



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL – CAMPUS ERECHIM
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

VINÍCIUS BLASZCZAK

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE PAINEL FOTOVOLTAICO COM SISTEMA
TRACKER SEGUIDOR SOLAR**

Erechim, 2017.

VINÍCIUS BLASZCZAK

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE PAINEL FOTOVOLTAICO COM SISTEMA
TRACKER SEGUIDOR SOLAR**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Banca examinadora

Orientadora: Prof^a Ma. Franciele Stail Bordin

Examinador: Prof^o Dr. Anderson A. A. G. Ribeiro

Examinadora: Prof^a Dr. Marilia Hartmann

Erechim, 2017.

RESUMO

O aumento da eficiência de captação solar em painéis fotovoltaicos, pode ser obtido através de sistemas automatizados de seguidores solares. O presente trabalho tem como objetivo mensurar o ganho de eficiência em um sistema de painel solar seguidor solar em comparação com um sistema fixo tradicional. Para realização do trabalho foi desenvolvido um protótipo de um tracker solar automatizado e um sistema de coleta de dados, ambos em plataformas Arduino, possibilitando uma comparação direta entre a geração de energia de um painel fotovoltaico seguidor solar e de um painel fotovoltaico fixo. O protótipo apresentou ganhos significativos de potência durante o dia, de até 30%, principalmente nas primeiras e últimas horas de insolação. Conclui-se que um sistema fotovoltaico com tracker solar pode ser uma boa opção para garantir aumento de eficiência de captação energética em casos que se faça necessário uma otimização do sistema.

Palavras chave: Tracker solar, Eficiência energética, Painel fotovoltaico, Automação.

ABSTRACT

Increasing the efficiency of solar capture in photovoltaic panels can be obtained through automated systems of solar trackers. The present study aims to measure efficiency gain in a solar tracker solar panel system compared to a traditional fixed system. To carry out the work, a prototype of an automated solar tracker and a data collection system were developed, both on Arduino platforms, allowing a direct comparison between the energy generation of a solar tracker and a fixed photovoltaic panel. The prototype showed significant power gains during the day, especially in the first and last hours of sunshine. Featuring up to 30% gains in some periods of the day. It is concluded that a photovoltaic system with solar tracker can be a good option to guarantee an increase of energy capture efficiency in cases that an optimization of the system is necessary.

KeyWords: Solar Trackers, Energy Efficiency, Photovoltaic Panels, Automated.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	7
1.1 - Objetivos	8
1.2 - Objetivos específicos	8
2 - REVISÃO TEÓRICA E BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1 - Histórico da Energia Fotovoltaica.....	9
2.2 - Efeito fotovoltaico e função das células solares.....	9
2.3 – Solarimetria	11
2.4 - Orientação da radiação solar incidente em uma superfície	12
2.5 - Avaliação da energia solar útil e da energia utilizável.....	14
2.6 - Seguidor Solar.....	14
2.6.1 - Seguidor solar de Eixo Único Inclinado	16
2.6.2 - Análise do desempenho de sistemas Tracker.....	17
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1 - Painéis Fotovoltaicos	20
3.2 - Baterias Estacionaria Heliar Df2500.....	20
3.3 - Inversor De Carga Prowatt 800.....	21
3.4 - Arduino Uno R3 E Arduino Mega 2560	22
3.5 - Circuito Integrado De Ponte H L298	23
3.6 -Circuito Divisor De Tensão, Protoboards E Cabos De Conexão.....	24
3.7 - Motor De Vidro Elétrico Automotivo 12 V CC.....	25
3.8 - Estrutura Do Seguidor Solar	26
3.9 – Experimento	27
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5 CONCLUSÕES	33
6 - ANEXOS.....	34
6.1 - Código de programação do sistema de coleta de dados em Arduino.....	34
6.2 Código programação do temporizador em Arduino.....	35
7 - REFERÊNCIAS	37

Lista de Figuras

Figura 1. Medições da irradiação solar realizadas por satélites (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2005).

Figura 2. Ângulos solares. (ARRUDA, 2004).

Figura 3. Esquema de incidência de radiação em uma superfície. (adaptada de DUFFIE; BECKMAN, 1991).

Figura 4. Seguidor solar de eixo único. (CORTEZ, 2013).

Figura 5. Comparação entre os sistemas fotovoltaicos fixos e móveis. (AL-MOHAMAD, 2004)

Figura 6 – Painéis Fotovoltaicos. Fonte: O autor.

Figura 7 – Bateria estacionaria. Fonte: O autor.

Figura 8- Inversor de carga. Fonte: O autor.

Figura 9 - Arduino Uno e Arduino Mega. Fonte: O autor.

Figura 10 – Ponte H L298. Fonte: O autor.

Figura 11 – Circuito de coleta de dados. Fonte: O autor.

Figura 12 – Circuito controlador de movimento do sistema móvel. Fonte: O autor.

Figura 13 – Motor 12 V CC. Fonte: O autor.

Figura 14 – Estrutura do seguidor solar. Fonte: O autor.

Figura 15 – Mecanismo de movimentação por barra rosqueada. Fonte: O autor.

Figura 16 – Fotografias do teste em diferentes horarios do dia. Fonte: O autor.

Grafico 2 – Variação da tensão no painel fixo ao longo do dia.

Grafico 3- Variação da tensão no painel seguidor solar durante o dia

Grafico 4 – Potência gerada pelos painéis durante o dia.

Grafico 5 – Diferença de potência gerada entre o sistema fixo e o seguidor solar.

1 - INTRODUÇÃO

A energia é um elemento indispensável para a evolução social, econômica, e tecnológica da humanidade. Em particular, a eletricidade é o ingrediente básico para conectar o mundo através das telecomunicações, facilitar a dotação de serviços indispensáveis à sociedade, como: saúde, educação e água potável, mover as indústrias e promover o desenvolvimento tecnológico. Desta forma, é imprescindível que os meios de geração de energia elétrica sejam eficientes, com baixo impacto ambiental e acessíveis a toda população.

Alguns meios de geração de energia elétrica podem ser obtidas por fontes naturais virtualmente inesgotáveis e apresentam menor interação negativa com o meio ambiente, são as chamadas fontes de energias renováveis, ou de energias limpas como a fotovoltaica, eólica, das marés e geotérmicas dentre outras

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), em 2015 as fontes de energias renováveis foram o terceiro maior contribuinte para a produção global de eletricidade, sendo responsáveis por 22,8% da geração mundial de eletricidade, após o carvão (39,3%) e o gás (22,9%) e à frente da energia nuclear (10,6%) e do petróleo (4,1%). Ainda segundo a IEA, desde 1990, a geração de eletricidade renovável em todo o mundo cresceu em média 3,6% ao ano, o que é um pouco mais rápido do que a taxa total de crescimento da geração de eletricidade (2,9%). Assim, enquanto 19,4% da eletricidade global em 1990 foi produzida a partir de fontes renováveis, essa participação aumentou para 22,8% em 2015. Esses dados demonstram a relevante importância das energias renováveis.

A energia solar pode ser considerada uma fonte de energia limpa, pois a sua geração causa pouca interferência no meio ambiente. A vida útil dos módulos fotovoltaicos é superior a 25 anos. De acordo com Mousazadeh et al (2009), se 0,16% da superfície terrestre, fosse coberta com painéis solares com uma eficiência de conversão de 10%, área comparável ao território do Chile, seria possível produzir uma potência de 20 TW, o que é quase duas vezes o consumo mundial de energia gerada através de combustíveis fósseis.

Em países tropicais, como o Brasil, a utilização da energia solar é viável em praticamente todo o território. A radiação solar é maior nas regiões mais próximas ao Equador. Porém, mesmo em regiões mais distantes, como a região Sul, a radiação é maior do que em muitos países como Itália e Alemanha, que já utilizam a energia solar em larga escala. Para maximizar o aproveitamento da radiação solar, nesses locais, pode-se ajustar

a posição do coletor ou painel solar de acordo com a latitude local e o período do ano em que se requer mais energia. (GUIA TÉCNICO, 2014).

A utilização de sistemas fotovoltaicos pode ser considerada uma ótima opção para geradores pontuais de energia elétrica, em residências, áreas isoladas, indústrias, hospitais, universidades ou qualquer estabelecimento que opte por uma diminuição, tanto de sua dependência da rede elétrica externa como dos custos da energia elétrica consumida no local. Segundo a Empresa Brasil de Comunicação EBC, a geração de energia solar fotovoltaica no Brasil atingirá um crescimento de 325% até o final do ano de 2017 em relação à capacidade de 235 MW em julho do mesmo ano.

Os sistemas fotovoltaicos atualmente comercializados no Brasil possuem eficiência variável entre 10% e 16% na conversão de energia solar em energia elétrica, segundo o site Portal Solar. Com utilização de equipamentos seguidores solares, que ajustam o ângulo das placas fotovoltaicas de acordo com a posição do Sol no decorrer do dia, é possível aumentar em média 25% a produção total de energia gerada. Este equipamento é conhecido como Tracker ou seguidor solar.

1.1 - Objetivos

Com o auxílio de tecnologia eletrônica básica e um micro controlador Arduino, é possível desenvolver um sistema de painéis fotovoltaicos automatizado capaz de acompanhar o movimento do Sol durante o dia. Tal sistema pode aumentar a eficiência de captação da energia solar. Este trabalho tem como proposta a realização de um estudo para mensurar o ganho energético de um sistema automatizado de painel fotovoltaico seguidor solar (Tracker), comparando sua eficiência de captação com a de um painel de estrutura fixa.

1.2 - Objetivos específicos

- Desenvolver um sistema de painel fotovoltaico seguidor solar.
- Desenvolver um método de coleta dos dados para mensurar a energia gerada pelos sistemas.
- Comparar a eficiência de geração entre o sistema tracker e o sistema fixo.

