

ETEC EURO ALBINO DE SOUZA
ENSINO MÉDIO COM HABILITAÇÃO PROFISSIONAL DE TÉCNICO
EM ELETRÔNICA

RENAN CALDANA DE MORAES
GABRIEL DUQUE FERREIRA
DAVI FRANCISCO
EDUARDO FRANCO SECO
FERNANDO HENRIQUE DOS REIS

PROJETO DE SEGUIDOR SOLAR ELETRÔNICO

MOGI GUAÇU - SP
2022

RENAN CALDANA DE MORAES
GABRIEL DUQUE FERREIRA
DAVI FRANCISCO
EDUARDO FRANCO SECO
FERNANDO HENRIQUE DOS REIS

PROJETO DE SEGUIDOR SOLAR ELETRÔNICO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Etec Euro Albino de Souza,
do Centro Estadual de Educação
Tecnológica Paula Souza, como requisito
para a obtenção do diploma de Ensino
Médio com Habilitação Profissional de
Técnico em Eletrônica sob a orientação do
Professor Diogo Pedriali.

MOGI GUAÇU - SP
2022

F383p Ferreira, Gabriel Duque; Francisco, Davi; Moraes, Renan Caldana de;
Reis, Fernando Henrique dos; Seco, Eduardo Franco.

Projeto de Seguidor Solar Eletrônico / – Mogi Guaçu/SP, 2022.

46 p.

Trabalho de Conclusão do Curso de Ensino Médio com Habilitação
Profissional de Técnico em Eletrônica da ETEC Auro Albino de Souza
de Mogi Guaçu.

Orientador: Professor Mestre Diogo Pedriali

I. Placa Solar. II. Seguidor Solar. III. Eficiência Energética IV. Energia.

CDD: 333.792 3

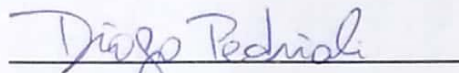
GABRIEL DUQUE FERREIRA
DAVI FRANCISCO
RENAN CALDANA DE MORAES
FERNANDO HENRIQUE DOS REIS
EDUARDO FRANCO SECO

PROJETO DE SEGUIDOR SOLAR ELETRÔNICO

Avaliada em: 23/11/2022

Conceito: B

Banca de Validação:



Presidente da Banca

Professor Orientador Diogo Pedriali



Professor Deibson Xavier



Professor João Marcelo Gonçalves da Silva

MOGI GUAÇU – SP
2022

Dedicatória

Dedicado aos integrantes do projeto, aos familiares dos mesmos. e especialmente ao nosso querido professor Diogo Pedriali.

Agradecimento

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso fosse possível. À esta instituição de ensino, seu corpo docente, direção e administração. Quero agradecer a todos os professores, especialmente ao nosso orientador do TCC, prof. Diogo Pedriali. Obrigado por me exigir mais do que eu acreditava que seria capaz de realizar. Declaro aqui minha eterna gratidão pelo compartilhamento de seu conhecimento e tempo. A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação, o nosso eterno obrigado.

Epígrafe

“O futuro é energia verde, sustentável e renovável.”

Arnold Schwarzenegger

RESUMO

A tecnologia fotovoltaica preenche a lacuna da necessidade crescente de métodos de geração de energia limpa e sustentável que não degrade o meio ambiente. Com a evolução nesse setor de geração de energia elétrica, a indústria apresenta constante crescimento no desenvolvimento de placas fotovoltaicas com maior eficiência de conversão de luminosidade do sol em energia elétrica em corrente contínua. Assim surgiu a ideia desta pesquisa que visa buscar aumentar a geração de energia elétrica das placas solares com um dispositivo externo denominado seguidor solar, ou sistema *sunflower*. Como o próprio nome dá a entender, possui a função de sempre fazer ajustes a placa solar para que ela esteja na posição mais otimizada para estar exposta aos raios solares o máximo possível e, conseqüentemente, converter o máximo possível de energia solar em energia elétrica para a residência, empresa, ou qualquer lugar que a placa fotovoltaica esteja instalada. Na monografia, o grupo aborda levemente a história dos painéis solares para contextualização, as suas aplicações, e o desenvolvimento e processo de criação de um seguidor solar analógico de baixo custo, desde o estudo da parte mecânica de um sistema de um seguidor solar, ao projeto eletrônico tanto do rastreador solar quanto do controlador de carga solar.

PALAVRAS-CHAVE: Placa Solar. Seguidor Solar. Eficiência Energética. Energia Solar.

