



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

WESLEY CASSIO SOARES CANDEIRA

ESTUDO E CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPO DE UM SEGUIDOR SOLAR
ACOPLADO A UMA PLACA FOTOVOLTAICA

São Luís

2017

WESLEY CASSIO SOARES CANDEIRA

**ESTUDO E CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPO DE UM SEGUIDOR SOLAR
ACOPLADO A UMA PLACA FOTOVOLTAICA**

Monografia de graduação apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Mecânica.

**Orientador: Prof. MSc. Simone Cristina Ferreira
Neves**

São Luís

2017

Candeira, Wesley Cássio Soares.

Estudo e construção de protótipo de um seguidor solar acoplado a uma placa fotovoltaica / Wesley Cássio Soares Candeira. – São Luís, 2017.

64 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2017.

Orientador: Profa. Me. Simone Cristina Ferreira Neves.

1. Sistema fotovoltaico. 2. Eficiência energética. 3. Seguidor solar. 4. Arduino. I. Título.

CDU 620.91:004.42

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Estudo e Construção de Protótipo de um Seguidor Solar Acoplado a uma Placa Fotovoltaica

Autor: Wesley Cássio Soares Candeira

Orientador: Simone Cristina Ferreira Neves

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Monografia:

Prof. MSc. Simone Cristina Ferreira Neves, Presidente
UEMA

Prof. Dr. Lucio Flavio de Albuquerque Campos
UEMA

Prof. Dr. Adilto Pereira Andrade Cunha
UEMA

São Luís/MA, 07 de dezembro de 2017

Dedico a Deus, aos meus pais Werbert Candeira (*in memoriam*) e Rita de Cássia pois sempre me deram a base dos meus valores e todo o suporte necessário para a minha formação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado o dom da vida e por nunca ter me desamparado. Sem Deus, eu nada seria.

A professora Simone Neves, minha orientadora, que me ajudou neste projeto, dedicando o seu total esforço. E aos demais professores do DEMAEP da UEMA pela orientação e ensinamento durante a minha vida acadêmica.

Ao meu pai Werbert Santos Candeira (*in memoriam*) e minha mãe Rita de Cassia Soares Candeira por todo o apoio, esforço, compreensão, repreensão, segurança, amor e carinho que me fora dado. Pelos puxões de orelha que eles me deram e por me ensinarem o caminho certo. A minha irmã Ana Vitória por sempre me ajudar.

A minha noiva Mileide Viana pelo seu amor, carinho, companheirismo, compreensão e por nunca desistir de mim.

Agradeço a todos os meus familiares, em especial as minhas tias Vitória, Kaká e Maria, pelo grande apoio e incentivo durante toda a minha jornada.

Agradeço aos meus amigos da minha turma da UEMA, que me acompanharam durante esses 5 (cinco) anos de curso, por todas as horas de estudos e pelas grandes amizades criadas durante esse tempo.

Aos amigos Erykson, Lucas, Wanderson, Diego, Rhillame e André que me acompanharam durante toda a minha graduação, por tudo que compartilhamos, alegrias, tristezas, diversões, trabalhos, conquistas, derrotas e todos os aprendizados.

E a todos os que me apoiaram de forma direta ou indiretamente.

“Não temas, porque eu sou contigo; não te assombres, porque eu sou teu Deus; eu te fortaleço, e te ajudo e te sustento com a destra da minha justiça”.

Bíblia Sagrada

RESUMO

Com o rápido crescimento da população mundial observado nas últimas décadas, a demanda por energia elétrica tornou-se crescente, ocorrendo à necessidade de uma maior produção desta energia e existe uma grande preocupação para que a expansão de energia fosse feita através de fontes de energia limpa. Dentre as fontes de energia, a energia solar ou energia fotovoltaica se sobressaiu como fonte de energia limpa e renovável, mas seu uso não é tão difundido devido ao elevado preço dos painéis e a baixa eficiência do sistema. Na tentativa de melhorar a sua eficiência e torna o uso da energia fotovoltaica mais atrativa, rastreadores solares tem sido bastante utilizado. Este presente trabalho dispõe-se a fazer um estudo de um seguidor solar acoplado a ele uma placa fotovoltaica, cujo o objetivo é aumentar a eficiência de absorção de energia solar e estudo dos dados captados da placa fotovoltaica e compará-lo a um sistema fotovoltaico estático. Trabalhou-se com um conjunto de dispositivos eletrônicos (Arduino) na composição do seguidor e para realizar a captação dos dados de tensão e corrente.

Palavras-chave: Sistema Fotovoltaico, Eficiência Energética, Seguidor Solar, Arduino.

ABSTRACT

With the fast growth of the world population observed in the last decades, the demand for electrical energy has become increasing, occurring to the necessity of a greater production of this energy and there is a great concern for the expansion of energy was done through sources of clean energy. Among the energy sources, solar energy or photovoltaic energy stood out as a source of clean and renewable energy, but its use is not so widespread due to the high price of panels and the low efficiency of the system. In an attempt to improve its efficiency and makes the use of photovoltaic energy more attractive, solar trackers have been widely used. This work is designed to make a study and analysis of a solar tracker coupled to it a photovoltaic plate whose objective is to increase the efficiency of absorption of solar energy and study the data captured from the photovoltaic plate and compare it to a system photovoltaic. We worked with a set of electronic devices (Arduino) in the follower's composition and to perform the data acquisition of voltage and current.

Keywords: Photovoltaic System, Energy Efficiency, Solar Tracker, Arduino.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Irradiação Solar no Brasil	15
Figura 2: Irradiação média global no Brasil e na Europa.....	20
Figura 3: Relação entre o Sol e os movimentos da Terra.....	21
Figura 4: Trajetórias diurnas do Sol para um observador no hemisfério sul, em diferentes períodos do ano.....	22
Figura 5: Painel Solar de Silício Monocristalino.....	23
Figura 6: Painel Solar de Silício Policristalino.....	24
Figura 7: Painel Solar de Silício Amorfo	25
Figura 8: Corte Transversal de uma Célula Fotovoltaica	26
Figura 9: Materiais que compõem um painel fotovoltaico.....	27
Figura 10: Curva característica I x V mostrando a corrente Isc e a tensão Voc.....	28
Figura 11: Curva típica de Potência X Tensão	28
Figura 12: Potência máxima em um gráfico I x V	29
Figura 13: Curva característica (I x V) para diferentes tipos de radiação	30
Figura 14: Curva característica (I x V) para diferentes tipos de radiação e temperatura	30
Figura 15: Materiais utilizados no projeto representado por um diagrama.....	33
Figura 16: Painel Solar utilizado no Projeto.....	34
Figura 17: Arduino Uno	36
Figura 18: LDR: esquema, símbolo e características	38
Figura 19: Servo Motor MG995	40
Figura 20: Divisor de tensão para medição de corrente e tensão	41
Figura 21: Instalação do Sistema Estático.....	42
Figura 22: Circuito e ligações para a obtenção da tensão e corrente da Placa Solar.....	43
Figura 23: Base de madeira do sistema com o seguidor solar.....	44
Figura 24: Instalação e posicionamento dos servos motores	44
Figura 25: Posições dos LDR'S	45
Figura 26: Fixação do painel solar e servo motor	46
Figura 27: Circuito do seguidor solar.....	46
Figura 28: Esquema da análise de dados realizada pelo Arduino	47
Figura 29: Seguidor solar com a placa fotovoltaica	48

Figura 30: Comportamento da Energia Gerada no Sistema Estático	49
Figura 31: Comportamento da Energia Gerada no Sistema com o Seguidor Solar	50
Figura 32: Comparativo entre as energias geradas pelo Sistema Estático e o Seguidor Solar .	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros da Placa ST-M10 em condição padrão (25 °C, 1000W/m ²).....	34
Tabela 2: Características Mecânicas do painel solar ST-M10	35
Tabela 3: Características Mecânicas do painel solar ST-M10	35
Tabela 4: Desempenho do sistema estático e com rastreador	51

LISTA DE SÍMBOLOS

G - Irradiação Solar

GND - Filtro graduado de densidade neutra

I - Corrente

$I_{m\acute{a}x}$ - Corrente de Potência Máxima

I_{sc} - Corrente de Circuito Aberto

LDR - Resistor Dependente de Luz

P_m - Potência Máxima

PWM - Pulse Width Modulation

R - Resistência

V - Tensão

$V_{m\acute{a}x}$ - Voltagem de Potência Máxima

V_{oc} - Voltagem de Circuito Aberto

V_{in} – Voltagem de Entrada

V_{out} – Voltagem de entrada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos.....	17
1.1.1	Objetivo Geral	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
1.2	Justificativa	18
2	referencial teórico.....	19
2.1	Energia solar	19
2.2	Movimento da terra.....	20
2.2.1	Declinação solar	21
2.3	Energia solar fotovoltaica	22
2.3.2	Células fotovoltaicas	23
2.3.3	Princípio de funcionamento.....	25
2.3.4	Características elétricas dos módulos fotovoltaicos.....	27
2.3.4.2	Temperatura na placa	30
2.3.5	Vantagens e desvantagens da energia solar fotovoltaica.....	31
2.3.5.1.	Vantagens	31
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1	Materiais.....	33
3.1.2	Painel Solar.....	33
3.1.2	Arduino.....	36
3.1.3	LDR	37
3.1.4	Servo Motor.....	39
3.1.5	Aquisição de dados da corrente e tensão.....	40
3.2	Montagem.....	42
3.2.1	Painel Fotovoltaico Estático	42
4	Resultados e Discursões	49

4.1	Resultados do Sistema Estático	49
4.2	Resultado do sistema com Rastreador Solar	50
4.3	Comparativo entre sistema estático e com o rastreador	50
5	CONCLUSÃO	54
5.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	55
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
	ANEXOS	60

1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios da demanda energética do futuro. A energia solar é umas das fontes alternativas que pode suprir, com grandes vantagens, as necessidades do mundo moderno, apesar de não ser uma solução total ou definitiva para o problema.

O Brasil é privilegiado em termos de incidência de radiação solar anual, devido a sua posição no globo, nas proximidades da Linha do Equador (Alvarenga, 2001). Sendo assim, o país tem um grande potencial energético solar. Porém, esse potencial ainda é pouco aproveitado, devido ao alto custo de placas solares, e a tecnologia ser pouco difundida no país. Mas, observa-se que nos últimos anos houve avanços em energia solar no país, entretanto, muito ainda precisa ser feito.

Segundo a Aneel (2014), o Brasil tem um potencial para a utilização de energia solar privilegiado em comparação a outros países da Europa, como ilustrado na Figura 1, onde as cores quentes destacam as regiões com maiores potenciais energéticos.



Figura 1: Irradiação Solar no Brasil

Fonte: SolarGis (2014)

A procura por novas formas de energia não poluentes e renováveis levou a descoberta do efeito fotovoltaico pelo físico experimental francês Edimund Becquerel em 1839 e posteriormente ao advento da tecnologia das células fotovoltaicas. A tecnologia atual possibilita apenas 15%, em média e máxima de 30% da conversão de fótons em energia elétrica (VALLÊRA, 2006).

A energia solar é uma das fontes de energia renovável que vem crescendo de forma acentuada ao decorrer dos. Este tipo de geração de eletricidade é uma das que se mostra mais sustentável, não realizando emissão de gases de efeito estufa ou de gases ácidos e não sendo necessária a formação de lagos para reservatórios, sendo o desmatamento somente realizado em grandes instalações, as quais, geralmente, são construídas em áreas desérticas ou semiáridas (ALVES, 2008).

Porém, esse potencial ainda é pouco aproveitado, possivelmente devido ao alto custo de produção das placas solares, a instalação dos equipamentos, a conversão de energia do equipamento não ser tão eficiente e a tecnologia ser pouco difundida no país. Mas, observa-se que nos últimos anos houve avanços em energia solar no país, entretanto, muito ainda precisa ser feito.

Sabe-se que hoje a robótica tem evoluído de forma bem peculiar, principalmente na indústria manipuladores robóticos são bem utilizados, em que eles são capazes de realizar funções com bastante precisão (COIFFET, 1982). As vantagens que os robôs trazem são amplas como a qualidade, produtividade, segurança, e flexibilidade, eficiência entre outras (MENDES, 2000). Um outro ponto forte do robô é o grau de precisão que possui, os robôs faltam-lhe a capacidade para responder em situações de emergência, a menos que a situação é prevista (NIKU, 2001). Com a montagem de um seguidor solar, sendo controlado com uma placa eletrônica, propõe-se fazer um mecanismo controlado para o acoplamento das placas e assim obter um máximo de captação solar, tornando o sistema mais eficiente.

Appleyard (2009) sugere que, para as células disponíveis atualmente, o uso de sistemas de rastreamento solar é a melhor forma de aumentar a conversão de energia, salvo em situações onde a área disponível é muito grande e a simples instalação de um maior número de painéis fixo apresenta melhor relação custo benefício.

Um ponto favorável ao uso de um sistema fotovoltaico com rastreador, é o estado da indústria de células fotovoltaicas de silício, que apresenta estagnação em seu

desenvolvimento, com o preço da produção de células mais eficientes cada vez mais elevado (Levitan, 2012). Dessa forma, busca-se outras maneiras de extrair o máximo de energia elétrica possível dos painéis mais baratos.