2 - REVISÃO TEÓRICA E BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Histórico da Energia Fotovoltaica

O efeito fotovoltaico foi descrito pela primeira vez no ano de 1839 pelo físico francês Edmond Becquerel, ao relatar as propriedades do selênio, que produzia uma corrente elétrica quando exposto a radiação. Mais tarde, em 1877, W. G. Adams e R. E. Day, utilizaram as propriedades fotocondutoras do selênio para desenvolver o primeiro dispositivo sólido de produção de eletricidade por exposição à luz. Em 1883 Charles Fritts construiu a primeira célula fotovoltaica em estado sólido. Ele revestiu o semicondutor selênio com uma fina camada de ouro para formar as junções. A célula fotovoltaica de Charles tinha apenas 1% de eficiência.

Em 1958, a NASA iniciou a utilização de painéis fotovoltaicos no satélite Vanguard I. Depois desta demonstração de confiabilidade, durabilidade e baixo peso, os programas espaciais norte-americanos e soviéticos adaptaram as células solares como fonte de energia dos seus satélites (KOLTUN, 1996). As décadas de oitenta e noventa foram também marcadas por um maior investimento em programas de financiamento e de demonstração motivados sobretudo pela consciência crescente da ameaça das alterações climáticas devido à queima de combustíveis fósseis (WILLEKE, 2004). Após sua invenção, as tecnologias de geração fotovoltaica vêm se desenvolvendo gradativamente. Atualmente, a eficiência de captação de alguns painéis chega a 30%. Com sistemas atuais, a utilização da energia solar vem sendo amplamente difundida em todo o mundo, pois se trata de uma fonte de energia limpa, confiável e eficiente.

2.2 - Efeito fotovoltaico e função das células solares

O termo fotovoltaico consiste na transformação direta da luz em energia elétrica em corrente contínua (CC), recorrendo-se a células solares. Neste processo, são utilizados materiais semicondutores como o silício, o arseneto de gálio, telureto de cádmio ou disseleneto de cobre e índio. A célula de silício cristalina é a mais usual (GUIA TÉCNICO, 2014).

Alguns materiais, principalmente o silício cristalino apropriadamente processado, quando expostos à luz, geram eletricidade (BISSOCHI et al, 2016). O silício é o mesmo material utilizado nos “chips” de computadores, com base em tecnologia semelhante à empregada na indústria eletrônica. As três principais tecnologias de fabricação disponíveis são denominadas: mono-Si (Silício monocristalino), poli-Si (Silício policristalino) e a-Si (Silício amorfo), como citado pelo CRESESB.

Na atualidade, cerca de 95% das células solares usadas no mundo são de silício. Numa posição próxima do oxigênio, é o segundo elemento químico mais abundante na Terra. O silício não é encontrado como um elemento químico isolado na natureza, existe apenas associado a outros elementos, como o oxigênio, formando areia de sílica. O material utilizado nas células solares deve ser da maior pureza possível. Isto pode ser conseguido através de sucessivas etapas na produção química. Até aos dias de hoje, os fabricantes de células solares têm obtido, na sua maior parte, o material purificado do desperdício da indústria eletrônica de semicondutores. (GUIA TÉCNICO, 2014).

O cristal de silício puro não possui elétrons livres e portanto, não é um bom condutor elétrico. Para alterar isto, se acrescentam porcentagens de outros elementos. Este processo denomina-se dopagem. A partir da dopagem do silício com o fósforo, obtém-se um material com elétrons livres ou materiais com portadores de carga negativa (silício tipo N). Acrescentando-se 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). A Tabela 1 apresenta diferentes modelos de células fotovoltaicas, suas eficiências e custos.

Tipo de célula	Eficiência (%)			Custo (US\$/Wp)
	Teórica	Laboratório	Comercial	
Silício de cristal simples	30,0	24,7	12 a 14	4 a 7
Silício concentrado	27,0	28,2	13 a 15	5 a 8
Silício policristalino	25,0	19,8	11 a 13	4 a 7
Silício amorfo 17,0	13,0	4 a 7	3 a 5	-

Tabela 1. Exemplos de células fotovoltaicas. (NASCIMENTO).

O princípio de funcionamento é simples na sua essência. Células de silício cristalino apropriadamente processado, quando expostas à luz geram uma diferença de potencial elétrico. Em uma placa, várias células solares sobrepostas em lâminas delgadas de silício cristalino são interconectadas apropriadamente para se obter a tensão e corrente

desejada. Ao ser exposta à luz, a placa irá produzir eletricidade em corrente contínua que pode ser usada diretamente ou armazenada em baterias para uso posterior (BICHOSSI, et al, 2016).

As características da célula solar sob diferentes níveis de iluminação podem variar, a corrente gerada pela luz é proporcional ao fluxo de fótons com energia sobre-banda-gap. Aumentando a irradiância aumenta-se, na mesma proporção, o fluxo de fótons que, por sua vez, gera uma corrente proporcionalmente maior. Consequentemente, a corrente de curto-circuito de uma célula solar é diretamente proporcional à irradiância COPPE (2017).

2.3 – Solarimetria

Solarimetria é o ramo da meteorologia que se dedica a medição de parâmetros relativos à radiação solar. Esses parâmetros, tais como número de horas de Sol em um dia, radiação direta, radiação difusa, radiação global e em casos mais específicos, radiação em determinados comprimentos de onda, são utilizados em diversas aplicações de diferentes áreas do conhecimento (TIBA et al., 2000).

O aproveitamento racional da energia solar no sentido de produzir instalações bem dimensionadas e economicamente viáveis só é possível a partir de informações solarimétricas consistentes da região em questão (PRADO et al, 2007). Existem dois processos distintos utilizados para estimar dados da irradiação solar incidente na superfície da Terra, ambos baseados em medidas meteorológicas disponíveis no país.

O primeiro trata de modelos desenvolvidos a partir de dados obtidos em estações terrestres: dentre os parâmetros meteorológicos que se correlacionam com a irradiação solar incidente na superfície, a nebulosidade e o número de horas de insolação são especialmente importantes. Através do número de horas de insolação é possível estimar, de acordo com relações empíricas, a irradiação solar global.

O segundo diz respeito à utilização de dados de imagens de satélites meteorológicos: os primeiros estudos nesta área iniciaram em 1967, quando HANSON et al. trabalharam com dados do satélite NIMBUS 2, de órbita polar. A finalidade dos autores era a obtenção da irradiação solar incidente na superfície terrestre e o modelo considerava uma decomposição da energia solar em três frações: refletida para o espaço, absorvida pela atmosfera e absorvida pela superfície (CRESESB, 2014).

A partir da análise dos movimentos de translação e rotação da Terra é possível concluir que um plano recebe os raios do Sol com ângulos de incidência diferentes, segundo a hora do dia e a época do ano, além de se modificar de acordo com a orientação e a inclinação do plano. Entende-se que a intensidade da irradiação solar para uma localidade na superfície da Terra está relacionada não somente aos constituintes da atmosfera, como também à altitude e ao ângulo zenital do Sol (CRESESB, 2014).

A radiação emitida pelo Sol e sua relação espacial com a Terra resulta em uma intensidade quase fixa de radiação solar fora da atmosfera terrestre. A constante solar é a energia do Sol, por unidade de tempo, recebida em uma unidade de área perpendicular à direção de propagação da radiação, em uma distância Terra-Sol média, fora da atmosfera. O World Radiation Center (WRC) adotou o valor de 1.367 W/m^2 para a constante solar, com incerteza na ordem de 1%. (DUFFIE; BECKMAN, 1991).

De acordo com Oliveira Filho e Saraiva (2005), a constante solar varia, dependendo da época no ciclo solar de 11 anos, de $1.364,55$ a $1.367,86 \text{ W/m}^2$, como observado na Figura 1. Segundo ABNT (1988), o valor adotado para verificação do rendimento de coletores solares planos é de 1353 W/m^2 .

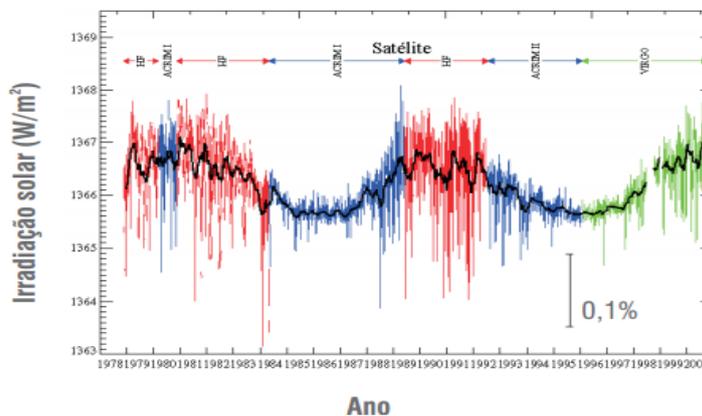


Figura 1. Medições da irradiação solar realizadas por satélites (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2005).

2.4 - Orientação da radiação solar incidente em uma superfície

O dimensionamento de qualquer sistema que utilize a energia solar requer o conhecimento da orientação da incidência dos raios solares em uma superfície, seja plana ou inclinada. A determinação da orientação é feita através da relação entre diversos

ângulos. A seguir apresenta-se o significado desses ângulos e suas relações (ARRUDA, 2004; LIMA, 2003).

- Latitude, ϕ - localização angular em relação ao Equador, varia de -90° a 90° , sendo Norte positivo e Sul negativo;
- Declinação, δ - posição angular do Sol ao meio dia em relação ao plano do Equador. Pode-se calcular através da Equação 1:

$$\delta = 23,45 \operatorname{sen} \left(\frac{(360(284+d))}{365} \right) \quad 1$$

- Inclinação da superfície, β - ângulo entre o plano da superfície e uma superfície horizontal. Varia de 0° a 180° ;
- Ângulo azimutal da superfície, γ - ângulo entre a projeção da normal à superfície e o plano do meridiano local. No Norte é zero, para Leste é positivo e para Oeste é negativo. Varia de -180° a 180° ;
- Ângulo horário, ω - deslocamento angular do Sol a Leste ou a Oeste em relação ao meridiano local, devido ao movimento da terra. O período da manhã é negativo e da tarde positivo. Cada hora corresponde ao deslocamento de 15° ;
- Ângulo de incidência, θ - ângulo entre a radiação direta incidente no plano e a normal a superfície;
- Ângulo zenital, θ_z - ângulo entre os raios solares e a vertical (zênite);
- Ângulo de altitude solar, φ - ângulo entre os raios solares e sua projeção em um plano horizontal (PRADO et al., 2007).

