;

case 34: // 200 graus
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(2140);
```

```
PORTB.F0 = 0;  
Delay_us(17860);  
break;
```

```
case 35: // 208graus
```

```
PORTB.F0 = 1;  
Delay_us(2200);  
PORTB.F0 = 0;  
Delay_us(17800);  
break;
```

```
case 36: // 216 graus
```

```
PORTB.F0 = 1;  
Delay_us(2260);  
PORTB.F0 = 0;  
Delay_us(17740);  
break;
```

```
case 37: // 224graus
```

```
PORTB.F0 = 1;  
Delay_us(2320);  
PORTB.F0 = 0;  
Delay_us(17680);  
break;
```

```
case 38: // 232graus
```

```
PORTB.F0 = 1;  
Delay_us(2380);  
PORTB.F0 = 0;  
Delay_us(17620);  
break;
```

```
case 39: // 240 graus
```

```
PORTB.F0 = 1;  
Delay_us(2440);  
PORTB.F0 = 0;
```

```
Delay_us(17560);
break;
case 40: // 248graus
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(2500);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(17500);
break;
case 41: // 256graus
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(2560);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(17440);
break;
case 42: // 264graus
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(2600);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(17400);
break;
case 43:
PORTB.F0 = 1;
Delay_us(2800);
PORTB.F0 = 0;
Delay_us(17200);
}
```

APÊNDICE B – RASTREAMENTO UM EIXO

```
void twoldrs() {

    valorAD0 = ADC_Get_Sample(0);
    valorAD1 = ADC_Get_Sample(1);
```

```
if ( valorAD0 - valorAD1 >= 10) {
    k++;
    MoverServo1(k);
    delay_ms(100);

}

else if (valorAD1 - valorAD0 >=10) {
    k--;
    MoverServo1(k);
    delay_ms(100);

}

else {
    MoverServo1(k);
}

    if( k<0 ) {
    k=0;
    }
    if( k>43) {
    k=43 ;
    }

//referencia1= valorAD1 + valorAD1*0.1;
//referencia2= valorAD1 - valorAD1*0.1;

    WordToStr(valorAD0,txt);           // 65536 máximo
    Lcd_Out(1,4,txt);

    WordToStr(valorAD1,txt2);          // 65536 máximo
    Lcd_Out(2,4,txt2);
```



```
}
```

APÊNDICE C – RASTREAMENTO DOIS EIXO

```
void fourldrs() {
```

```
    valorAD0 = ADC_Get_Sample(0);
```

```
    valorAD1 = ADC_Get_Sample(1);
```

```
    valorAD2 = ADC_Get_Sample(2);
```

```
    valorAD3 = ADC_Get_Sample(3);
```

```
    //referencia1= valorAD1 + valorAD1*0.1;
```

```
    //referencia2= valorAD1 - valorAD1*0.1;
```

```
    WordToStr(avgtop,txt);           // 65536 máximo
    Lcd_Out(1,1,txt);
```

```
    WordToStr(avgbot,txt1);         // 65536 máximo
    Lcd_Out(1,6,txt1);
```

```
    WordToStr(avgleft,txt2);        // 65536 máximo
    Lcd_Out(2,1,txt2);
```

```
    WordToStr(avgright,txt3);       // 65536 máximo
    Lcd_Out(2,6,txt3);
```

```
    if ( valorAD0 - valorAD1 >= 10) {
```

```
        k++;
```

```
        MoverServo1(k);
```

```
        delay_ms(100);
```

```
    }

else if (valorAD1 - valorAD0 >=10) {
    k--;
    MoverServo1(k);
    delay_ms(100);

    }

    if( k<0 ) {
k=0;
    }
if( k>43) {
k=43 ;
}

    if ( valorAD2 - valorAD3 >= 18) {
j++;
MoverServo2(j);
delay_ms(100);

    }

else if (valorAD1 - valorAD0 >=18) {
    j--;
MoverServo2(j);
delay_ms(100);

    }

    if( j<0 ) {
j=0;
    }
if( j>43) {
```

```

    j=43 ;
  }
}

```

APÊNDICE D – CÓDIGO LCD

```

//PROGRAMACAO LCD
sbit LCD_RS at RD2_bit;
sbit LCD_EN at RD3_bit;
sbit LCD_D4 at RD4_bit;
sbit LCD_D5 at RD5_bit;
sbit LCD_D6 at RD6_bit;
sbit LCD_D7 at RD7_bit;

sbit LCD_RS_Direction at TRISD2_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISD3_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISD4_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISD5_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISD6_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISD7_bit;

CMCON = 0X07;    // Disable comparators
  Lcd_Init();
  Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);
  Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
ADCON0 = 0b00000001;

TRISB.RB0=0;
  TRISB.RB1=0;
  PORTB.RB0=0;
  ADC_Init();

```

APÊNDICE E – CIRCUITO PROJETADO NO SOFTWARE *PROTEUS*