O projeto visa à construção de um dispositivo controlado capaz de direcionar uma placa fotovoltaica a fonte luminosa de maior intensidade no ambiente em que está situado, com o intuito de captar a maior quantidade de energia solar. Esse protótipo visa melhorar a eficiência gerada por um sistema fotovoltaico e compara-lo com um sistema convencional.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

➤ O objetivo deste trabalho é comprovar e analisar o aumento da eficiência energética de um painel fotovoltaico, utilizando um seguidor solar. Será projetado um seguidor solar, acoplado nele uma placa fotovoltaica, que se ajuste de forma automática para o ponto de maior incidência de luz solar, para gerar uma maior quantidade de energia, sendo comparado com o sistema estático.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Estudo do potencial solar e energético brasileiro;
- Desenvolver um sistema de rastreamento solar;
- Desenvolver sensores para coletar informações sobre a tensão e corrente proveniente da placa solar;
- Desenvolver um circuito microcontrolado que faça a análise e processe as informações vindas do sensor, e de acordo com os dados coletados, ative um sistema que movimente uma placa fotovoltaica de acordo com o movimento solar;
- Analisar os dados obtidos no sistema estático e no seguidor solar, para compará-los e fazer análises dos resultados.

1.2 Justificativa

Uma das principais causas da pouca utilização da energia fotovoltaica é a baixa eficiência para converter a energia solar em elétrica. Pensando nisso, é necessário o estudo de formas para aumentar a viabilização do uso da tecnologia fotovoltaica. Atualmente várias tecnologias estão sendo pesquisadas para aumentar a eficiência do uso do painel, melhorando os processos de fabricação e criando novos processos com os semicondutores.

Como normalmente as estruturas ficam fixas em telhados e coberturas de residências, é diminuída a sua eficiência, pois o sol não pega de forma perpendicular na placa. Com o projeto, queremos otimizar um sistema fotovoltaico, obtendo, sempre, máxima eficiência de uma placa fotovoltaica.

Com o aumento da eficiência dos painéis fotovoltaicos, eles poderão ser mais bem vistos e utilizados, tanto na indústria como em residências. Com o aumento do consumo de energia e o seu custo ficando mais caro a cada dia, aumentando a eficiência dos painéis solares, eles serão mais utilizados em nosso país, pois o Brasil possui um grandioso potencial para a exploração desse tipo de geração de energia.

O sistema de um seguidor solar foi escolhido por se tratar de um sistema, cujo principal motivo, é aumentar o rendimento e eficiência da produção de energia elétrica fotovoltaica a partir do Sol, incentivando o uso da energia solar, que é uma fonte de energia limpa e renovável.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energia solar

O Sol é a principal fonte de energia para a Terra, fornece anualmente, para a atmosfera terrestre, $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia (CRESESB, 2017). Trata-se de um valor considerável, correspondendo a 10000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, obtendo um enorme potencial para ser utilizada, por meio de sistema de captação e conversão, em forma de energia, como a energia elétrica.

A energia proveniente do Sol é gerada no núcleo solar predominantemente através das reações de fusão dos núcleos dos átomos de hidrogênio em átomos de hélio. Nestas reações, devido à conversão de matéria, uma quantidade gigantesca de energia é liberada. Apenas uma pequena parcela dessa energia chega à Terra devido à grande distância existente. Saber qual é a natureza deste recurso, bem como sua disponibilidade constitui o primeiro passo para o aproveitamento eficiente deste recurso que possui uma grande disponibilidade de maneira gratuita (ONUUDI, 2015).

O Brasil possui um ótimo índice de radiação solar, como veremos na figura 2. A irradiação média anual no Brasil varia entre 1.200 e 2.400 kWh/m²/ano, estes valores são significativamente superior à maioria dos países europeus que se destacam com grande utilização de sistemas fotovoltaicos, cujas estatísticas indicam intervalos entre 900 e 1.250 kWh/m²/ano na Alemanha, entre 900 e 1650 kWh/m²/ano) na França e 1.200 e 1.850 kWh/m²/ano na Espanha, por exemplo. (Nota Técnica DEA 19/14, 2014).

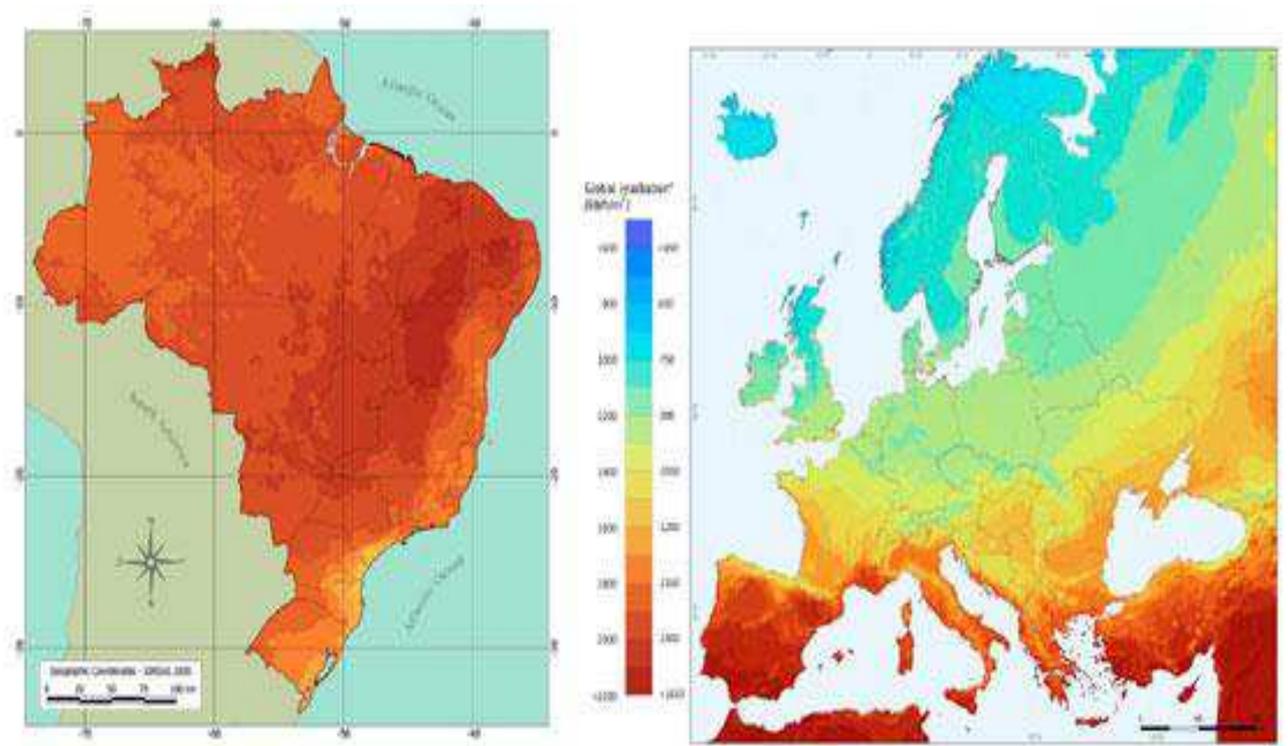


Figura 2: Irradiação média global no Brasil e na Europa.

Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006

Mesmo com o recente avanço das tecnologias e aprimoramento dos painéis solares, o potencial da energia solar ainda é pouco utilizado no Brasil. Segundo a ABSOLAR, a energia solar no Brasil tem um potencial de geração maior que a soma do potencial de todas as outras fontes de energia renováveis juntas. Segundo a instituição, o potencial hídrico brasileiro é de 280GW, o eólico de 300GW, enquanto que o potencial solar ultrapassa os 10 mil GW. (ABSOLAR, 2016).

2.2 Movimento da terra

Para tratarmos do uso de energia solar, é importante nós termos conhecimento a respeito do movimento de translação da terra (ao redor do Sol), para sempre obtermos o máximo possível de eficiência na captação da energia solar.

Diariamente a terra executa o movimento de rotação sobre o seu eixo (rotação) e faz um movimento de trajetória elíptica ao redor do Sol (Translação), com duração de um ano, como mostrado na figura 3. A junção destes dois movimentos, mais outros fatores, como as condições climáticas e latitude do local, faz com que haja uma variação na incidência dos raios

solares sobre a superfície da Terra ao decorrer dos dias, fazendo assim com que haja uma variação na quantidade de energia captada pelo sistema de uso da energia solar.

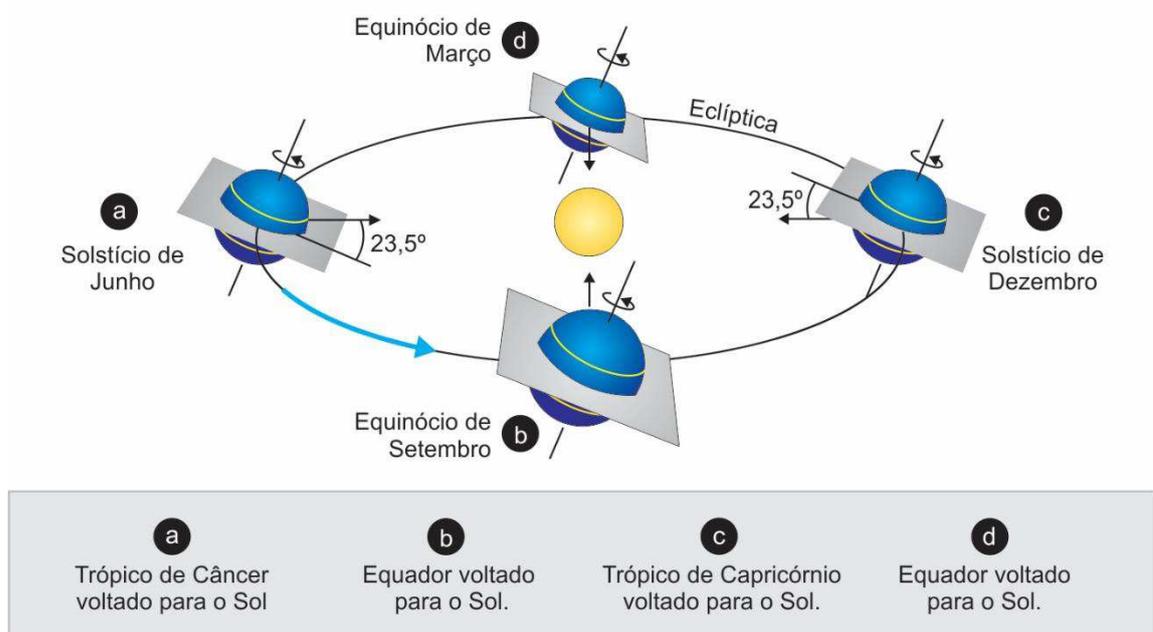


Figura 3: Relação entre o Sol e os movimentos da Terra

Fonte: (Saraiva, Filho e Muller, 2017)

2.2.1 Declinação solar

Com o objetivo de obter a maior eficiência e aproveitamento da radiação solar, devemos ajustar a inclinação do painel solar de acordo com a latitude local e o período do ano, de modo que o painel solar receba a maior quantidade possível de energia naquele momento. No Hemisfério Sul, por exemplo, deve-se orientar o sistema de captação solar para o Norte com um ângulo de inclinação similar ao da latitude local (ANEEL, 2002).

Devido à declinação solar e aos movimentos de rotação e translação, em trajetória elíptica, da Terra, a duração do dia, ou período de visibilidade do Sol durante cada dia, varia conforme região e período do ano, entre 0 hora e 24 horas. Essa variação é mais intensa nas regiões polares e nos períodos de solstício (21 de junho e 21 de dezembro) e menos intensa em regiões próximas à linha do equador e nos períodos de equinócio (23 de setembro e 21 de março) (ROCHA FILHO, 2013). A figura 4 nos mostra esta variação de visibilidade do Sol.

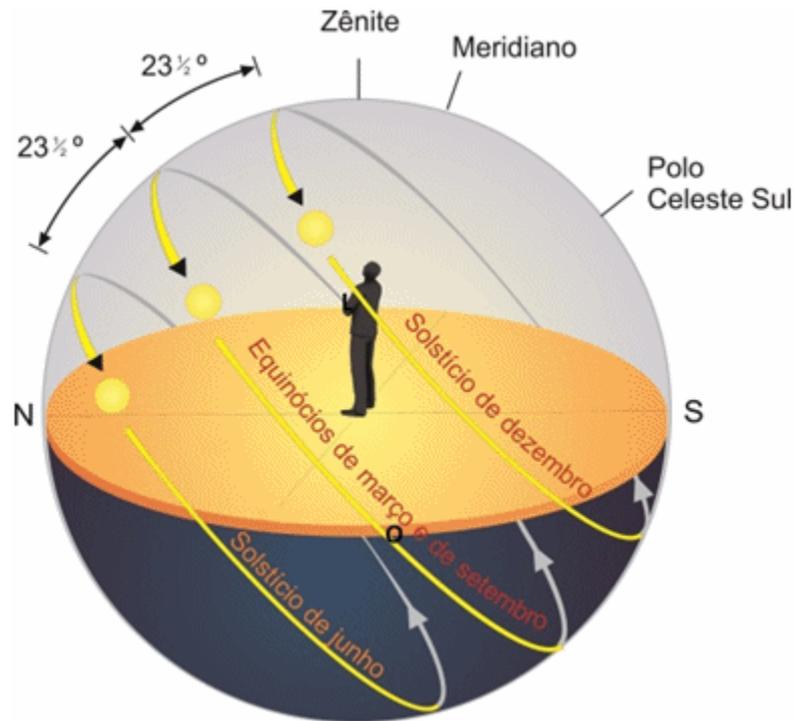


Figura 4: Trajetórias diurnas do Sol para um observador no hemisfério sul, em diferentes períodos do ano.