A Figura 2 apresenta alguns destes ângulos solares.

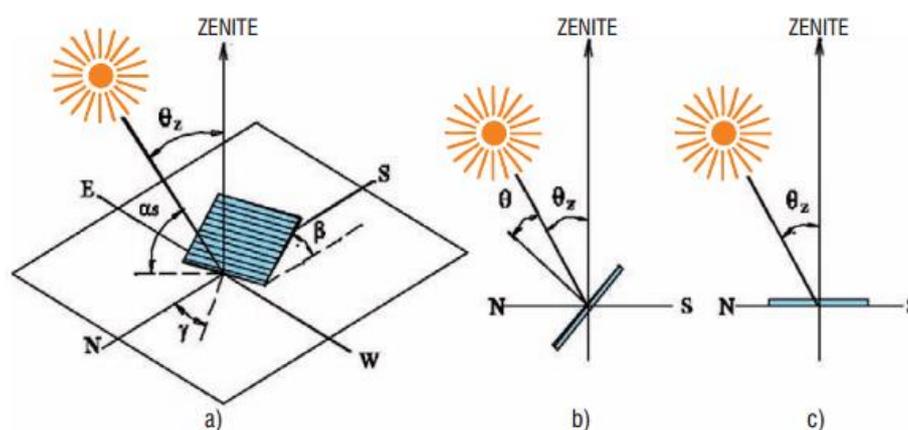


Figura 2. Ângulos solares. (ARRUDA, 2004)

2.5 - Avaliação da energia solar útil e da energia utilizável

A energia total incidente no painel solar é a soma de três componentes: radiação direta, radiação difusa e radiação refletida pelo entorno. A radiação difusa é formada por três componentes: radiação difusa isotrópica, que é a parcela recebida uniformemente por toda a abóbada celeste; radiação difusa circumsolar, que é a radiação solar dispersa e concentrada na parte do céu ao redor do sol; radiação difusa do brilho do horizonte, que é a radiação próxima ao horizonte, mais evidente em dias de céu claro. A radiação refletida pelo entorno é composta pela reflexão da radiação incidente em superfícies próximas ao coletor, como edificações, pavimentos e vegetação. Para simplificação de cálculos, essa parcela normalmente é considerada como sendo a de uma superfície horizontal refletindo a radiação difusamente (PRADO et al., 2007). A Figura 3 apresenta as fontes de radiação incidentes em uma superfície

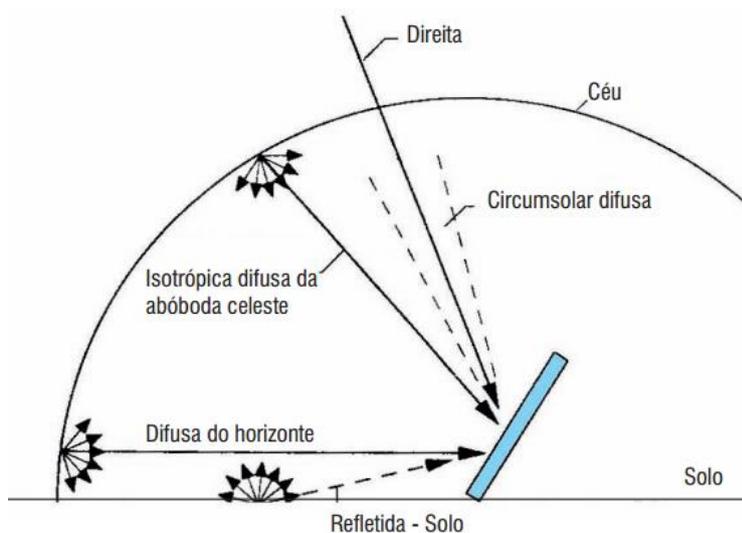


Figura 3. Esquema de incidência de radiação em uma superfície. (adaptada de DUFFIE; BECKMAN, 1991).

2.6 - Seguidor Solar

Um seguidor solar é um dispositivo mecânico que tem por objetivo garantir que os painéis fotovoltaicos fiquem sempre na posição mais favorável a captar o máximo de radiação solar possível. Os seguidores solares podem ser utilizados em basicamente todas as aplicações que utilizem energia solar. Há relativamente pouco tempo, eram usados essencialmente na produção de energia solar térmica, mas nos últimos anos, com a

redução dos custos na tecnologia fotovoltaica, tem aumentado a sua utilização aliada a energia fotovoltaica. (CORTEZ, 2013).

Os sistemas de seguidores solares, também conhecidos como rastreadores ou trackers, têm como objetivo aumentar a captação da radiação solar pelo painel fotovoltaico ao procurar sempre manter o painel perpendicular à radiação solar incidente, proporcionando desta maneira, uma situação mais favorável para o aproveitamento da energia solar. Um sistema de seguidores solares, apesar de incrementar em cerca de 20% o preço total de um sistema de geração fotovoltaica de energia, pode vir a aumentar cerca de 40% a captação de energia em alguns casos. Os seguidores fotovoltaicos geralmente apresentam um baixo custo de manutenção (GIL et al., 2009).

Existem muitos tipos de seguidores solares, variando em custo, complexidade e funções. Eles podem fazer o seguimento através de vários eixos e garantir diferentes níveis de precisão, conforme descritos abaixo (CORTEZ, 2013):

- Seguidor de Plataforma Rotativa de dois Eixos;
- Seguidor Polar de Eixo Único;
- Seguidor de Eixo Horizontal;
- Seguidor de Eixo Vertical ou de Azimute;

Quanto maior o ângulo de incidência solar, aquele entre a posição do Sol com a uma reta perpendicular ao painel, menor será a potência de geração de energia. Ao se utilizar um seguidor solar, este ângulo é reduzido a zero e a produção de energia passa a ser máxima ou muito próxima da máxima durante determinado dia e com a radiação existente. Uma demonstração algébrica indica um ganho teórico de até 57% (MOUSAZADEH et al., 2009).

Os dois ângulos mais importantes na captação da energia solar são o ângulo azimutal do sol, na determinada área de estudo e o ângulo de inclinação do painel fotovoltaico durante a captação da radiação solar, em relação ao próprio sol. Algumas das características comuns utilizadas em sistemas com seguidor solar são: utilização de um ou dois motores, movimento por sensores de luminosidade ou de acordo com o calendário, suprimento de energia própria ou externa, funcionamento durante o ano inteiro ou em apenas algumas estações do ano, entre outras. Além disso, estes sistemas podem ser passivos, quando movidos pela expansão térmica de um líquido, gerada por reações químicas, ou ativos, quando movidos por motores, computadores ou manualmente (MOUSAZADEH et al., 2009).

Dos seguidores solares ativos, tem-se ainda uma subdivisão em três categorias. A primeira delas engloba os baseados em microprocessadores e sensores. Este tipo de seguidor move-se de acordo com a diferença de iluminação entre sensores posicionados estrategicamente no painel solar. Estes sensores quando em desequilíbrio, ativam os microprocessadores conectados ao sistema para realizar o movimento com a ajuda de um motor, até que os sensores estejam com uma diferença de iluminação próxima à zero, o que indica a posição ótima do painel. Esses seguidores possuem alta precisão.

A segunda categoria é constituída por seguidores baseados em data e tempo, o qual por fórmulas ou algoritmos calcula a posição do Sol embasado em informações geográficas e então envia comandos para o motor, para que este mude a posição dos painéis em determinado tempo para um ângulo de incidência determinado.

O último e terceiro caso é quando se utiliza a combinação dos dois tipos anteriores, ou seja, a utilização de microprocessadores e sensores com informações de data e tempo. Desta forma, para movimentos menos frequentes como em alguns casos o ângulo azimutal do painel, é possível utilizar dados calculados e então utilizar do seguidor solar por sensores para o movimento do ângulo de incidência (MOUSAZADEH et al., 2009).

2.6.1 - Seguidor solar de Eixo Único Inclinado

Este tipo de seguidor tem um eixo Norte-Sul fixo num ângulo, normalmente o da latitude do local. Este eixo será adotado como eixo de rotação, garantindo a perpendicularidade do painel em relação aos raios de Sol nos equinócios da Primavera e de Outono. Em qualquer outro dia, existe um pequeno erro. Os seguidores de eixo inclinado são relativamente simples e aumentam a eficiência do sistema (CORTEZ, 2013). Na Figura 4 pode-se ver um exemplo deste tipo de seguidor.

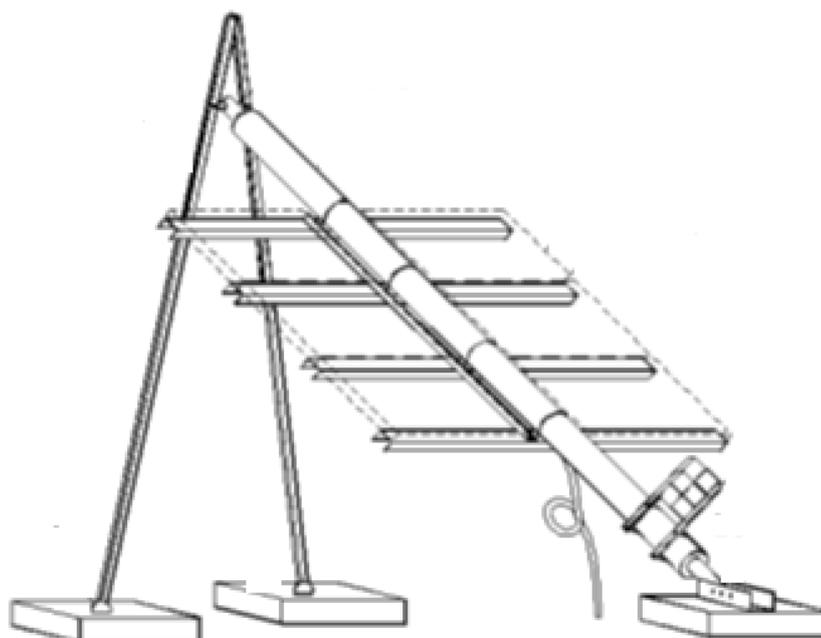


Figura 4. Seguidor solar de eixo único. (CORTEZ, 2013).

2.6.2 - Análise do desempenho de sistemas Tracker

Segundo os cálculos realizados por Li, Liu e Tang (2011), a performance de painéis solares com seguidor solar em um eixo pode ser melhorada em 28% nas áreas em que existe abundância de recursos solares e em 16% nas áreas com pouca incidência solar.

O pesquisador Al-Mohamad (2004) desenvolveu um sistema de seguimento solar de um eixo em um módulo fotovoltaico com o uso de um controlador lógico programável (CLP). Foram utilizados dois sensores de luminosidade separados por uma barreira, em que um ângulo considerável de incidência solar ocasionaria sombra em um dos sensores e assim o CLP ordenaria o motor a reposicionar o painel solar. O objetivo então deste estudo foi encontrar o ganho proporcionado em potência devido à utilização deste seguidor solar. Foi desenvolvido um programa computacional na linguagem Visual Basic 5 para que pudesse comandar o CLP e também coletar os dados. Comparado com um sistema fixo, o sistema fotovoltaico com seguimento desenvolvido apresentou, no começo do dia, um aumento de cerca de 40% na energia fornecida, com valores entre 2% e 4% durante o restante do dia, como pode ser visto no gráfico 1. O aumento médio dessa energia fornecida durante todo o dia foi maior que 20%, em comparação com um sistema fotovoltaico fixo.

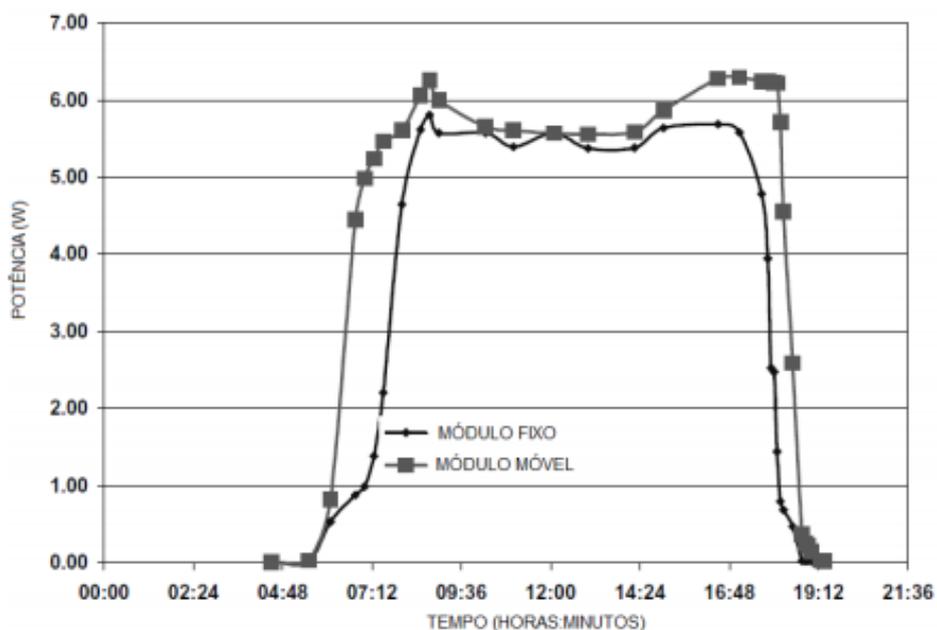


Gráfico 1. Comparação entre os sistemas fotovoltaicos fixos e móveis. (AL-MOHAMAD, 2004)

Em outro estudo, realizado por Huang e Sun (2007), utilizou-se um seguidor solar que consistia em movimento de um eixo para três posições fixas durante o dia, sendo assim, um ângulo para cada um dos períodos: manhã, tarde e noite. Foram utilizados então dois sensores de luz com uma barreira vertical de sombra para guiar o movimento do motor. Após encontrar os ângulos mais adequados, os autores encontraram um ganho de 24,5% de geração de energia se comparado com um modelo de painel fotovoltaico fixo.

Utilizando um novo sistema de seguidor solar em um eixo, o estudo realizado por Sefa, Demirtas e Çolak (2009) desenvolveu um sistema baseado na posição do sol, que era informada por um programa de computador, passando pelo micro controlador e movendo o motor para otimizar a geração de energia. Quando testado na Turquia, uma configuração com 2.500 W de potência total e 3.500 kg de massa total demonstrou uma performance com ganhos de 45% de energia produzida em relação ao sistema fixo.

No estudo realizado por Lazaroiu et al. (2015), foram utilizados dois protótipos de painéis fotovoltaicos, sendo um fixo e um com seguidor solar em um eixo. O design utilizado foi escolhido após uma pesquisa, visando a maior produção e o menor gasto de energia com a movimentação do seguidor. O estudo foi realizado por 30 dias, e os resultados experimentais indicaram um aumento de 12 a 20% da produção de energia do sistema com seguidor solar em relação ao sistema fixo. Para os dias de céu claro, os resultados foram consistentes e eficientes. Porém, para dias parcialmente claros e

nublados, os autores indicam maiores estudos para melhorar a eficiência do seguidor solar.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo, serão descritos os materiais utilizados na montagem do seguidor solar, bem como os métodos utilizados na coleta e análise dos dados.

O protótipo do seguidor solar foi desenvolvido com uma estrutura em de tubos de PVC, sustentando um painel fotovoltaico em um eixo inclinado. Conectado ao eixo está um braço de alavanca movimentado por uma barra rosqueada e um motor elétrico. Todo o controle do movimentador é feito por uma placa Arduino Uno. A captação dos dados é feita por um a placa Arduino Mega que transmite os dados para um computador conectado ao sistema. As baterias e o inversor de carga não foram conectados aos coletores solares, sendo utilizados exclusivamente para alimentação do motor, dos circuitos elétricos e computador.

A coleta dos dados foi realizada por um controlador Arduino Mega com utilização de circuitos eletrônicos funcionando como voltímetros conectados ao painel fixo e também ao seguidor solar.

Os materiais utilizados na construção do sistema estão listados e detalhados a seguir:

- Dois painéis fotovoltaicos Solarex de 70 W;
- Duas baterias estacionárias Heliar DF2500;
- Um inversor de carga Prowatt 800;
- Uma placa controladora Arduino Uno R3;
- Uma placa controladora Arduino Mega 2560;
- Um circuito integrado de Ponte H L298;
- Dois circuitos divisores de tensão com resistores;
- Um motor de vidro elétrico automotivo 12 V CC;
- Duas *protoboards* e fios de conexão eletrônica;
- Canos e conexões em PVC 50 mm;
- Dois rolamentos e mancais;
- Uma barra rosqueada e porcas $\frac{3}{4}$;
- Cabos de rede elétrica.

3.1 - Painéis Fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos utilizados são da marca Solarex com potência máxima de 70 Watts cada, tensão de pico de 20,9 Volts e corrente de pico 4,8 Amperes. Os painéis utilizados não são novos e poderiam apresentar diferenças nas tensões de geração. Para garantir que ambos os painéis utilizados no trabalho apresentassem as mesmas características e potencial de geração, um teste foi realizado. Assim, foram selecionados dois painéis que quando expostos as mesmas condições de luminosidade apresentaram exatamente a mesma tensão de saída. A imagem 3 apresenta os painéis utilizados neste estudo.



Imagem 3 – Painéis Fotovoltaicos. Fonte: O autor.

3.2 - Baterias Estacionaria Heliar Df2500

Para alimentar o motor, o circuito elétrico e o inversor de carga, foram utilizadas duas baterias estacionária da marca Heliar DR2500, cada uma com capacidade de 150Ah.

A imagem 4 apresenta o modelo de baterias utilizado no estudo.



Imagem 4 – Bateria estacionaria. Fonte: O autor.

3.3 - Inversor De Carga Prowatt 800

Um inversor de carga Prowatt 800 foi utilizado para converter a tensão de 24 V CC das duas baterias ligadas em série, para 110 V AC, possibilitando manter o computador ligado durante aproximadamente 12 horas do teste. Na imagem 5 é possível visualizar o inversor de carga utilizado.



Imagem 5- Inversor de carga. Fonte: O autor.

3.4 - Arduino Uno R3 E Arduino Mega 2560

No estudo foram utilizadas duas placas controladoras. A Arduino UNO controla o motor e conseqüentemente, o giro do painel móvel sobre o eixo inclinado. A Arduino Mega 2560 é utilizada para leitura e armazenamento dos dados de tensão de ambos painéis fotovoltaicos durante o período do dia.

Arduino é uma ferramenta que possibilita a interação direta entre o meio físico e cibernético, através de sensores que captam os fenômenos físicos e de equipamentos como motores, bombas e luzes, que respondem aos estímulos dos sensores, obedecendo a uma lógica pré-programada no seu CPU. O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto, baseado na flexibilidade e na facilidade de uso do hardware e software. Por isso, é destinado a qualquer pessoa que esteja interessada em criar formas de interação com objetos ou o ambiente.

Em termos práticos, um Arduino é um pequeno computador que pode ser programado para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes que estejam conectados a ele externamente (MCROBERTS, 2011). Para tanto, pode ser utilizado para o desenvolvimento de objetos interativos de formas independentes ou pode estar conectado a um computador, a uma rede local ou, ainda, à Internet (BRIDI, et al, 2013).

A plataforma pode interagir com o ambiente por meio de hardware e software, pois permite a conexão com dispositivos que capturam dados do ambiente ou que podem ser controlados, como sensores de temperatura, luminosidade, distância, pressão, umidade entre outros, motores, receptores GPS, LEDs, botões, interruptores, módulos Ethernet e displays (BRIDI et al, 2013).