Fonte: (Saraiva, Filho e Muller, 2017)

2.3 Energia solar fotovoltaica

Basicamente, a Energia Solar Fotovoltaica é a energia obtida através do efeito fotovoltaico. O efeito fotovoltaico é a conversão direta da luz em eletricidade. O efeito fotovoltaico pode ser obtido em materiais semicondutores, cuja principal característica é apresentar duas bandas de energias, uma positiva a outra negativa.

2.3.1. Efeito fotovoltaico

O efeito fotovoltaico, foi inicialmente relatado por Edmond Becquerel, em 1839, é o surgimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz.

O sistema fotovoltaico utiliza células de material semicondutor e estas células tem alguns centímetros quadrados de área, a célula trabalha segundo o princípio de que os fótons incidentes, colidindo com os átomos de certos materiais, provocam um deslocamento dos elétrons, carregados negativamente, gerando corrente elétrica.

2.3.2 Células fotovoltaicas

As células fotovoltaicas podem ser fabricadas utilizando diversos tipos de semicondutores. Segundo Vêras (2004) o silício é utilizado em quase todos os casos, porém, em quase todos os casos, pois tem se mostrado o mais confiável e o mais barato para a maioria das aplicações de energia solar. O silício pode ser classificado de acordo com a sua estrutura molecular em monocristalino, policristalino ou silício amorfo.

➤ Silício Monocristalino

A tecnologia monocristalina é a mais antiga e também uma das mais caras, porém eles possuem a eficiência mais alta. Eles são feitos a partir de um único cristal de silício ultrapuro, (lingotes de silício de forma cilíndrica), este é fatiado como um "salame" fazendo assim lâminas de silício individuais, que são então tratadas e transformadas em células fotovoltaicas. Cada célula fotovoltaica circular tem seus "4 lados" cortados fora para otimizar o espaço disponível no painel solar monocristalino e aproveitar melhor a área do painel (Portal Solar, 2017).

Os painéis monocristalinos são os mais eficientes dentre as tecnologias utilizadas comercialmente hoje (entre 14% e 21%), mas devido ao seu grau de pureza e seu processo de fabricação, ele é uma tecnologia muito cara. A figura 5 nos mostra um exemplo de uma placa solar de Silício monocristalino.



Figura 5: Painel Solar de Silício Monocristalino

Fonte: Portal Solar (2017)

➤ Silício Policristalino

A principal diferença entre as tecnologias do monocristalino e do policristalino é o método utilizado na fundição dos cristais. No policristalino, os cristais de silício são fundidos em um bloco, desta forma preservando a formação de múltiplos cristais. Quando este bloco é cortado e fatiado, é possível observar esta formação múltipla de cristais. Uma vez fundido, eles são serrados em blocos quadrados e, em seguida, fatiados em células assim como no monocristalino, mas é um pouco mais fácil de produzir. Eles são semelhantes aos de um único cristal (monocristalino) tanto no desempenho como na degradação, exceto que as células são ligeiramente menos eficientes (PORTAL SOLAR, 2017).

O silício policristalino possui uma menor pureza em relação ao monocristalino, assim, ele possui uma eficiência energética (13% e 16,5%) inferior ao monocristalino, o tornando mais barato em relação ao monocristalino. A figura 6 nos mostra um exemplo de uma placa solar de Silício policristalino.



Figura 6: Painel Solar de Silício Policristalino

Fonte: Portal Solar (2017)

➤ Silício Amorfo

As células solares baseadas em silício amorfo, tradicionalmente, só tinham sido usadas para aplicações de pequena escala, pois a eficiência energética é baixa neste tipo de

tecnologia. No entanto, as inovações recentes permitiram que esta tecnologia seja utilizada também em aplicações de larga escala.

Com uma técnica de fabricação chamada de "empilhamento", várias camadas de células solares de silício amorfo podem ser combinadas, o que resultam em taxas mais elevadas de eficiência (6% a 9%). Apenas 1% do silício utilizado em células solares de silício cristalino é necessário nas células solares de silício amorfo (PORTAL SOLAR, 2017). A figura nos mostra um exemplo de uma placa solar de Silício Amorfo.

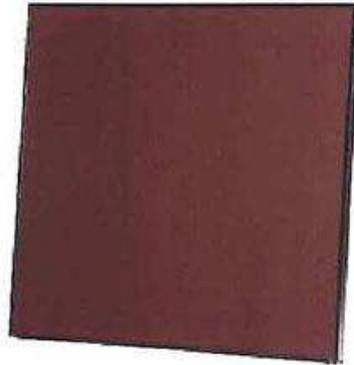


Figura 7: Painel Solar de Silício Amorfo

Fonte: Portal Solar (2017)

2.3.3 Princípio de funcionamento

Células fotovoltaicas são fabricadas com material de características intermédias entre um condutor e um isolante, ou seja, semicondutor. O silício apresenta-se normalmente como areia. Através de métodos adequados obtém-se o silício em forma pura. O cristal de silício puro não possui elétrons livres e, portanto, é mal condutor elétrico. Para alterar isto acrescentam-se porcentagens de outros elementos. Este processo denomina-se dopagem. A dopagem do silício com o fósforo obtém-se um material com elétrons livres ou materiais com portadores de carga negativa (silício tipo N). Realizando o mesmo processo, mas agora acrescentado Boro ao invés de Fósforo, obtém-se um material com características inversas, ou seja, falta de elétrons ou material com cargas positivas livres (silício tipo P) (NASCIMENTO, 2004).

Cada célula solar compõe-se de uma camada fina de silício tipo N e outra com maior espessura silício tipo P. Quando elas se unem, é formado um campo elétrico devido aos elétrons livres do silício tipo N ocupar as lacunas do silício tipo P. Devido ao campo elétrico gerado

pela junção P-N, ocorre o impedimento a recombinação das demais cargas. Para que ocorram mais deslocamentos entre elétrons e lacunas é necessário que energia seja cedida ao sistema, essa energia cedida através dos fótons vence a resistência do campo elétrico e dessa forma os elétrons são orientados e se movem da camada P para a camada N, gerando assim, corrente elétrica (Energia Solar Fotovoltaica, 2017). Quando a luz incide diretamente na célula fotovoltaica, ocorre o choque entre os fótons e os elétrons da estrutura do silício dando a eles energia e os transformando em condutores. (NASCIMENTO, 2004).

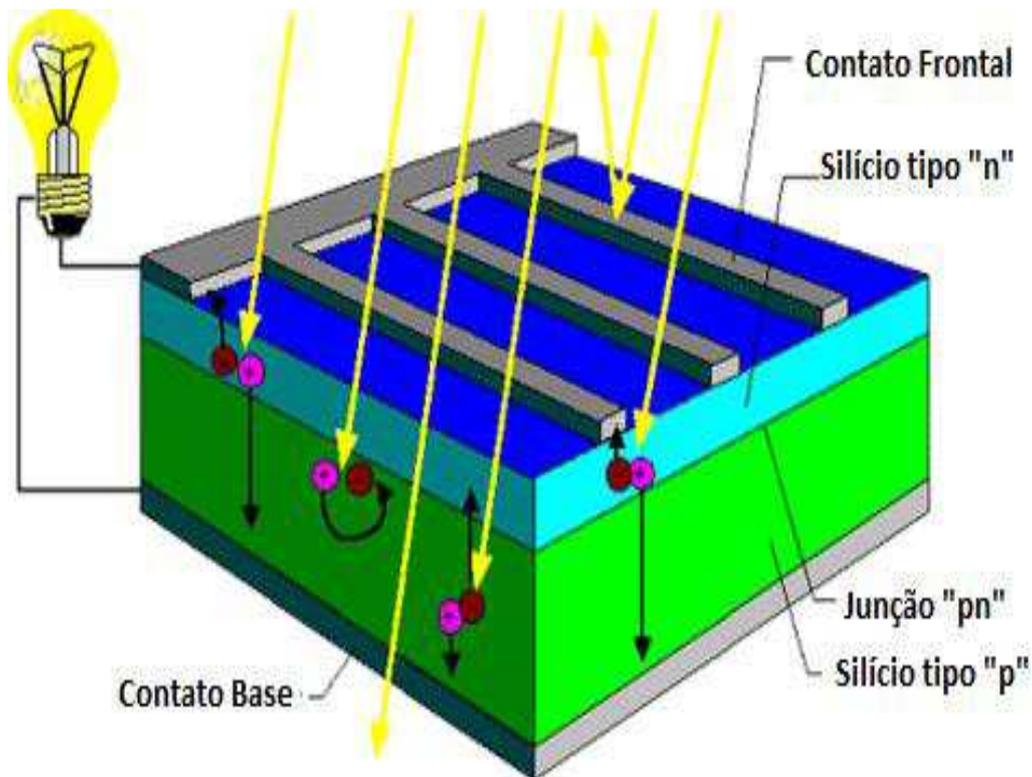


Figura 8: Corte Transversal de uma Célula Fotovoltaica

Fonte: <http://blog.bluesol.com.br/celula-fotovoltaica-guia-completo/> (Adaptado)

Os módulos fotovoltaicos são conjuntos de células fotovoltaicas montadas sobre uma estrutura rígida e conectadas eletricamente em série para que a tensão resultante seja elevada ao patamar desejado.

Os módulos são interconectados sobre suportes metálicos e inclinados seguindo o ângulo desejado em função do local de instalação do painel. Os painéis são vendidos com diodos de proteção para evitar uma corrente negativa e para limitar a tensão reversa a um valor

aceitável em situação de desequilíbrio. (KININGER, 2003). Na Figura 9 serão apresentados, de forma ilustrativa, as camadas e principais materiais que compõem um painel solar fotovoltaico do tipo Silício Cristalino.



Figura 9: Materiais que compõem um painel fotovoltaico

Fonte: Portal Ecotech (2017)

2.3.4 Características elétricas dos módulos fotovoltaicos

A potência dos módulos fotovoltaicos é dada pela potência de pico. Além deste parâmetro, existem outras características elétricas que melhor caracterizam a funcionalidade do módulo, que são a tensão de circuito aberto (V_{oc}), a corrente de curto circuito (I_{sc}), a potência máxima (P_m), a tensão de potência máxima ($V_{m\acute{a}x}$) e a corrente de potência máxima ($I_{m\acute{a}x}$).

A condição padrão para se obter as curvas características dos módulos é definida para radiação de $1000\text{W}/\text{m}^2$ (radiação recebida na superfície da Terra em dia claro, ao meio dia), e temperatura de 25°C na célula. (CRESESB, 2017). As figuras 10 e 11 nos mostram as curvas características de um painel fotovoltaico.

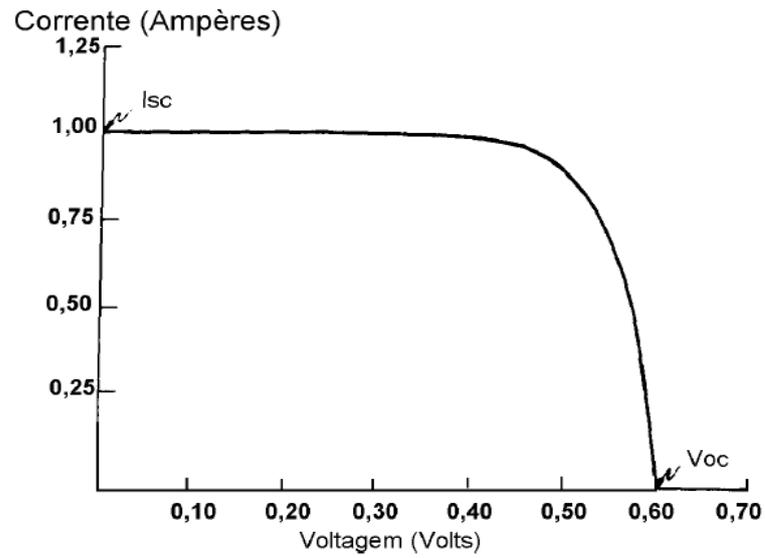


Figura 10: Curva característica I x V mostrando a corrente I_{sc} e a tensão V_{oc}

Fonte: CRESESB (2017)

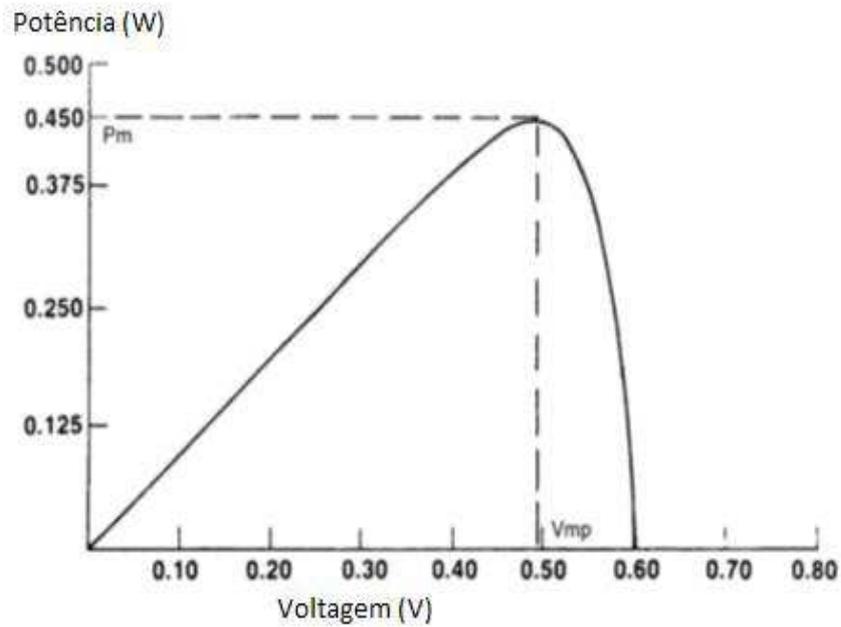


Figura 11: Curva típica de Potência X Tensão

Fonte: CRESESB (2017)

A tensão da placa fotovoltaica, que não é constante, depende da corrente fornecida. Caso seja conectado aos seus terminais um aparelho que demande muita corrente, a tensão de

saída do módulo tende a cair. Do mesmo modo um aparelho que demande pouca corrente fará a tensão do módulo se elevar (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

Para se obter o ponto máximo de potência do painel solar é necessário que a carga conectada ao arranjo seja tal que sua tensão e corrente fiquem mais próximo possível de $V_{m\acute{a}x}$ e $I_{m\acute{a}x}$. Para isso, um controlador de carga externa é comumente usado, sendo instalado entre o painel solar e um banco de baterias para armazenamento. (DE PAULA, 2015).