Como o Arduino possui código aberto, qualquer pessoa pode utilizar os esquemas ou o projeto. O software utilizado para escrita do código, o IDE, é disponibilizado pela equipe desenvolvedora do projeto Arduino disponível em seu endereço eletrônico. A programação do Arduino é feita utilizando o IDE (Integrated Development Environment, ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado), no qual o usuário escreve o código na linguagem que o Arduino compreende baseada na linguagem C/C++ (BRIDI, et al, 2013). Os Arduinos utilizados neste estudo podem ser vistos na Imagem 6.

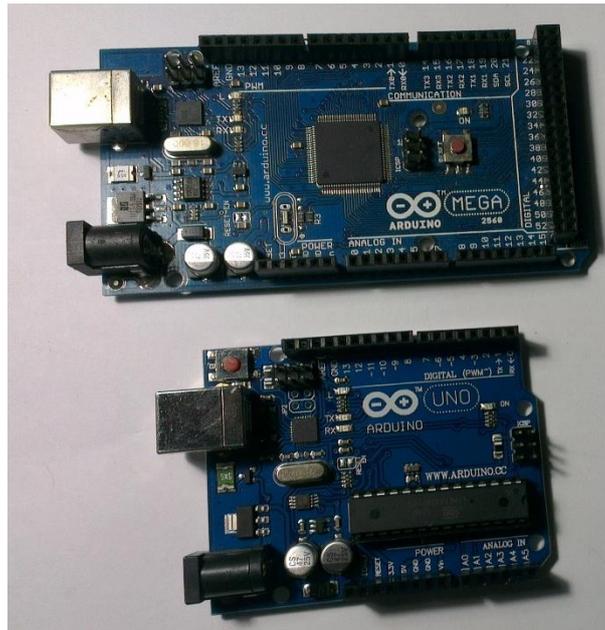


Imagem 6 - Arduino Uno e Arduino Mega. Fonte: O autor.

3.5 - Circuito Integrado De Ponte H L298

O circuito integrado Ponte H L298 foi utilizado para possibilitar a inversão de lado de rotação do motor de vidro elétrico, possibilitando o controle de giro do painel fotovoltaico tanto no sentido horário como anti-horário. Pode ser visualizado na imagem 7.

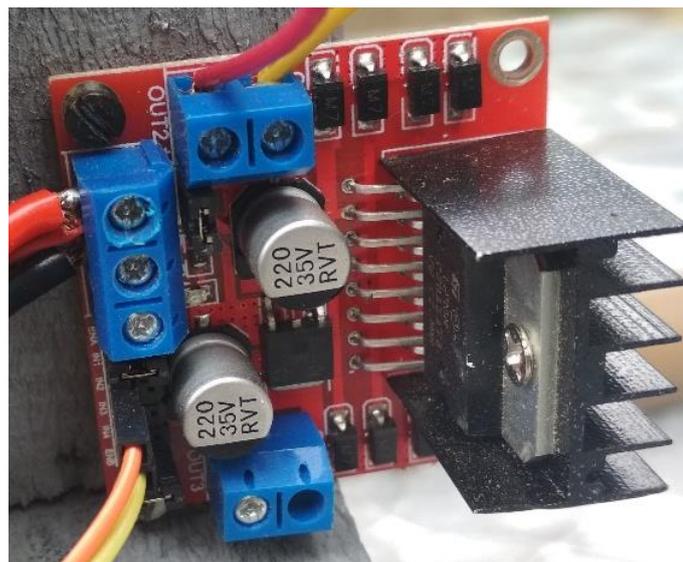


Imagem 7 – Ponte H L298. Fonte: O autor.

3.6 -Circuito Divisor De Tensão, Protoboards E Cabos De Conexão

Os circuitos divisores de tensão podem ser considerados uma peça chave para a obtenção de dados deste estudo. Tais circuitos foram utilizados para redução da tensão dos painéis fotovoltaicos de 20,9 V para 5 V, que é a tensão máxima de trabalho do controlador Arduino. Eles também fornecem uma resistência fixa entre os polos positivos e negativos dos painéis fotovoltaicos, proporcionando assim um parâmetro para cálculo das potências de cada sistema, uma vez que existe uma relação direta entre tensão (V), resistência (R), corrente (I) e potência elétrica (P), expressada nas equações 2 e 3.

$$V = IR \quad 2.$$

$$P = V \cdot I \quad 3.$$

A Imagem 8 contém o sistema eletrônico montado para realizar a coleta dos dados. Nela é possível visualizar o circuito divisor de tensão, a placa Arduino Mega, uma bateria, uma protoboard e cabos de conexão eletrônica.

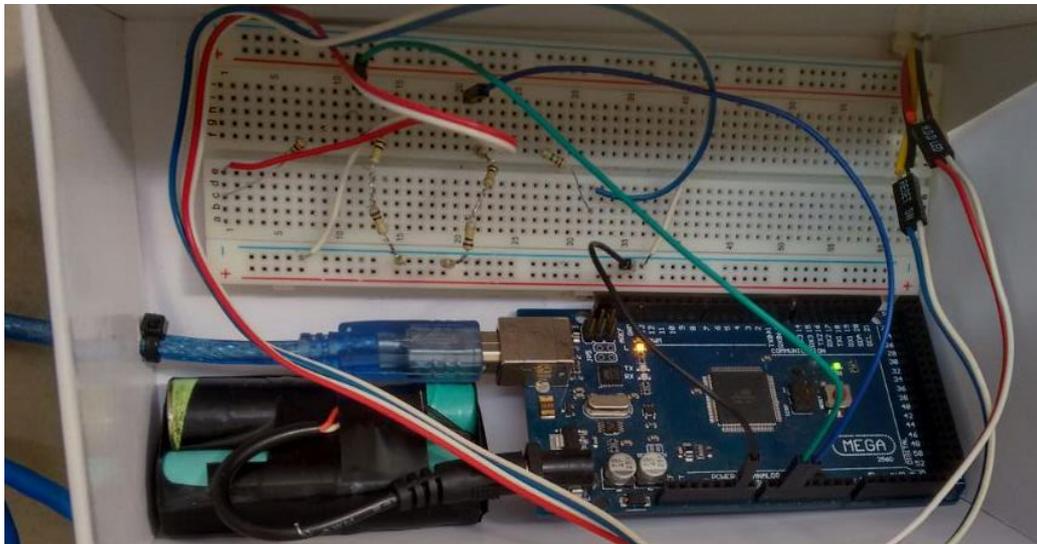


Imagem 8 – Circuito de coleta de dados. Fonte: O autor.

A imagem 9 contém o sistema eletrônico montado para realizar o controle do motor do painel fotovoltaico móvel. Nela é possível visualizar a Arduino Uno, uma *protoboard* com circuito de alimentação e cabos de conexão.

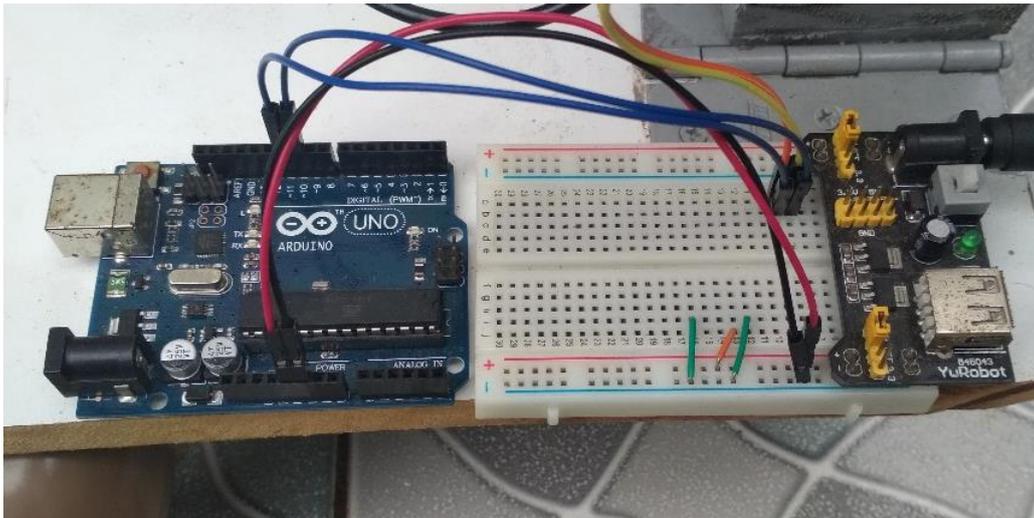


Imagem 9 – Circuito controlador de movimento do sistema móvel. Fonte: O autor.

3.7 - Motor De Vidro Elétrico Automotivo 12 V CC

Para o controle da rotação do painel fotovoltaico, foi utilizado um motor de 12 V de corrente contínua com potência de 17 W. A Imagem 10 apresenta o motor utilizado para movimentar o seguidor solar.

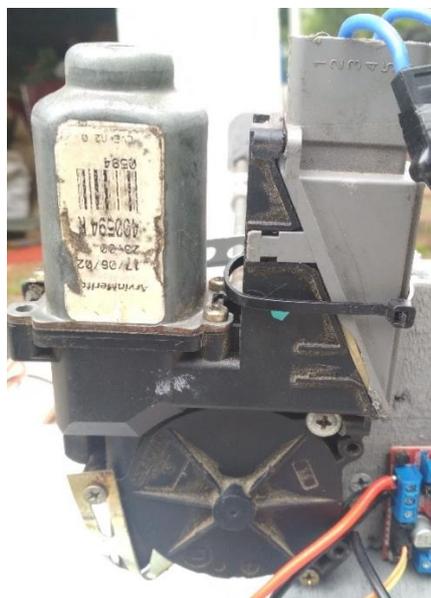


Imagem 10 – Motor 12 V CC. Fonte: O autor.

3.8 - Estrutura Do Seguidor Solar

Na montagem da estrutura do painel seguidor solar, foram utilizados canos e conexões em PVC de 50 mm, peças metálicas, madeira e rolamentos, dentre outros materiais. A estrutura foi desenvolvida para manter o painel fotovoltaico a um ângulo de 34° com a superfície. Este ângulo foi predefinido de acordo com a declinação solar para o mês de outubro nesta localidade. A estrutura permite que a face do painel fotovoltaico se mantenha sempre direcionada para a posição do Sol. Pode-se visualizar a estrutura na imagem 11.



(a)

(b)

Imagem 11(a) e 11(b) – Estrutura do seguidor solar. Fonte: O autor.

Para realização do giro da estrutura, foi desenvolvido um sistema com um braço de alavanca acoplado ao eixo de rotação localizado no centro longitudinal do painel. Este braço de alavanca é direcionado por uma barra rosqueada acoplada ao motor 12V. Quando o motor está ligado, o sistema produz uma rotação no painel de 1° a cada 5 segundos, ou seja, 0,033 rotações por minuto (RPM). Desta maneira, foi possível alcançar

uma boa precisão no ângulo rotacional do painel, e também um travamento da estrutura quando o motor está desligado.

A estrutura para sustentação do painel fotovoltaico foi montada com armação em alumínio e pontas de eixo de ferro ligadas a dois rolamentos e mancais de madeira acoplados a uma conexão de PVC. Essa montagem proporcionou uma estrutura relativamente resistente para a realização dos testes e com pouco atrito.

O sistema de movimentação da estrutura pode ser visualizado na imagem 12.

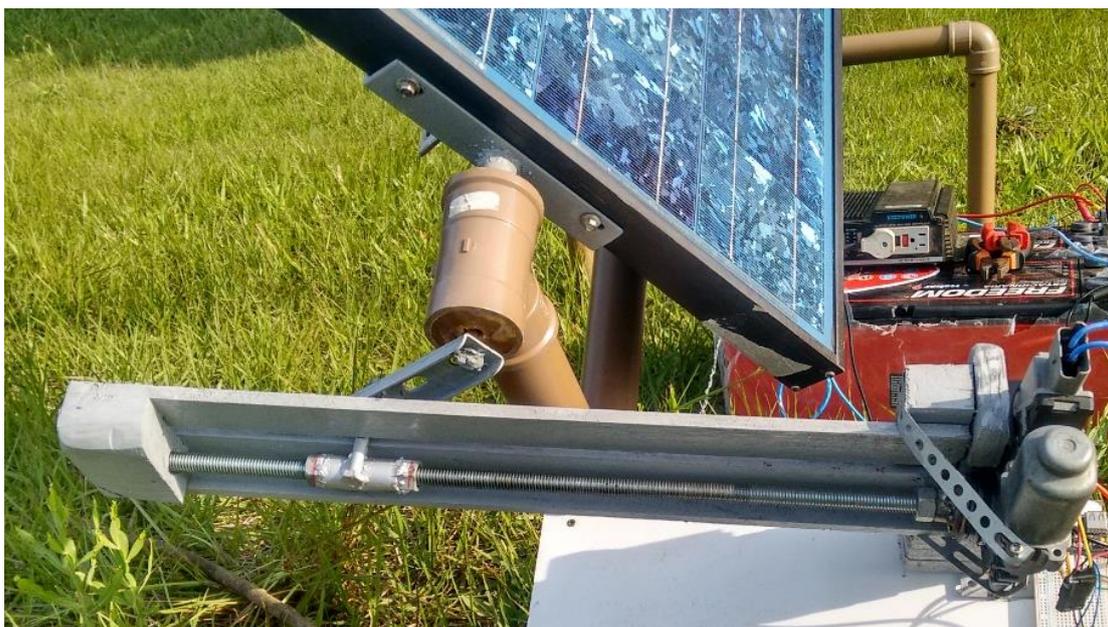


Imagem 12 – Mecanismo de movimentação por barra rosqueada. Fonte: O autor.

3.9 – Experimento

Para controle do posicionamento do painel seguidor solar no dia dos testes, optou-se por utilizar um comando de temporização. O temporizador foi criado através da controladora Arduino Uno (programação em anexos), levando-se em consideração o tempo de rotação da terra e o ângulo de incidência solar. Com esses parâmetros, foi possível determinar o tempo exato que o motor precisaria ficar ligado e tempo de intervalo para cada rotação. Com isso, o sistema foi programado para realizar um giro de 5° na estrutura a cada 20 minutos, realizando assim 18 movimentações durante o dia. A primeira movimentação do sistema ocorreu às 10h e a última às 16h30min. Desta maneira, a face do painel fotovoltaico permaneceu em um ângulo ortogonal aos raios solares durante a maior parte do dia.

O teste foi realizado no dia 10 de outubro de 2017. No dia do teste prevalecia o horário de verão, por esse motivo o meio-dia solar ocorreu por volta das 13h. Na imagem a seguir é possível visualizar a movimentação do seguidor solar durante o período de testes. A imagem 13 (a) é uma fotografia tirada por volta das 11h, a fotografia da imagem 13 (b) foi tirada às 13h, ao meio-dia solar, e a fotografia da direita, imagem 13 (c) foi tirada às 16h. O painel fixo foi mantido sempre na mesma posição.



(a) 11:00h

(b) 13:00h

(c) 16:00h

Imagens 13(a) 13(b) e 13(c) – Fotografias do teste em diferentes horários do dia. Fonte:

O autor.

Os dados para a realização da análise de variação de potência pelo tempo de exposição solar para os sistemas de painéis fotovoltaicos fixo e com seguidor solar, foram obtidos através da interação entre os painéis fotovoltaicos, um circuito eletrônico, uma controladora Arduino Mega e um computador (programação em anexos).

Primeiramente, o circuito eletrônico montado com base em um divisor de tensão transforma os valores de tensão gerados pelos painéis fotovoltaicos em valores possíveis de serem processados pela controladora Arduino Mega. Através do software PLX-DAQ a controladora repassa as informações em tempo real para um computador conectado ao sistema. Por fim, os dados são armazenados em planilhas, proporcionando assim uma análise gráfica dos resultados.

Os valores de tensão foram coletados do nascer ao pôr do sol, do dia 10 de outubro de 2017, somando um total de 13 horas e 15 minutos, com uma frequência de coletas a

cada 2 segundos, gerando assim cerca de 22.000 valores de tensão para cada um dos sistemas, podendo ser considerado um número significativo de dados para a análise.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de cada um dos painéis fotovoltaicos são apresentados a seguir. O gráfico 2 apresenta a curva da variação da tensão pelo tempo no painel fixo. Percebemos que neste sistema a tensão se eleva lentamente até alcançar o nível máximo de geração energética por volta das 09h. A tensão se mantém praticamente constante, até que começa a diminuir por volta das 17h45min, seguindo em queda até cessar a geração de energia à 19h45min. A duração de máxima geração é de aproximadamente 8 horas e 45 minutos.

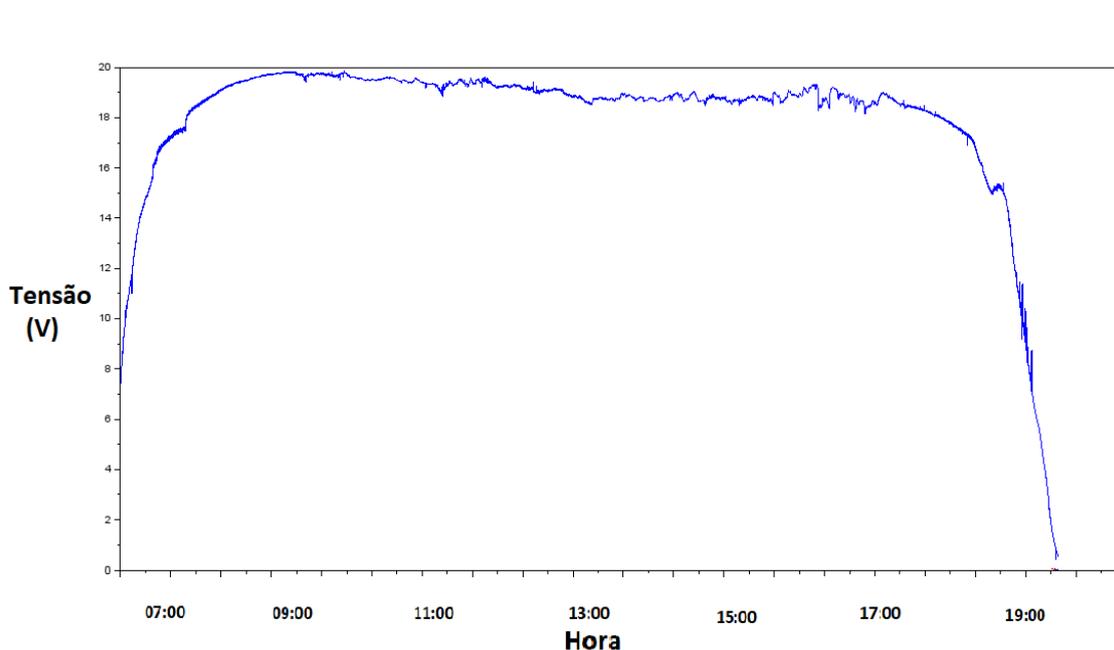


Gráfico 2 – Variação da tensão no painel fixo ao longo do dia.

No gráfico 3 é apresentada a curva da variação da tensão pelo tempo na placa seguidora solar. Neste sistema é possível perceber que a máxima geração de energia do painel ocorre mais cedo, por volta das 07h, logo após o nascer do sol. A tensão se mantém praticamente constante, até que por volta das 19h15min inicia a diminuição de geração de energia. Percebe-se tanto uma elevação quanto um decaimento de geração mais abrupto quando comparada com o painel fixo. Com esse sistema, alcançou-se uma duração de máxima geração de aproximadamente 12 horas e 15 minutos.