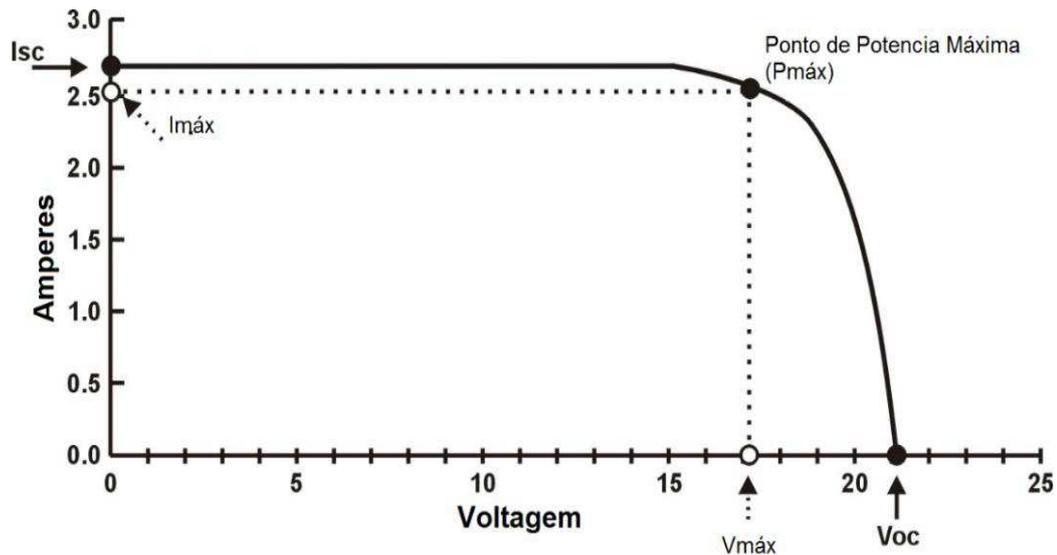


Figura 12: Potência máxima em um gráfico I x V

Fonte: CRESESB (2017)

2.3.5. Fatores importantes que influenciam nas características elétricas de um painel solar

2.3.5.1. Intensidade da radiação solar

A intensidade da radiação solar varia a cada instante em função da rotação da terra e sua translação ao redor do sol. Em relação ao nível do mar, ao meio dia e com o céu limpo a intensidade da radiação solar atinge um valor máximo de $1000\text{W}/\text{m}^2$. Portanto a corrente gerada pelo módulo será máxima na incidência de radiação máxima. Com menores intensidades de radiação solar, a corrente produzida diminuirá na mesma proporção. A redução na tensão de circuito aberto (V_{oc}), no entanto é pequena. A figura 13 irá mostrar a curva característica I x V de um módulo fotovoltaico para diferentes intensidades de radiação.

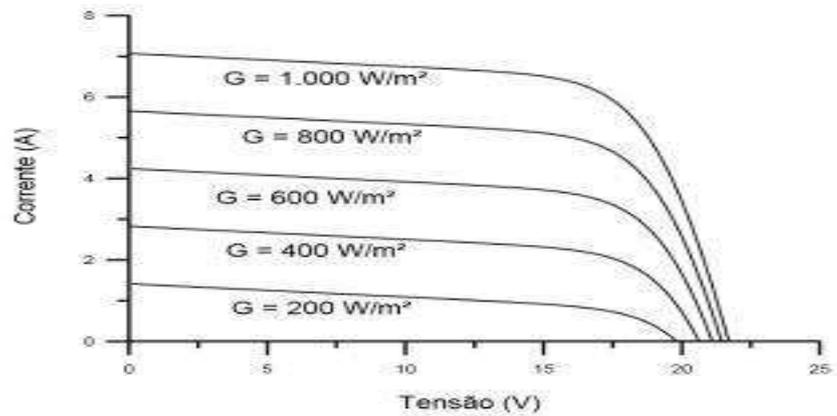


Figura 13: Curva característica (I x V) para diferentes tipos de radiação

Fonte: CRESESB (2017)

2.3.4.2 Temperatura na placa

Villalva e Gazoli (2012) explicam que a temperatura, quando acima dos limites especificados, influencia negativamente na tensão fornecida pela placa fotovoltaica. As células fotovoltaicas que compõem um módulo sofrem variações de temperatura em função do nível de radiação solar incidente e temperatura ambiente. Com o aumento da temperatura da célula, a corrente de curto-circuito I_{sc} aumenta enquanto a tensão de circuito aberto V_{oc} diminui, o que provoca consequentemente provoca uma alteração na potência entregue pelo módulo.

Veremos na figura 14 a variação de I_{sc} e V_{oc} com diferentes níveis de temperatura e radiação solar.

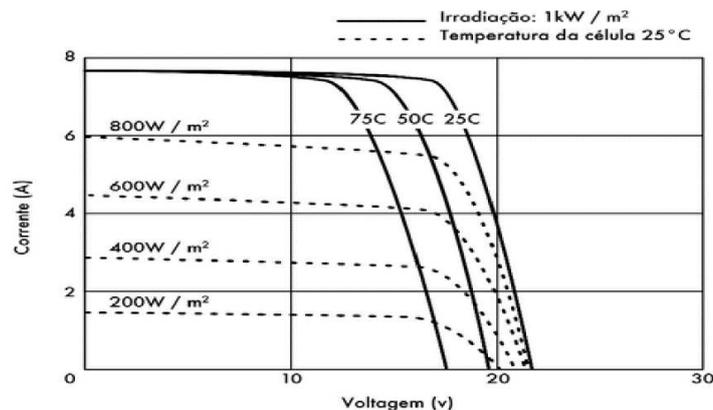


Figura 14: Curva característica (I x V) para diferentes tipos de radiação e temperatura

Fonte: CRESESB (2017)

2.3.5 Vantagens e desvantagens da energia solar fotovoltaica

2.3.5.1.Vantagens

São autossuficientes e renováveis: o único combustível a alimentar o sistema fotovoltaico é o Sol. Isso torna a tecnologia extremamente confiável, devido a abundância e a disponibilidade do Sol e grande parte do planeta. Essa característica faz com que haja uma vantagem competitiva quando comparamos o sistema fotovoltaico com outras fontes de energia, como as de carvão, gás e hidroelétrica. Podemos citar o exemplo do Brasil, que possui mais de 70% da sua matriz energética correspondente as hidroelétricas, ficamos dependentes de regimes de chuva que mantenham os reservatórios em bons níveis de operação e constante intervencionismo do governo no preço da energia. Ser o próprio produtor da sua energia, significa estar menos vulnerável as mudanças de preços e impostos adicionados pelo governo.

Baixo custo de manutenção: os painéis solares requerem pouquíssimos gastos com a manutenção.

Uso de uma rede elétrica proveniente de fontes de energia solar fotovoltaica pode ajudar a reduzir o desperdício de transmissão de energia que ocorre ao longo da linha elétrica, além de reduzir custo com as linhas de transmissão, para levar a energia para locais de pouco acesso, pois os painéis podem ser alocados próximos ou na própria residência de onde será levado a energia, resultando numa operação mais econômica que o empreendimento com redes elétricas.

Os painéis solares estão cada vez mais eficientes e o seu custo cada vez mais baixo, células de energia solar fotovoltaico experimentais têm mostrado eficiências de conversão de energia superiores a 40% nas células fotovoltaicas. A eficiência está a aumentar de acordo com a produção em massa.

O processo de geração de energia é mais simples e não há emissão de gases poluentes ou ruídos.

2.3.5.2.Desvantagens

Os painéis de energia solar fotovoltaico têm um custo de instalação elevado. Porém, com o avanço da tecnologia e dos meios de produção, os preços têm caído rapidamente e a eficiência dos componentes, aumentado. Além disso, já estão disponíveis no mercado opções de financiamento junto à bancos privados e consórcios.

As variações climáticas influenciam na quantidade de energia produzida (chuva, neve), além do que à noite, como não há produção nenhuma de energia é necessário que haja um sistema de armazenamento dessa energia. Locais em latitudes médias e altas apresentam quedas bruscas de produção nos meses de inverno devido à diminuição da incidência de energia solar.

A energia solar fotovoltaica necessita de grande densidade de insolação para trabalhar a um ritmo constante e produtivo.

Sua forma de armazenamento é pouco eficiente quando comparada com outras fontes (combustível fóssil, biomassa, etc.).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo iremos caracterizar a pesquisa realizada, de acordo com a metodologia adotada, local de instalação e medição dos dados e também será tratado os materiais utilizados e seu respectivo desenvolvimento.

3.1 Materiais

Neste item, serão mencionados todos os materiais necessários para a criação do projeto, a identificação e descrição deles e como eles serão utilizados no sistema. Na figura abaixo, podemos ver uma simplificação do sistema e das conexões dos materiais.

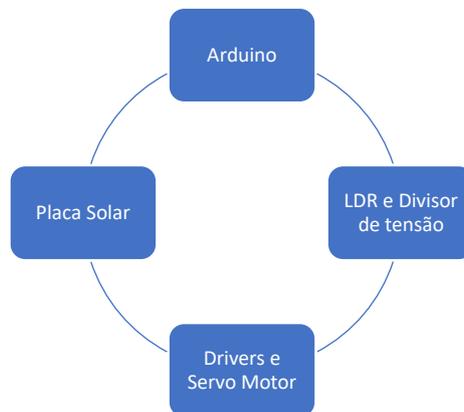


Figura 15: Materiais utilizados no projeto representado por um diagrama

Fonte: Autoria Própria

3.1.2 Painel Solar

O painel solar utilizado é o Painel Fotovoltaico de 10W do modelo ST-M10, produzido pela empresa Sun Home, construída com células de silício policristalino que possui eficiência energética de 9,9%, eficiência considerada baixa entre as células comerciais de alto desempenho, mas que atende todas as necessidades do projeto, principalmente pelo seu custo-desempenho. As características do módulo fotovoltaico comercial, tanto a parte elétrica como a mecânica, são descritas em folhas de dados pelo fabricante dos painéis.

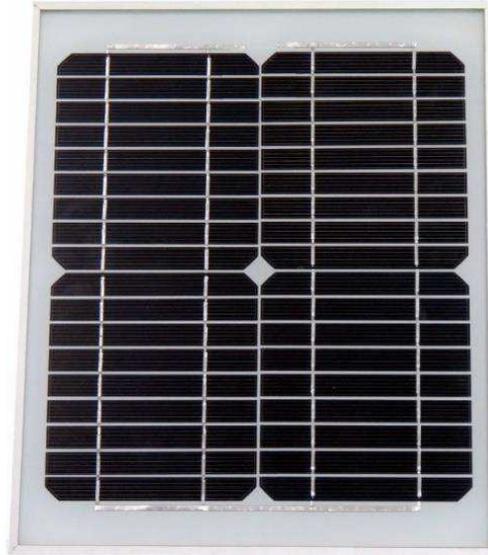


Figura 16: Painel Solar utilizado no Projeto

Fonte: Sun Home (2017)

Nas tabelas 1,2 e 3, veremos informações importantes sobre o painel utilizado, como potência, corrente, correntes de operação da placa. Estes dados foram retirados do manual do fabricante.

Tabela 1: Parâmetros da Placa ST-M10 em condição padrão (25 °C, 1000W/m²).

Características Eletrônicas		
Descrição	Unidade	Valor
Potência de Saída	W	10
Tensão na Potência Máxima	V	18
Corrente na Potência Máxima	A	0,556
Tensão no Circuito Aberto	V	21,6
Corrente de Curto Circuito	A	0,6
Tolerância da Potência de Saída	%	+/- 3%
Eficiência do Módulo	%	9,9

Fonte: Sun Home (2017)

Na tabela 2, veremos as características mecânicas do painel solar, tal como suas dimensões, peso, área. Todas as informações são fornecidas pelo fabricante.

Tabela 2: Características Mecânicas do painel solar ST-M10

Características Mecânicas		
Descrição	Unidade	Valor
Dimensões	mm	228x350x17
Área	m ²	0,1008
Peso	Kg	1,19
Células Solares	-	36 células em série (2 x 18)

Fonte: Sun Home (2017)

Como já comentado, o aumento da temperatura influencia de forma negativa nas características da placa fotovoltaica. Na tabela abaixo, podem ser observadas as características térmicas do painel solar, de modelo ST-M10.

Tabela 3: Características Mecânicas do painel solar ST-M10

Características Térmicas		
Descrição	Unidade	Valor
Temperatura nominal de operação da célula	°C	46 +/- 2
Coeficiente da temperatura de corrente A (Isc)	%/°C	0,03
Coeficiente da temperatura de voltagem B (Voc)	%/°C	-0,32
Coeficiente da temperatura de potência y (Pm)	%/°C	-0,42

Fonte: Sun Home (2017)

Analisando a tabela podemos destacar que nesse caso a cada grau Celsius de elevação acima da temperatura nominal máxima, 46(+/- 2), há uma perda de 0,42% da Potência e 0,32% da Voltagem de Circuito Aberto.

Como já mencionado, na seção 2.2.1, o melhor ângulo de inclinação para o sistema fotovoltaico fixo depende de onde ele está instalado e este ângulo é igual ao ângulo da Latitude deste local. A medição será realizada em São Luís – MA que possui Latitude de 2°, devido a pequena angulação do painel, usaremos o ângulo de 20°, pois com um ângulo menos que 20°, ocorre muita acumulação de poeira na placa solar, então essa deve ser a inclinação do painel solar estático, voltado para o Norte.

3.1.2 Arduino

O Arduino é um conjunto de ferramentas de prototipagem eletrônica open source que visa tornar mais fácil a criação de aparelhos eletrônicos. Além de oferecer uma placa controladora, ele possui também um ambiente de desenvolvimento, por isso é considerado uma plataforma e não simplesmente um hardware. Basta ligar a placa ao computador e já é possível escrever códigos para o Arduino no ambiente de desenvolvimento do software (através da linguagem C/C++). A placa básica do Arduino possui uma série de sensores, o que permite a integração com outros dispositivos e a interação com outros aparelhos. Ou seja, ele pode funcionar através da sua própria interface ou interagir com outros aplicativos instalados no computador. Isto permite que o desenvolvedor crie tanto gadgets simples como robustos. Além disso, é possível comprar a placa original ou optar por uma pré-montada, com os circuitos já interligados. (ARDUINO, 2017).

Foi utilizado o Arduino Uno, ele é uma placa de microcontrolador baseado no ATmega328 (datasheet). Ele tem 14 pinos de entrada/saída digital (dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM), 6 entradas analógicas, um cristal oscilador de 16MHz, uma conexão USB, uma entrada de alimentação uma conexão ICSP e um botão de reset. O Arduino Uno difere de todas as placas antecessoras no sentido de não utilizar o chip FTDI para conversão do sinal serial. Utiliza no seu lugar um Atmega8U2 programado como conversor de USB para serial. (Arduino, 2017). O Arduino utiliza-se de uma linguagem própria de programação, a linguagem Arduino, linguagem esta que é simples e de fácil entendimento.



Figura 17: Arduino Uno

Fonte: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno> (Adaptado)

O Arduino é um microcontrolador e sua estrutura física provê uma base para processamento e uma rotina de programação, o Arduino dispõe de portas digitais e analógicas que farão a interface com os demais dispositivos do projeto.

Para receber os dados realizados pelos sensores LDR's utilizaremos as portas analógicas, uma para cada circuito sensor LDR. E para receber e analisar os dados dos divisores de tensão, ele utiliza duas portas analógicas. Os dados são recebidos na forma de um numero de dez bits, essa informação é passada para o software, que será tratado na seção seguinte.

O Arduino também é o responsável pelo controle dos servos motores, o software envia a informação para o hardware, que controla os servos motores usando suas portas digitais do tipo PWM.

3.1.3 LDR

O LDR, Resistor Dependente da Luz, é um dispositivo semiconductor eletrônico que possui dois terminais e a característica de possuir certa resistência de acordo com a quantidade de luz incidente sobre ele de forma quase linear, além de ser um elemento não polarizado, fazendo com que a corrente possa circular em ambos os sentidos. Seu funcionamento é explicado pelo efeito fotoelétrico. Assumindo que elementos condutores possuem diferença energética entre a banda de valência e a banda de condução quase nula (sem oferecer obstáculos à passagem de corrente) e que materiais isolantes se comportam de maneira inversa (diferença energética muito grande); os semicondutores, por sua vez, têm a diferença de energia entre o valor dos condutores e dos isolantes e necessitam de alguma força externa, como a luminosidade e a temperatura, para conduzir corrente elétrica. Juntamente com a teoria em que a luz pode ser definida como pacotes de energia com determinados comprimentos de onda (energia transmitida a partir de fótons) e que um feixe luminoso está incidindo sobre uma superfície, os elétrons “presos” ao elemento tendem a interagir com os fótons, desde que estes atinjam um valor mínimo de frequência do material. Quando o LDR é exposto a um feixe luminoso, começa a dispor de elétrons livres, fazendo sua resistência diminuir; reduzindo o feixe luminoso, começa a faltar elétrons livres, aumentando a resistência do mesmo. (GHELLERE, 2009)

Um dos materiais que compõem o LDR é o sulfeto de cádmio(CdS) ou o sulfeto de chumbo (PbS). O processo de construção de um LDR consiste na conexão do material

fotossensível com os terminais, sendo que uma fina camada é simplesmente exposta à incidência luminosa externa (UFRJ, 2017).

O LDR (light dependant resistor) opera no princípio de um fotocondutor no qual a resistência do semiconductor diminui à medida que a exposição à luz aumenta. O semiconductor absorve a energia luminosa, fazendo com que elétrons livres se movam sobre as lacunas do silício, diminuindo a resistência do LDR (PRINSLOO E DOBSON, 2014).

Os LDR's são fabricados com materiais de alta resistência, como por exemplo o Sulfeto de Cádmio ou o Sulfeto de Chumbo. Esses materiais possuem poucos elétrons livres quando colocados em ambiente escuro, e liberam elétrons quando há incidência de luz sobre eles, aumentando sua condutividade (Bóson Treinamento e Tecnologia, 2017). Este efeito é chamado de Fotocondutividade.

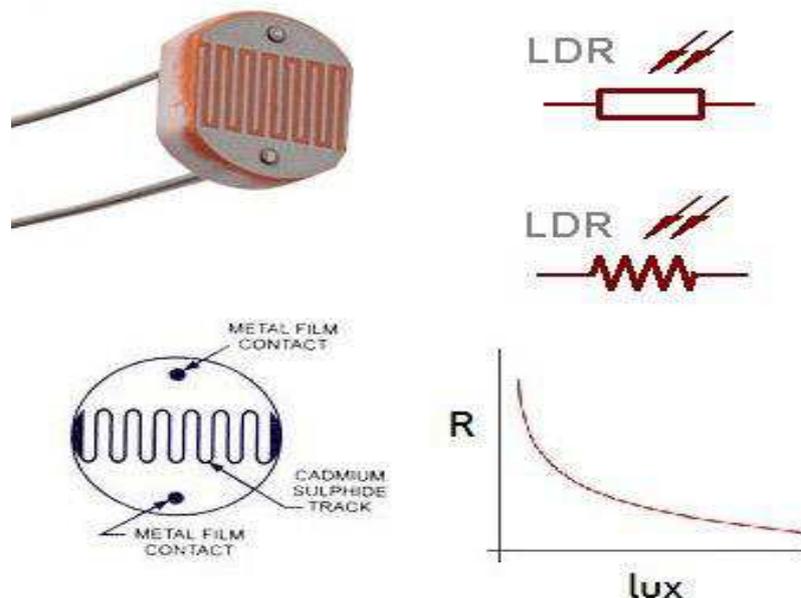


Figura 18: LDR: esquema, símbolo e características

Fonte: Bóson Treinamento e Tecnologia (2017)

No projeto, o LDR será responsável pelo sensoriamento da luminosidade. Pois a sua característica permite que índices de luminosidades sejam lidos e comparados. A comparação entre os valores dos LDR'S, é que permitirá identificar onde o ponto de maior luminosidade está localizado. Esses valores serão lidos e comparados pelo microcontrolador

(Arduino), e através da programação mandará comandos aos servos motores de forma a movimentar o seguidor para o ponto de maior incidência.

3.1.4 Servo Motor

O servo motor é uma máquina de movimento controlado. Ao contrário de outros motores que se movem livremente em giros, um motor deste tipo possui liberdade de aproximadamente 180°, mas sua precisão é muito melhor que a de um motor comum.

Em geral, um servo motor possui conexões de fornecimento de energia, saída para o terra (GND) e outra de envio de pulsos para o movimento ser realizado.

Os servos nada mais são do que motores comuns com controladores e encoder acoplados. Também podemos definir o servo motor como um atuador rotativo ou linear que garante o controle, velocidade e precisão em aplicações de controle de posição em malha fechada.

Para o projeto, será utilizado o servo motor TowerPro MG995, figura 19, ele é um servo motor de alto torque de 13kg/cm a 4.8V e 15kg/cm a 6V, sua rotação pode chegar a 180 graus, por essas características, ele é muito utilizado em projetos de robótica, por exemplo, para a movimentação dos membros de um robô, no aeromodelismo para o movimento das asas dos aeromodelos entre outras inúmeras aplicações. O Servo Motor TowerPro MG995 possui engrenagens metálicas de alta durabilidade e confiabilidade. Esse modelo pode ser utilizado com as principais plataformas microcontroladas do mercado, seja ela, pic, arduino, arm entre outros. (USINAINFO, 2017).



Figura 19: Servo Motor MG995

Fonte: UsinaInfo (2017)

Este servo motor atende perfeitamente as pretensões do projeto. Pois ele possui um alto torque e precisão nos seus movimentos. Os servos motores ficarão responsáveis pelo movimento da placa, eles terão comunicação com o Arduino, e executará a mudança de posição da placa fotovoltaica, de acordo com os comandos recebidos pelo microcontrolador, buscando, assim, a posição de maior incidência.

3.1.5 Aquisição de dados da corrente e tensão

Para a aquisição de dados da corrente e tensão gerada pela placa solar foi utilizado o Arduino. A obtenção dos dados da tensão gerada pelo sistema é feita através de um circuito de divisor de tensão, mostrado na figura X. O Arduino suporta tensão de até 5V nas suas portas analógicas e como o painel gera tensão superiores a esta, se torna necessário a utilização do divisor de tensão. Para que o Arduino seja capaz de fazer a leitura vinda da placa solar, o divisor de tensão diminuirá a tensão de saída (V_{out}) de modo que ela não passe de 5V. No divisor de tensão utilizou-se resistências de 100 k Ω e 10 k Ω (R_1 e R_2 ,, respectivamente).

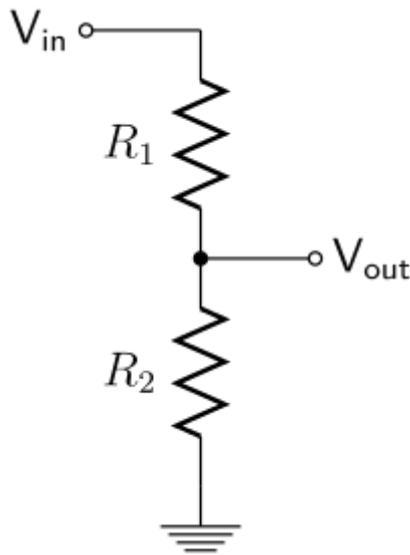


Figura 20: Divisor de tensão para medição de corrente e tensão

Fonte: Autoria Própria

O sinal de tensão (V_{out}) será lido pelo Arduino e calculado o valor da tensão pela Equação 1:

$$V_{out} = V_{in} * (R_1 + R_2)/R_2 \quad \text{Eq.1}$$

Substituindo os valores das resistências a equação 1, obtemos:

$$V_{out} = V_{in} * 11$$

Onde V_{out} , V_{in} , R_1 e R_2 são a voltagem da placa, voltagem lida no Arduino, resistência de 100 k Ω e resistência de 10 k Ω , respectivamente.

Para medição da corrente gerada pelo sistema foi utilizado um divisor de tensão no resistor de potência, sabendo a tensão entre o resistor podemos encontrar a corrente do circuito. O divisor de tensão utilizado tem as mesmas características do que foi mencionado neste item e a voltagem pode ser determinada pela Equação 2.

$$I_{circ} = V_{circ}/R_{pot} \quad \text{Eq.2}$$

Onde $I_{circuito}$, $V_{circuito}$ e R_{pot} são a corrente do circuito, voltagem do circuito e o valor do resistor de potência (40 Ohms).

3.1.6 Outros Materiais

- Protoboard para fazer as ligações entre os resistores, sensores e jumpers;
- Jumpers macho e fêmea para as conexões;
- Resistores para serem utilizados nos sensores (LDR e divisor de tensão).

3.2 Montagem

A montagem e instalação do Painel Fotovoltaico, tanto estático como o do seguidor solar, é um ponto muito importante do projeto, pois com uma ótima montagem que poderemos analisar de forma mais precisa o sistema.