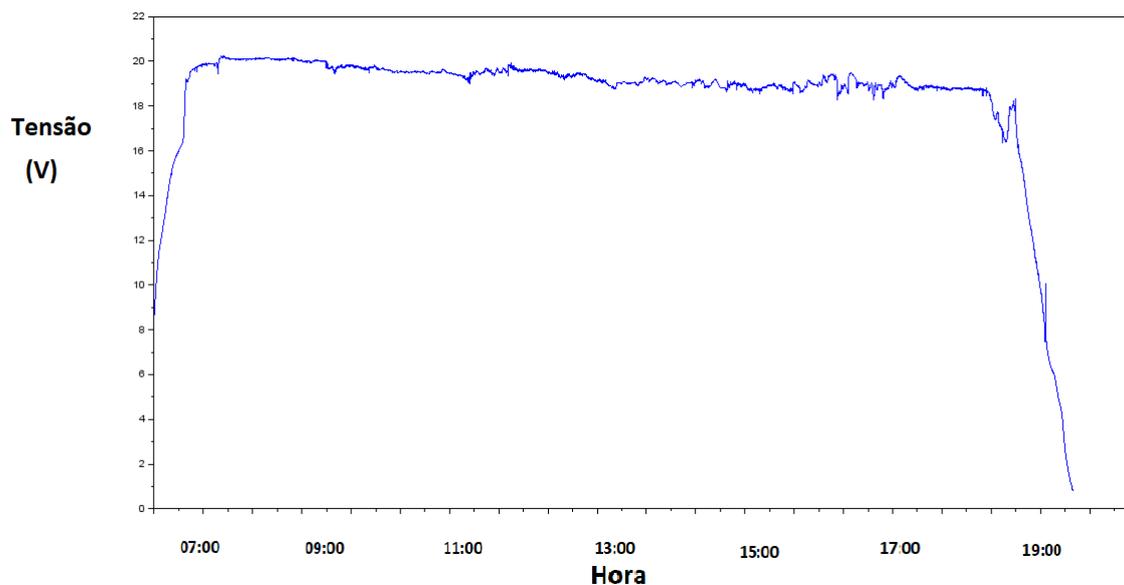


Gráfico 3- Variação da tensão no painel seguidor solar durante o dia.

A partir dos valores de tensão para cada intervalo de coletas, foi possível identificar a variação da corrente elétrica e conseqüentemente, a variação da potência gerada em cada um dos sistemas fotovoltaicos, em unidade de Watts. Para a determinação da potência, foi multiplicada a tensão obtida nos painéis pela corrente que passou pelo circuito divisor de tensão. A resistência total existente em cada um dos circuitos divisores de tensão foi definida como 1310 Ohms. Optou-se por esse valor de resistência elevada para garantir a integridade do arduino Mega, evitando assim a passagem de uma corrente elevada pela controladora.

A corrente é diretamente dependente da tensão e da resistência, e como a resistência nos circuitos é elevada, a escala de potência ficou reduzida, limitando-se a corrente que passa pelo circuito desenvolvido, mas sendo representativa para qualquer valor de carga empregada nos sistemas fotovoltaicos.

No gráfico 4 é possível verificar a comparação dos resultados obtidos. Na linha vermelha, pode-se verificar a variação da potência durante o período de insolação para o sistema fixo. Já na linha azul, pode-se verificar a variação da potência no sistema móvel. É possível identificar que o sistema móvel teve maior eficiência de geração de energia, em comparação com o sistema fixo, principalmente nos extremos do gráfico, nas primeiras e nas últimas horas de insolação diária. Também percebe-se um leve aumento da eficiência em torno do meio-dia solar.

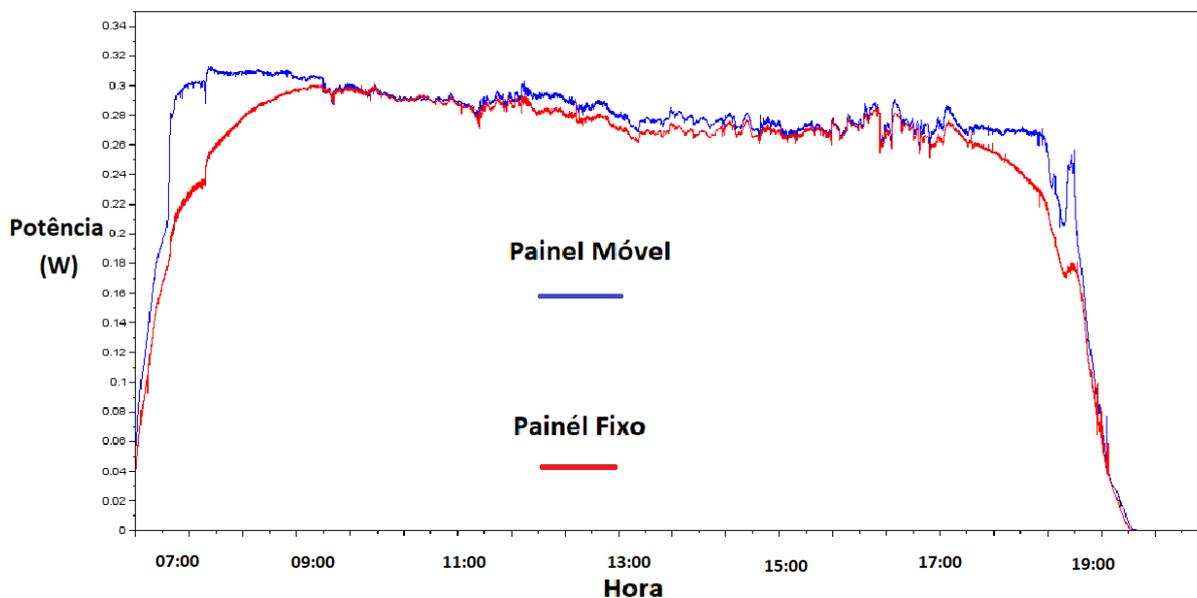


Gráfico 4 – Potência gerada pelos painéis durante o dia.

Em alguns períodos do dia, o painel tracker teve um ganho de eficiência que resultou em até 30% mais energia gerada que o painel fixo. Esse máximo pode ser observado logo após às 07h e também um pouco antes das 19h. Durante o período das 11h30min até aproximadamente 14h30min, o ganho de eficiência foi em torno 3%. Percebe-se que em, em alguns períodos do dia, a geração foi praticamente a mesma em ambos os painéis fotovoltaicos, como pode ser observado por volta das 10h e também das 16h.

Pode-se identificar que a geração de ambos os painéis é máxima durante o período da manhã e tende a diminuir gradativamente com passar do tempo. Esse fato pode ser explicado pelo aumento da temperatura dos painéis. Segundo CANTOR (2017) existe uma relação direta entre aumento da temperatura dos painéis fotovoltaicos com a redução da corrente respectivamente. Consequentemente, quanto maior for o tempo de exposição solar, maior será a temperatura dos painéis e menor será sua eficiência de geração.

É possível identificar uma grande variação de geração de energia aproximadamente às 18h50min, com uma queda de tensão em ambos os sistemas, mas mais acentuada no seguidor solar. Essa descontinuação de potência aconteceu em decorrência de um sombreamento nos painéis causado por uma árvore localizada a Oeste do local de estudo, atingindo principalmente o painel móvel.

Através de uma diferenciação entre as potências dos dois sistemas, é possível identificar de forma mais clara o aumento de potência do sistema de painel seguidor solar, principalmente nos períodos de nascer e pôr do sol, ou seja, nos momentos em que o ângulo do sistema fixo está mais defasado em relação ao ângulo solar.

No gráfico 5 é apresentado a diferença de potência gerada entre os dois sistemas durante o período de insolação.

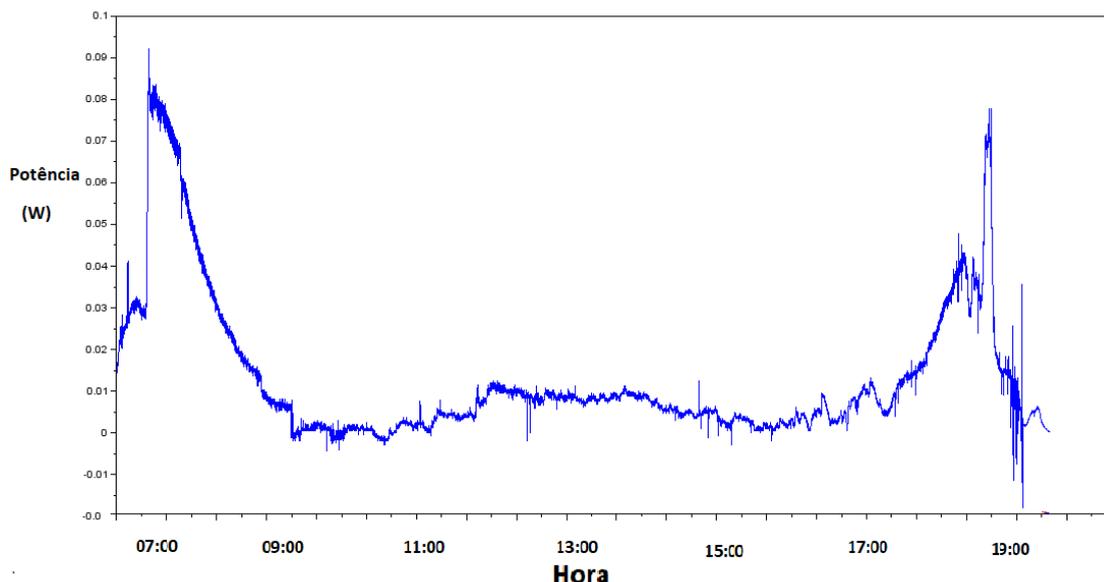


Gráfico 5 – Diferença de potência gerada entre o sistema fixo e o seguidor solar.

O sistema de automação desenvolvido para movimentação do painel foi programado para realizar movimentações na estrutura a cada intervalo de 20 minutos mantendo o motor ligado por 6 segundos a cada intervalo. Desta maneira o mecanismo ficou ligado durante o dia por um período total de aproximadamente 2 minutos. Sendo que o motor possui potencia de 17 Watts e restante do circuito elétrico consome 3 Watts todo o mecanismo de movimentação consome um total de 20 Watts. Levando em consideração o tempo em que permanece ligado durante o dia e assumindo que funcione durante 30 dias, o gasto energético total durante um mês para realização do movimento mantando o painel sempre voltado para o Sol é de 0,02 kWh/mês.