3.2.1 Painel Fotovoltaico Estático

O painel solar foi montado sem nenhuma dificuldade, foi colocado sobre o telhado de uma residência, considerando uma angulação de 20°. Foram instalados sensores no sistema para monitoramento da corrente e tensão. Os resultados foram obtidos através do Arduino. A figura 21 mostra a forma que foi instalado o painel solar.



Figura 21: Instalação do Sistema Estático

Fonte: Autoria Própria

Para sensoriamento e obtenção de dados, *vide* ANEXO A, foi utilizado o seguinte circuito partindo do princípio do divisor de tensão, visto no item 3.1.5. a figura 22 mostra os esquemas de ligações do circuito.

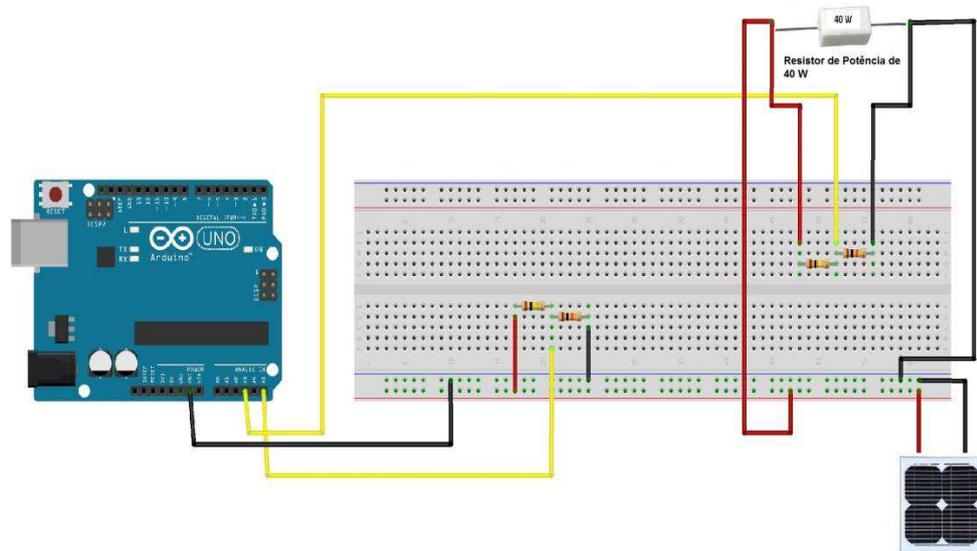


Figura 22: Circuito e ligações para a obtenção da tensão e corrente da Placa Solar

Fonte: Autoria Própria

3.2.2. Painel Solar Móvel

Construiu-se uma base de madeira com o objetivo de sustentar o painel solar, e nesta uma prateleira inferior que simultaneamente servirá para acomodar os dispositivos eletrônicos como o Arduino. Acima da base, foi feito um furo de aproximadamente 5 cm de raio, para as passagens dos fios do LDR e dos servos motores. Sobre a base, foi colocado a base onde ficara o painel solar, foi utilizado uma madeira leve, para não aumentar o peso do sistema. Na prateleira, que está na parte inferior da base, ficará acoplado um servo motor, cuja a função é o giro do painel fotovoltaico para a direita ou esquerda. Nas extremidades superiores da base, foi colocado duas hastes de madeira, onde foram fixados o outro servo motor e a placa solar. Para melhor execução do movimento de rotação da base, foi utilizado 4 bases plásticas abaixo da base da placa solar, diminuindo a força que o servo motor faz para girar a estrutura e também dando sustentação ao sistema. Na figura 23, podemos ver as bases da estrutura.



Figura 23: Base de madeira do sistema com o seguidor solar

Fonte: Autoria Própria

Como já foi dito anteriormente, no projeto foi utilizado dois servos motores um para a rotação de toda a base e outro para a rotação da placa solar com os LDR's. Ambos executam o movimento de rotação conforme os pulsos enviados via Arduino. Com estes dois servos motores conseguimos todo o movimento necessário para ajuste do suporte em direção a uma fonte de luz. A figura 24 mostra a colocação dos servos motores.

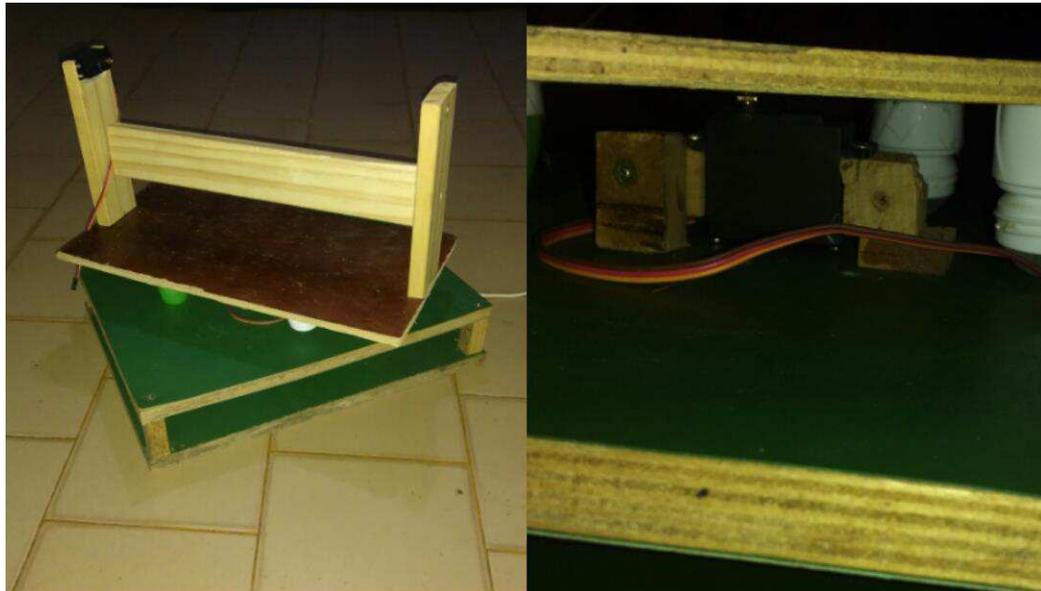


Figura 24: Instalação e posicionamento dos servos motores

Fonte: Autoria Própria

Os LDR's são separados por pequenas placas opacas de forma a causar diferenças na iluminação recebidas em cada LDR, sendo assim, o ponto de iluminação máxima será o ponto em que a placa estiver com um ângulo de 90° em relação aos raios solares, na figura 25 percebe-se a variação de luminosidade entre os LDR's, causado pelo sombreamento das placas.



Figura 25: Posições dos LDR'S

Fonte: Autoria Própria

Dessa forma, ficará mais evidente a diferença de luminosidade dos LDR's, ou seja, os valores recebidos pelo Arduino apresentaram maior diferença, sendo assim, o sistema de movimentação ficará mais preciso.

Cada par de LDR estará indiretamente ligado, através do Arduino, a um servo motor específico, por exemplo, o servo motor responsável pela rotação no eixo vertical, estará ligado aos dados recebidos pelos LDR's da esquerda e da direita, enquanto o servo motor que executa rotação no eixo horizontal estará ligado aos dados recebidos pelos LDR's de cima e baixo da placa. Os LDR's ficaram presos ao lado da placa fotovoltaica, para uma melhor orientação.

A placa foi fixada em uma das hastes da base e em um servo motor. Este servo motor será responsável de rotação (cima ou baixo) da placa solar. A figura 26 mostra como foi fixado e instalado o servo motor.



Figura 26: Fixação do painel solar e servo motor

Fonte: Autoria Própria

Para a obtenção dos dados todo o sistema deverá ser montado. Concluiu-se a montagem do circuito e para isso foi feito um planejamento. Para obtenção da corrente e da tensão deste sistema, foi utilizado o mesmo circuito do divisor de tensão do sistema estático. A especificação dos pinos no microcontrolador Arduino deve ser feitas de forma que o previsto na programação seja executado com êxito. Na figura 27, temos o detalhamento da montagem e ligações do circuito.

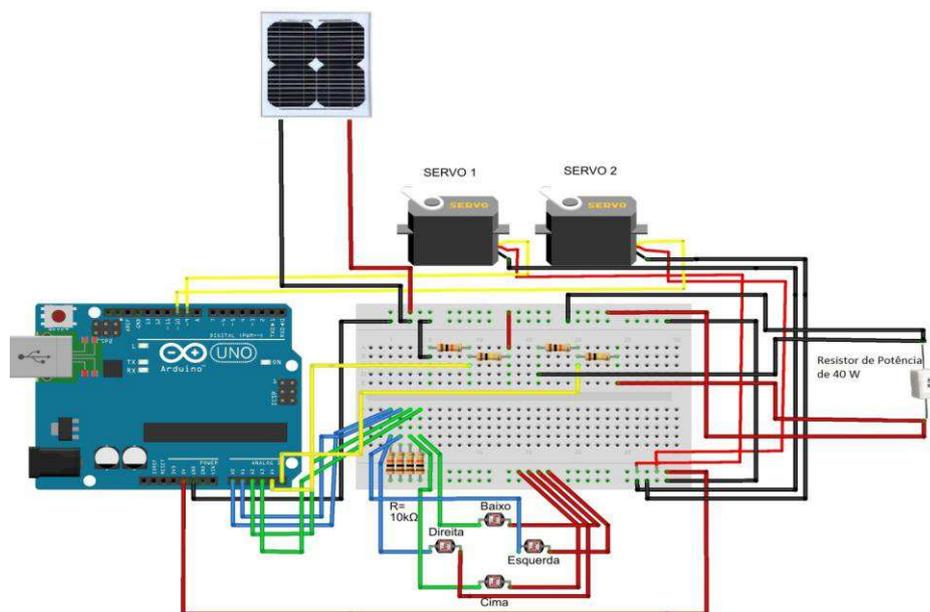


Figura 27: Circuito do seguidor solar

Fonte: Autoria Própria

Neste circuito, foram colocados os componentes e as ligações para que ele executasse tanto o rastreamento solar como a obtenção da corrente e tensão geradas pela placa solar.

A aquisição de dados é realizada através de linhas de comando na programação Arduino, ele será responsável pela coleta de dados e direcionar o posicionamento dos servos motores. A forma com que a programação, *vide* ANEXO II, a montagem do circuito (comandos e força), e a disposição dos sensores, assim como a interconexão entre eles são determinantes para o bom funcionamento do seguidor solar.

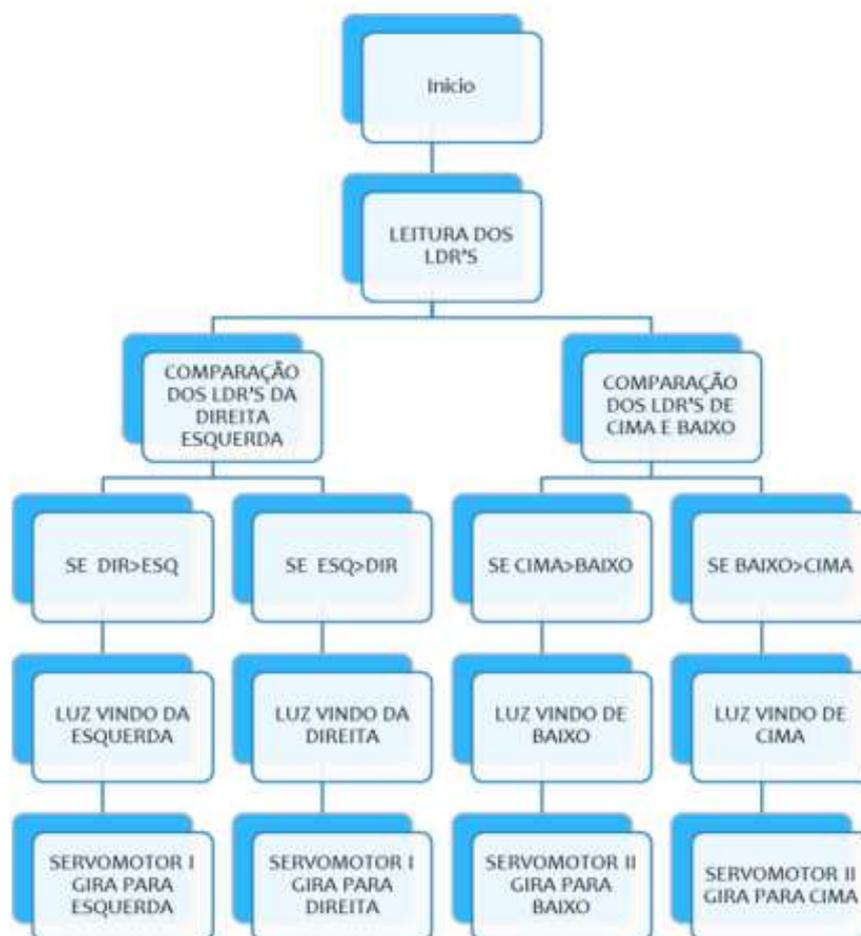


Figura 28: Esquema da análise de dados realizada pelo Arduino

Fonte: Autoria Própria

O primeiro ponto do programa é a leitura dos LDR's, após o recebimento de dados os valores lidos serão comparados, O LDR da direita com o da esquerda, e o LDR de cima com o de baixo. Através dessa comparação condicional será possível saber onde o ponto

de maior luminosidade está localizado, obtendo esse dado os servos motores serão acionados para direcionar a placa para a maior incidência luminosa. No fluxograma mostrado o servo motor I é responsável pela rotação no eixo vertical, enquanto o servo motor II é responsável pela rotação no eixo horizontal. Por exemplo, se o valor lido do LDR da direita for maior que o da esquerda, indica que a maior iluminação está à esquerda, logo o servo motor I será acionado para efetuar um giro neste sentido. Da mesma forma, se o valor lido no LDR de baixo for maior do que o de cima, indica que a maior iluminação está para cima, dessa forma o servo motor II será acionado para girar para cima. A figura 29 mostra a montagem final do seguidor solar com a placa fotovoltaica.



Figura 29: Seguidor solar com a placa fotovoltaica

Fonte: Autoria Própria

4 RESULTADOS E DISCURSÕES

Este capítulo irá analisar os resultados obtidos na coleta de dados dos dois sistemas utilizados (estático e móvel) e avalia o desempenho obtido pelo painel fotovoltaico em ambos. Para ambos os sistemas, foram realizados dois dias de coletas de dados, dia 13 e 14 de novembro de 2017 para o sistema estático e 18 e 20 de novembro de 2017 para o sistema com o rastreador solar. Para ambos os sistemas, o desempenho foi observado das 06:00 às 18:00, com intervalo de medição de 20 em 20 segundos.

4.1 Resultados do Sistema Estático

O resultado do sistema estático está apresentado na figura 30, foi realizado a coleta dos dados nos dias 13 e 14 de novembro de 2017, as condições meteorológicas destes dias estavam parcialmente ensolaradas. A energia média gerada ao longo dois dias de análise foi, aproximadamente, 37,2 Wh.

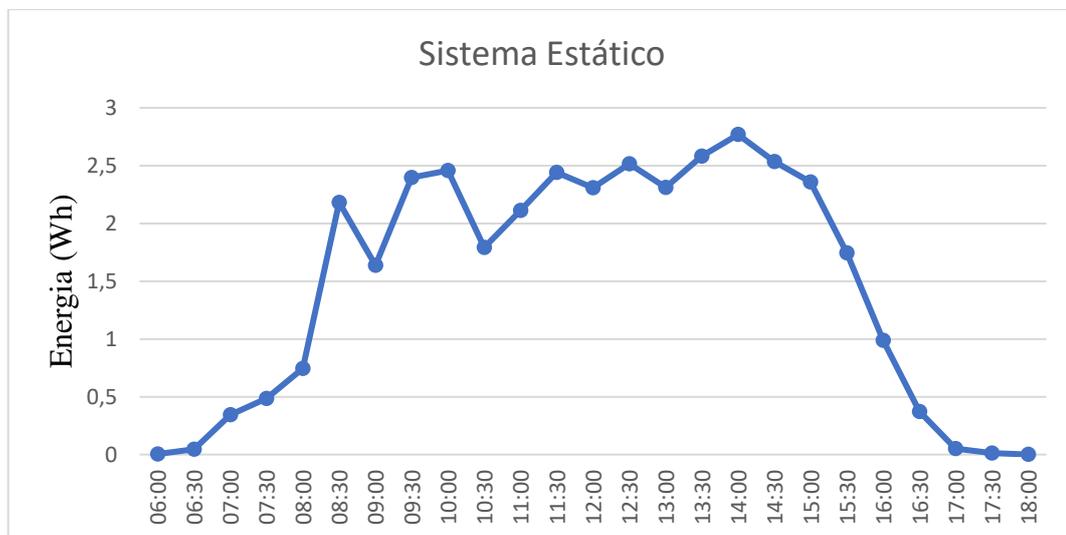


Figura 30: Comportamento da Energia Gerada no Sistema Estático

Fonte: Autoria Própria

Na figura 30, podemos observar o comportamento da energia gerada pelo sistema, podemos ver alguns pontos onde a energia cai de forma repentina. Este momento de perda no rendimento é ocasionado pelas condições climáticas do ambiente e nebulosidade do local, que mesmo em dias ensolarados, a presença de nuvens ainda se torna corriqueira.

4.2 Resultado do sistema com Rastreador Solar

O resultado do sistema estático está apresentado na figura 31, foi realizada a coleta dos dados nos dias 20 e 21 de novembro de 2017, as condições meteorológicas destes dias estavam parcialmente nubladas. A energia média gerada ao longo dois dias de análise foi, aproximadamente, 44,30 Wh.

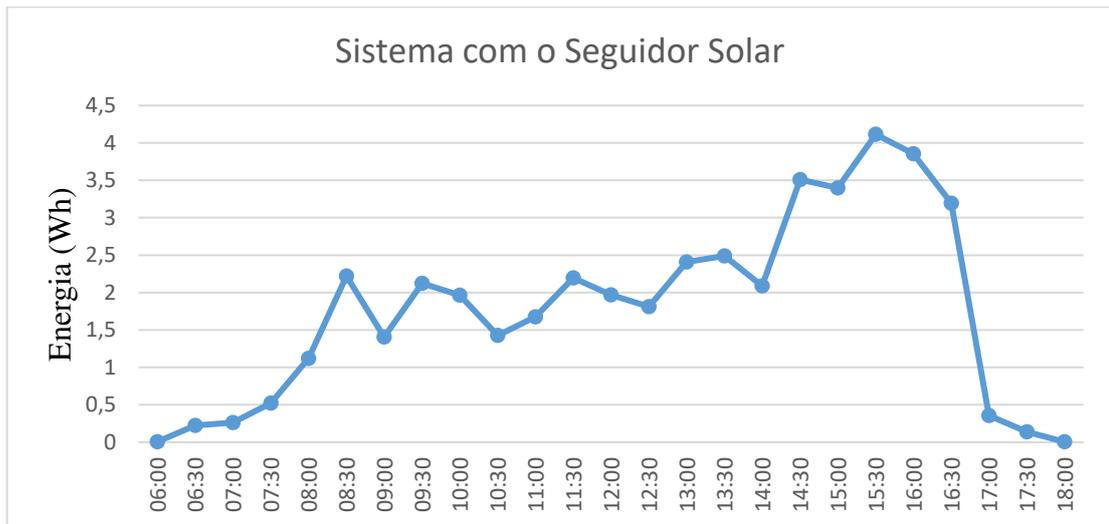


Figura 31: Comportamento da Energia Gerada no Sistema com o Seguidor Solar

Fonte: Autoria Própria

O comportamento das curvas das figuras 30 e 31 são parecidas, sendo o valor gerado pela energia, inicialmente, ligeiramente diferente. Podemos observar que em ambos os sistemas, ocorre diminuições repentinas da geração de energia, isso ocorre devido as nuvens e pelo fato dos dias da medição do Sistema com o Seguidor Solar forem realizadas em dias nublados.

Feito a análise dos resultados obtidos com o sistema estático com seguidor solar, podemos realizar algumas comparações entre os dois sistemas.

4.3 Comparativo entre sistema estático e com o rastreador

O desempenho dos dois sistemas está mostrado na Tabela 4, onde será possível ver o ganho energético (Wh) obtido pelo sistema.

Tabela 4: Desempenho do sistema estático e com rastreador

Horário	Estático (Wh)	Seguidor Solar (Wh)	Ganho(Wh)
06:00	0	0	0,00
07:00	0,05	0,308	0,26
08:00	0,83	0,52	-0,31
09:00	2,93	3,34	0,41
10:00	4,04	3,53	-0,51
11:00	4,25	3,39	-0,86
12:00	4,55	3,87	-0,68
13:00	4,82	3,78	-1,04
14:00	4,89	4,90	0,01
15:00	5,3	5,60	0,30
16:00	4,1	7,51	3,41
17:00	1,36	7,05	5,69
18:00	0,06	0,50	0,44
Total	37,18	44,30	7,12

Fonte: Autoria Própria

Podemos observar uma melhoria no desempenho do painel solar com o seguidor solar, em comparação com o estático. Aumentando o desempenho do sistema de energia fotovoltaica, ocorrerá um aumento da eficiência da placa solar.

O ganho total de energia obtido com o seguidor solar é, aproximadamente de 19,15%. É um resultado significativo, levando em consideração que durante as medições com o seguidor solar, o clima estava mais nublado do que com o dia da medição do sistema estático, dessa forma o resultado da energia obtida pelo sistema, é menor no período da manhã no sistema rastreado. Como já mencionado, o sistema com o seguidor solar aumenta o seu rendimento devido à radiação solar incidir de forma perpendicular na placa solar, e com a interferência de nuvem, a radiação solar que incide sobre a placa, é a radiação solar difusa solares e não a radiação solar direta. Além das nuvens terem prejudicado a obtenção de dados do seguidor solar, as nuvens fazem com que o sistema de rastreador solar perca a orientação.

Na figura 32, observaremos o comportamento da energia produzida por cada sistema ao longo dos dias que ocorreram as medições.

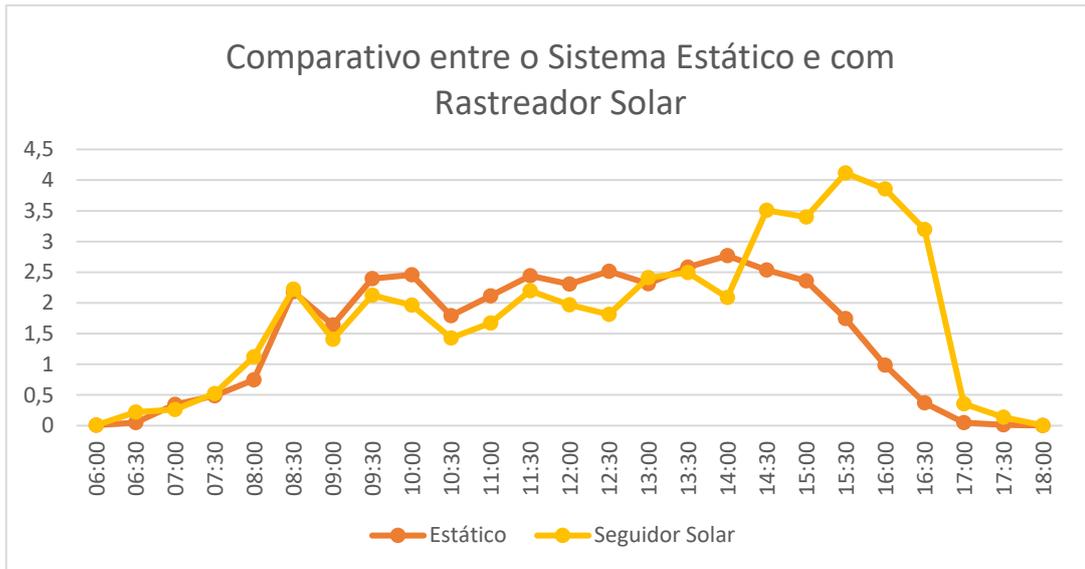


Figura 32: Comparativo entre as energias geradas pelo Sistema Estático e o Seguidor Solar

Fonte: Autoria Própria

Pode-se observar que, inicialmente, as curvas de geração de energia do sistema estático e móvel possuem similaridade, isso ocorreu devido a nebulosidade ocorrida nos dias de medição com o seguidor solar e o baixo ganho de desempenho devido a cidade de São Luis – MA está próximo a linha do equador e não sofrer tanta interferência dos movimentos da Terra. Podemos ver também que é comum, em ambos os sistemas, a queda repentina da geração de energia em alguns momentos do dia, ocorrendo em instantes semelhantes. Este comportamento ocorre pelo fato da nebulosidade existente em todos os dias de medições.

Nota-se que no período do nascer do sol e no pôr do sol existe uma leve diferença entre os sistemas. A energia gerada pelo sistema com o rastreador solar é ligeiramente maior do que a energia gerada pelo sistema estático. Isso se deve ao fato de que nestes horários os raios solares não incidirem de forma no painel estático e com o sistema de rastreador solar os raios solares incide de forma direta na placa solar.

Podemos perceber na figura 32 um comportamento insólito do sistema com o rastreador no período da manhã, que compreende o horário de 09h00min às 13h00min, pois a energia gerada pelo sistema com o seguidor solar é menor que a energia gerada pelo sistema estático. Este comportamento se deve ao fato que durante os dias de medição do sistema com o seguidor solar havia uma alta nebulosidade, atrapalhando a orientação do sistema.

Na figura 32, podemos observar uma diferença muito significativa da energia gerada pelo sistema com rastreador solar em relação a energia gerada pelo sistema estático, por volta das 15h00min às 17h00min. É neste horário que começa o pôr do sol na região, diminuindo de forma gradativa a radiação solar incidente sob o painel solar, variando o ângulo da incidência dos raios solares sobre o painel.

5 CONCLUSÃO

Com a realização deste trabalho foi possível constatar que a utilização de um seguidor solar é uma ótima alternativa quando desejamos aumentar a eficiência na captação de energia solar utilizando um sistema fotovoltaico, pois com pequeno investimento e a utilização de um dispositivo simples, foi possível obter ganhos consideráveis na energia solar gerada pelo sistema. Com a crescente demanda deste tipo de tecnologia e o aumento do investimento na utilização de energia fotovoltaica, é cada vez mais importante o estudo de formas que venham a melhorar a eficiência de um sistema fotovoltaico.

A seguinte pesquisa propôs o estudo de um seguidor solar o comparando a um sistema convencional (estático), onde, o local de instalação do projeto se localiza próximo a linha do equador, possui uma alta taxa de radiação solar, elevadas temperaturas no período diurno e alta taxa de umidade do relativa do ar.