Cada painel utilizado no teste possui potência de 70 Watts, assumindo que o painel forneça essa energia durante um período de 10 horas por dia, durante 30 dias, em um mês ele fornece 21 kWh/mês. Desta maneira é possível quantificar a quantidade de energia gasta para realizar a movimentação do painel em comparação com a energia produzida.

Sendo que o sistema de movimentação testado consome 0,095% da energia teórica total produzida por um painel fotovoltaico de 70 watts durante um mês.

5 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos é possível concluir que um sistema de painéis solares tracker seguidor solar pode ser uma boa opção nos casos em que seja necessário uma otimização do sistema. O aumento da eficiência será mais significativo em localidades onde o Sol incida sobre os painéis durante todo o período do dia, desde o amanhecer até o entardecer, pois os maiores ganhos em captação da energia solar ocorre nesses extremos do dia. Podendo não ser viável em locais onde ocorra sombreamento dos painéis.

Os ganhos de eficiência podem ser considerados significativos chegando a alcançar até 30% em alguns períodos do dia. É de extrema importância neste tipo de sistema a relação de consumo energético para movimentação do painel com o aumento de eficiência gerado pelo mecanismo. Neste estudo verificou-se que a aplicação de um sistema tracker solar pode ser viável pois o consumo de energia para movimentação é baixo, sendo 0,095% da energia total gerada por um painel fotovoltaico de 70 Watts, nesse tipo de seguidor solar.

Em estudos futuros pode ser analisado mais a fundo a relação de aquecimento dos painéis solares com a variação de corrente elétrica gerada pelos sistemas Tracker. Bem como uma análise quantitativa da relação entre consumo energético e aumento de potência desse tipo de seguidor solar.

6 - ANEXOS

6.1 - Código de programação do sistema de coleta de dados em Arduino.

```

float Placa_1 = A1;// variavel que define a porta do potenciometro.
float Placa_2 = A2;
int linha = 0;      // variavel que se refere as linhas do excel
int LABEL = 1;
int valor_1 = 0;      // variavel que guarda o valor lido do potenciometro
int valor_2 = 0;
int Tensao_1 = 0;
int Tensao_2 = 0;
void setup(){
  Serial.begin(9600);      // inicialização da comunicação serial
  Serial.println("CLEARDATA");      // Reset da comunicação serial
  Serial.println("LABEL,Hora,valor_1,valor_2,linha"); // Nomeia as colunas
}

void loop(){

  valor_1 = analogRead(Placa_1); // faz a leitura do voltmetro e guarda o valor.
  valor_2 = analogRead(Placa_2);
  linha++; // incrementa a linha do excel para que a leitura pule de linha em linha

  Tensao_1 = map(valor_1,0,1023,0,2200); //
  Tensao_2 = map(valor_2,0,1023,0,2200);

  Serial.print("DATA,TIME,"); //inicia a impressão de dados, sempre iniciando
  Serial.print(Tensao_1*0.94375);
  Serial.print(",");
  Serial.print(Tensao_2*0.94375);//coeficiente definido atraves de testes, quando a tensão de
  entrada no divisor de tensão é= 1600 mV o valor identificado no arduino é de 1690 mV tendo uma
  porcentagem de erro de 0.05625... logo (1- 0.05625) = 0.94375
  Serial.print(",");
  Serial.println(linha);

  if (linha > 26000) //laço para limitar a quantidade de dados armazenados na planilha.
  {
    linha = 0;
    Serial.println("ROW,SET,2"); // alimentação das linhas com os dados sempre iniciando em 0.
  }
  delay(2000); // tempo para cada coleta de dados = 2 segundos
}

```

6.2 Código programação do temporizador em Arduino.

```
int IN1 = 10;
int IN2 = 11;

void setup()
{
  //Define os pinos como saída
  pinMode(IN1, OUTPUT); // saídas para controlar a ponte H
  pinMode(IN2, OUTPUT); // saídas para controlar a ponte H
  pinMode(FN_1, INPUT);
  pinMode(FN_2, INPUT); // entrada de sinal para o final de curso
}
void loop()
{
  //Gira o Motor no sentido anti horario
  digitalWrite(IN1, LOW);
  digitalWrite(IN2, HIGH);
  delay(6000); // motor acionado por 6 segundos

  //Para o motor
  digitalWrite(IN1, HIGH);
  digitalWrite(IN2, HIGH);
  delay(1200000); // 20 minutos = 1200000 milisegundos

  //Gira o Motor no sentido horario
  //digitalWrite(IN1, HIGH); //retorna o painel para o leste
  //digitalWrite(IN2, LOW);
  //delay(20000); // definir o tempo para retorno

  //Para o motor
  //digitalWrite(IN1, HIGH);
  //digitalWrite(IN2, HIGH);
  //delay(43200000); // por 12 horas = 43.200.000 mili segundos
}
```





7 - REFERÊNCIAS

AL-MOHAMAD, A. Efficiency improvements of photo-voltaic panels using a Sun-tracking system. *Applied Energy*, v. 79, n. 3, p. 345–354, 2004.

AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. Disponível em <http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/1378539487>. Acesso em outubro de 2017.

ARRUDA, L.B. Operação de sistemas de aquecimento solar de água com controle de vazões em coletores planos. 2004. 230 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

BISSOCHI, F.; LAMOUNIER, E.; CARDOSO, A. ALBUQUERQUE, F. L. DE. Utilizando Técnicas de Realidade Virtual Para o Estudo da Conversão de Energia Solar em Energia Elétrica. 18 mar 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Alexandre_Cardoso2/publication/265982067_Utilizando_Tcnicas_de_Realidade_Virtual_Para_o_Estudo_da_Converso_de_Energia_Solar_em_Energi_a_Eltrica/links/5587d67b08ae7bc2f44d5fbc.pdf. Acesso em mar 2016.

BRIDI, E.et al. Oficina De Arduíno Como Ferramenta Interdisciplinar No Curso De Engenharia Elétrica Da Ufmt: A Experiência Do Pet-Elétrica. Disponível em: <http://www.ufmt.br/ufmt/site/userfiles/eventos/33c3ac5396238d7ddadcba87c9aac4d.pdf>. Acesso em: abril de 2016.

CANTOR, GUILLERMO ANDRÉS RODRIGUEZ. Nome inteiro?? Influência dos fatores Climáticos no desempenho de módulos fotovoltaicos em Regioes de Clima Tropical, 2017. Disponível em < http://www.cear.ufpb.br/arquivos/ppger/documentos/versao_final_Guillermo.pdf > Acesso em outubro de 2017.

- COPPE, Efeito Fotovoltaico. Efeito fotovoltaico . 1. Disponível em: <<http://www.solar.coppe.ufrj.br/efeito/index.htm>>. Acesso em: 19 nov. 2017.
- +
- CORTEZ, Ramiro José Monteiro. Sistema de Seguimento Solar em Produção de Energia Fotovoltaica. 2013. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de Porto, Porto, 2013.
- CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. Energia Solar – Princípios e Aplicações, 2006.
- DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W.A. Solar engineering of thermal processes. 2 Ed. New York: John Wiley & Sons, 1991.
- EBC – AGENCIA BRASIL EBC. Disponível em; <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2017-07/energia-solar-fotovoltaica-pode-crescer-mais-de-300-ate-o-fim-do-ano-diz> Acesso em outubro de 2017.
- GIL, Francisco J. Gómez et al. A review of solar tracker patents in Spain. In: WSEAS INTERNATIONAL CONFERENCE ON RENEWABLE ENERGY SOURCES, 3., 2009, Tenerife-Espanha, p. 292–297.
- Guia Técnico. Energia fotovoltaica: manual sobre tecnologias, projeto e instalação. Jan 2014. Disponível em: <http://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>. Acesso em: mar 2016.
- PORTALSOLAR Disponível em <<http://www.portalsolar.com.br/tudo-sobre-a-eficiencia-do-painel-solar.html>> Acesso em outubro de 2017.
- HUANG, B. J.; SUN, F. S. Feasibility study of one axis three positions tracking solar PV with low concentration ratio reflector. Energy Conversion and Management, v. 48, n. 4, p. 1273–1280, 2007.
- Koltun, M. M., “History of solar cell development in the Soviet space program and the terrestrial potential for this technology”, Solar Energy Materials and Solar cells 44 (1996)
- LI, Z.; LIU, X.; TANG, R. Optical performance of vertical single-axis tracked solar panels. Renewable Energy, v. 36, n. 1, p. 64–68, 2011.
- LAZAROIU, G. C. et al. Comparative analysis of fixed and sun tracking low power PV systems considering energy consumption. Energy Conversion and Management, v. 92, p. 143–148, 2015.
- LIMA, J.B.A. Otimização de sistema de aquecimento solar de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa TRNSYS. 2003. 123p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- MCROBERTS, Michael. Arduino Básico. [tradução Rafael Zanolli]. – São Paulo: Novatec Editora, 2011. 22 - 24 p.
- MOUSAZADEH, H. et al. A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 13, n. 8, p. 1800–1818, 2009.
- NASCIMENTO, C. A DO. Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica. Monografia. Lavras-MG. 2004. Disponível em: http://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf. Acesso em: mar 2016.
- OLIVEIRA FILHO, K.S.; SARAIVA, M.F.O. O Sol: a nossa estrela. Porto Alegre: Departamento de Astronomia do Instituto de Física da UFRGS, 2005. Disponível em: . Acesso em: abr. 2016.
- PLX-DAQ, PARALAX disponível em < <https://www.parallax.com/downloads/plx-daq> > Acesso em outubro de 2017.
- PRADO, R.T.A.; ARRUDA, L.B.; FILHO, A.M. de B.; TABORIANSKI, V.M.; KAWAKITA, C.Y. & ARANTES, L.O. Levantamento do estado da arte: Energia solar. São Paulo, 2007.
- SEFA, I.; DEMIRTAS, M.; ÇOLAK, I. Application of one-axis sun tracking system. Energy Conversion and Management, v. 50, n. 11, p. 2709–2718, 2009.

TIBA,C. et al. Atlas solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestres. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2000.

Willeke, G. P., “The crystalline silicon solar cell: history, achievements and perspectives”, Proceedings 19th EPVSEC (2004).