Observou-se que o rendimento e eficiência dos painéis solares sofre bastante influência da nebulosidade na região, pois mesmo em dias ensolarados é constante a presença de nuvens no céu, que prejudicam a incidência da radiação solar sob a placa.

No comparativo entre o sistema estático e o sistema com o seguidor solar, mostrou-se o aumento do rendimento da geração de energia em 19,15%. Foi observada uma diferença mais expressiva entre as gerações de energia no período entre 15h00min e 17h00min.

O rendimento do sistema com o seguidor solar só não foi maior, devido ao dia em que foram realizadas as medições o clima permaneceu nublado durante o período da manhã e começo da tarde. E também devido à proximidade da região à linha do Equador, pois não existe tanta diferença na posição do Sol ao longo do dia ou do ano.

Concluindo-se que o estudo e utilização do sistema com seguidor solar é extremamente válido, pois durante a análise dos dados obtidos tivemos um aumento no rendimento do painel solar em 19,15%, mesmo ocorrendo alta taxa de nebulosidade durante os dias em que foram realizadas as medições do sistema com o seguidor solar.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Com o conhecimento obtido durante esta pesquisa e a partir dos dados e resultados obtidos, pode-se sugerir alguns aprimoramentos para trabalhos posteriores a este:

- Utilização de um sistema de arrefecimento, para diminuir a interferência da temperatura sobre a eficiência do painel solar;
- Realizar a análise de dados e do desempenho dos sistemas no período de um ano;
- Melhorar o desempenho do painel móvel, para que não haja tanta interferência da nebulosidade sobre os seus movimentos e sua orientação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR. **Potencial da energia solar ainda é subutilizado no país**. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/potencial-da-energia-solar-ainda-e-subutilizado-no-pais.html>>. Acesso em: 22 de outubro de 2017.

ALVES, A. F. **Desenvolvimento de um Sistema de Posicionamento Automático para Painéis Fotovoltaicos**. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu-SP, 2008.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**, 2002. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf>. Acesso em 23 de outubro de 2017.

ANEEL, 2014. **Perspectivas da Energia Solar**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/hotsite/mmgd/slides/Antonio%20Carlos%20de%20Andrada%20Tovar.pdf>>. Acesso em 15 de outubro de 2017

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: 15 de outubro de 2017.

ARDUINO. **Arduino**, 2017. Disponível em: <http://arduino.cc/> , Acesso em 26 de outubro de 2017.

AUTOMATION TECH RES, **Sensor de escuro usando LDR**, 2017. Disponível em: <http://automationtech-res.blogspot.com.br/2015/11/sensor-de-escuro-utilizando-ldr-e-o.html>. Acessado em 26 de outubro de 2017.

BLUE SOL, **Célula Fotovoltaica Guia Completo**, 2017, <http://blog.bluesol.com.br/celula-fotovoltaica-guia-completo/>. Acesso em 16 de outubro de 2017.

BÓSON TREINAMENTO E TECNOLOGIA, **Curso de Eletrônica – O que é um LDR (Light Dependent Resistor)**, 2017. Disponível em <<http://www.bosontreinamentos.com.br/electronica/curso-de-eletronica/curso-de-eletronica-o-que-e-um-ldr-light-dependent-resistor/>>. Acessado em 26 de outubro de 2017.

CEPEL; **As energias solar e eólica no Brasil**, 2013. Eletrobrás. Disponível em: https://pt.slideshare.net/fpv_transilvania/as-energias-solar-e-elica-casasolar-2013. Acesso em: 07 de novembro de 2017.

COIFFET, P., , “Les Robôs, Tome 1: **Modélisation et commade**”, Hermes, Paris; 1982

CRESESB, **Energia Solar Princípios e Aplicações**, Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, 2017

ECOTECH, **componete placa fotovoltaica**, Disponível em <<https://www.ecotech.com/product/gases/continuous-emissions-monitoring-systems>>, acesso 12 de novembro de 2017

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA, 2015,” **Guia Prático**”, Solar Terra.

KININGER, F. e Energiewandlung, R.,2003, **Photovoltaic Systems Technology**, Universität Kassel.

LEVITAN, Dave. **The Solar E Ciency Gap**. 25 de maio de 2012. Disponível em <<http://spectrum.ieee.org/green-tech/solar/the-solar-efficiency-gap>>. Acesso em: 15 de outubro de 2017.

NOTA TÉCNICA DEA 19/14. **Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos**. Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 2014.

NOTA TÉCNICA DEA 19/14. **Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos**. Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 2014.

ONU DI. Energia Solar Fotovoltaica. **Programa de Capacitação em Energias Renováveis: Observatório de Energias Renováveis Para América Latina e Caribe**, 2015.

Mendes Lopes, A., 2000, “ **Um dispositivo robótico para controlo de força-impedância de Manipuladores Industriais**”, Tese de Doutoramento, FEUP, Porto, Portugal;

NIKU, B. S., 2001 “ **Introduction to robotics: Analysis, systems, application**” . New Jersey, Prentice Hall.

PORTAL SOLAR, **Tipos de Pannel Solar Fotovoltaico**, 2017
<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-pannel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em: 16 de outubro de 2017.

PRINSLOO, G., R. DOBSON. **Mechatronic Platform with 12m Solar Thermal Concentrator for Rural Power Generation in Africa**. Energy Procedia, 2014.

ROCHA FILHO, José Itanor do Couto, **Potencial Para Uso De Seguimento Solar Em Sistemas Fotovoltaicos: Estudo De Caso Para Fortaleza/CE**. 2013, Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

SARAIVA, M. de F. O.; FILHO K. de S. O.; MÜLLER A. M. **Movimento Anual do Sol e Estações do Ano**, 2017, Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/Aula3-141.pdf>>, Acesso em 23 de outubro de 2017.

SUNHOME, **Placa Fotovoltaica SM-10W**. Disponível em <http://www.sunhome.com.br/painel-solar-10w-policristalino-sun-home-10>. Acessado em 21 de Outubro de 2017.

UFRJ, **LDR**. Disponível em: http://www.gta.ufrj.br/grad/01_1/contador555/ldr.htm , acessado 28 de Outubro de 2017.

USINAINFO, **Servo Motor MG995 TowerPro**. Disponível em : <https://www.usinainfo.com.br/servo-motores/servo-motor-mg995-tower-pro-180-11kgfcm-de-alto-torque-com-engrenagens-metalicas-2740>. Acessado em 28 de outubro de 2017.

VALLÊRA, António. **Meio século de história fotovoltaico**. Departamento de Física e Centro de Física da Matéria Condensada (CFMC): 2006.

VÉRAS, P. C. **Estudo dos benefícios e proposta de um modelo de controle de um rastreador solar ativo**. 2004. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2004.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1ª ed. Editora Érica, São Paulo, 2012.

ANEXOS

ANEXO A - PROGRAMAÇÃO PARA OBTER DADOS DA CORRENTE E TENSÃO

```

#include <math.h>
#include<iostream>
#include<cstdlib>

float aRef=5;
float relacao=11;
long previousMillis = 0;
long interval = 20000;

float tensaoT;
float tensaoC;

#define AMOSTRAS 20

int ROW = 0; // VARIÁVEL QUE SE REFERE AS LINHAS DO EXCEL
int LABEL = 1;

void setup() {

  Serial.begin(9600); // INICIALIZAÇÃO DA COMUNICAÇÃO SERIAL
  Serial.println("CLEARDATA"); // RESET DA COMUNICAÇÃO SERIAL
  Serial.println("LABEL,Time,VOLTAGEM,CORRENTE"); // NOMEIA AS COLUNAS
  pinMode(13,OUTPUT);
}

float lePorta(uint8_t portaAnalogica) {
  float total=0;
  for (int i=0; i<AMOSTRAS; i++) {
    total += 1.0 * analogRead(portaAnalogica);
    delay(50);
  }
  return total / (float)AMOSTRAS;
}

void data_exec(){
  unsigned long currentMillis = millis();
  Serial.println(currentMillis);
  if(currentMillis - previousMillis > interval) {
    previousMillis = currentMillis; // ESPERA VINTE SEGUNDOS PARA NOVA LEITURA

    Serial.print("DATA,TIME,"); // INICIA A "IMPRESSÃO" DOS DADOS, SEMPRE
    INICIANDO COM O "TIME"
  }
}

```

```

ROW++;          // INCREMENTA A LINHA DO EXCEL
if (ROW > 500)  // LAÇO PARA LIMITAR A QUANTIDADE DE DADOS ENVIADOS,
SERVE PARA LIMITAR O GRÁFICO
{
  ROW=0;        // RESET DA LINHA
  Serial.println("ROW,SET,2");// ALIMENTAÇÃO DAS LINHAS COM OS DADOS,
INICIANDO DA LINHA 2
}

}

}

void mostraTensoes() {

  Serial.print(tensaoT * relacao);
  Serial.print(",");
  Serial.print(((tensaoC * relacao )/40));

}

void loop() {

  tensaoT = ((lePorta(A4) * aRef) / 1024.0);
  tensaoC = ((lePorta(A5) * aRef) / 1024.0);

  mostraTensoes();

  if(1){
    data_exec();
  }
}

```

ANEXO B – PROGRAMAÇÃO PARA O SEGUIDOR SOLAR E PARA OBTER DADOS DA CORRENTE E TENSÃO

```

#include<Servo.h>
Servo motor1;
Servo motor2;

int posi1=0;//variaveis de posição dos motores
int posi2=0;

int LDRdir=0;//variaveis dos ldrs
int LDResq=0;
int LDRcima=0;
int LDRbaixo=0;

int ldr1=0;//variaveis de recebimento do dado do ldrs
int ldr2=1;
int ldr3=2;
int ldr4=3;

float tensaoT;
float tensaoC;

float aRef=5;
float relacao=11;
long previousMillis = 0;
long interval = 20000;

#define AMOSTRAS 20

int ROW = 0; // VARIÁVEL QUE SE REFERE AS LINHAS DO EXCEL
int LABEL = 1;

void setup() {
  motor1.attach(9);//DEFININDO A PINAGEM DOS MOTORES E SUA POSIÇÃO INICIAL
  motor1.write(0);

  motor2.attach(10);
  motor2.write(0);

  pinMode(ldr1,INPUT);//DEFININDO VARIÁVEIS COMO ENTRADA
  pinMode(ldr2,INPUT);
  pinMode(ldr3,INPUT);
  pinMode(ldr4,INPUT);

  Serial.begin(9600); // INICIALIZAÇÃO DA COMUNICAÇÃO SERIAL

```

```

Serial.println("CLEARDATA"); // RESET DA COMUNICAÇÃO SERIAL
Serial.println("LABEL,Time,VOLTAGEM,CORRENTE"); // NOMEIA AS COLUNAS
pinMode(13,OUTPUT);
}

float lePorta(uint8_t portaAnalogica) {
float total=0;
for (int i=0; i<AMOSTRAS; i++) {
total += 1.0 * analogRead(portaAnalogica);
delay(50);
}
return total / (float)AMOSTRAS;
}

void data_exec(){
unsigned long currentMillis = millis();
Serial.println(currentMillis);
if(currentMillis - previousMillis > interval) {
previousMillis = currentMillis; // ESPERA CINCO SEGUNDOS PARA NOVA LEITURA

Serial.print("DATA,TIME,"); // INICIA A "IMPRESSÃO" DOS DADOS, SEMPRE
INICIANDO COM O "TIME"

ROW++; // INCREMENTA A LINHA DO EXCEL
if (ROW > 500) // LAÇO PARA LIMITAR A QUANTIDADE DE DADOS ENVIADOS,
SERVE PARA LIMITAR O GRÁFICO
{
ROW=0; // RESET DA LINHA
Serial.println("ROW,SET,2");// ALIMENTAÇÃO DAS LINHAS COM OS DADOS,
INICIANDO DA LINHA 2
}

}
}

void mostraTensoes() {

Serial.print(tensaoT * relacao);
Serial.print(",");
Serial.print(((tensaoC * relacao )/40));

}

void loop() {

tensaoT = ((lePorta(A4) * aRef) / 1024.0);
tensaoC = ((lePorta(A5) * aRef) / 1024.0);

mostraTensoes();
}

```

```

posi1=motor1.read();//lendo posição dos motores
posi1=motor1.read();

int LDRdir=analogRead(ldr1);//alocando valores analogicos dos ldrs
int LDResq=analogRead(ldr2);
int LDRcima=analogRead(ldr3);
int LDRbaixo=analogRead(ldr4);

//codigo do primeiro motor
if(LDRdir>LDResq){
  motor1.write(posi1++);//move o motor 1 para maior luminosidade
  delay(10);
}
else{
  motor1.write(posi1);
}

if(LDResq>LDRdir) {
  motor1.write(posi1--);//move o motor 1 para maior luminosidade
  delay(10);
}
else{
  motor1.write(posi1);
}

if(LDRcima>LDRbaixo){
  motor2.write(posi2++);//move o motor 2 para maior luminosidade
  delay(10);
}
else{
  motor2.write(posi2);//move o motor 2 para maior luminosidade
  delay(10);
}
if(LDRbaixo>LDRcima){
  motor2.write(posi2--);//move o motor 2 para maior luminosidade
  delay(10);
}
else{
  motor2.write(posi2);//move o motor 2 para maior luminosidade
  delay(10);
}
delay(500);
}

if(1){
  data_exec();
}
}

```