ABSTRACT

Photovoltaic technology fills a gap in the growing need for clean and sustainable energy generation methods that do not degrade the environment. With an evolution in this electric power generation sector, the industry is constantly growing in the development of photovoltaic panels with greater efficiency in converting sunlight into electric energy in direct current. Thus, an idea emerged from this research that aims to increase the generation of electrical energy from solar panels with an external device called solar tracker, or sunflower system. As the name implies, it has the function of always adjusting the solar panel so that it is consequently in the most optimized position to be exposed to the sun's rays as much as possible and, converting as much solar energy into electrical energy as possible in a residence, company or anywhere the photovoltaic board is installed. In the monograph, the historical group will lightly address the contextualization of solar panels, such as their applications, the development and the process of creating a low-cost analogic solar tracker, even the study of the part of a system of a solar tracker, to the electronic project of the solar tracker and the solar charge controller.

KEY WORDS: Solar Panel. Solar Seeker. Energy Efficiency. Solar Energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Registro da evolução da eficiência das placas fotovoltaicas ao longo dos anos	16
Figura 2 - Funcionamento das células fotovoltaicas.....	18
Figura 3 - Lâmpada acendendo via micro-ondas	23
Figura 4 - Equação Eficiência painel solar	25
Figura 5- Ilustração do Solar Probe.....	26
Figura 6 - 3D Seguidor solar - frente	27
Figura 7 - 3D Seguidor solar - trás	28
Figura 8 - Circuito elétrico seguidor solar	29
Figura 9 - Circuito teste controlador de carga solar.....	31
Figura 10 - Circuito controlador de carga solar	32
Figura 11 - Imagem das trilhas placa controladora de carga	33
Figura 12 - Processo de remoção do papel couchê	35
Figura 13 - Processo de corrosão da placa de fenolite	36
Figura 14 - Placa física controladora de carga	37
Figura 15 - Protótipo seguidor solar	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Circuito do controlador de carga solar38

Tabela 2 – Seguidor solar39

LISTA DE ABREVIATURAS

DIY	<i>Do It Yourself</i>
eV	Elétrons-volts
I	Ampères
ITO	Indium Tin Oxide
Kg	Quilogramas
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
mAh	Miliampere-hora
mm	Milímetros
PHD	Philosophiae Doctor
PTH	Pin Through Hole
R	Resistência
RPM	Rotação por minuto
μF	Microfarad
UNIBO	University of Bologna
V	Tensão
W	Watt
Wh/m ²	Watt por hora por metro quadrado
3D	Três dimensões

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Contextualização	14
1.1.2. Porque houve um atraso no desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica	15
1.2. Potencial do Brasil.....	17
1.3. Objetivos	17
1.3.1. Objetivos gerais.....	17
1.3.2. Objetivos específicos.....	17
2. DESENVOLVIMENTO	18
2.1. Placas fotovoltaicas.....	18
2.1.1. Teorias sobre o funcionamento de uma placa fotovoltaica.....	19
2.1.2. Outra teoria sugerida.....	22
2.1.3. Placas sensibilizadas a corante	23
2.1.4. Problemas encontrados para a montagem das placas.....	24
1.1.4. Eficiência energética	24
2.2. Seguidor solar	25
2.2.1. Uma forma diferente de fazer um seguidor solar	26
2.2.3. Circuito e diagrama elétrico e processo de pensamento de sintetização do sistema.....	28
2.2.3. Teste inicial com duas placas fotovoltaicas.....	29
2.2.3. Primeiro controlador de carga solar	29
2.2.4. Controlador de carga solar	32
2.2.5. Bateria.....	34
2.2.6. Montagem da placa controladora de carga	34
2.2.7. Dimensionamento e engenharia dos materiais de construção	37
2.2.8. Lista de materiais	38
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
3.1. Resultado do controlador de carga solar.....	41
3.2. Resultado do seguidor solar.....	41
3.3. Sugestão para estudos futuros.....	43
REFERÊNCIAS.....	44

1. INTRODUÇÃO

O sol é uma estrela extremamente importante para a sobrevivência da vida na Terra, e desde os primórdios da humanidade é um elemento venerado pelos humanos e na idade do bronze foi venerado como deus no paganismo grego, egípcio, etc... hoje a humanidade consegue extrair a energia solar graças a tecnologia desenvolvida nos últimos séculos.

1.1. Contextualização

A história dos painéis solares começa em 1839, com a descoberta do efeito fotovoltaico pelo físico francês Alexander Edmond Becquerel, possivelmente também com a ajuda de seu pai que também era físico. De acordo com as informações retiradas do site da Universidade de Bologna – UNIBO (Universidade de *Bologna*):

Esta tecnologia utiliza o efeito fotovoltaico que se baseia nas propriedades de certos materiais semicondutores que podem converter a energia da radiação solar em energia elétrica sem o uso de peças mecânicas móveis e sem o uso de combustível” Bologna (2010).

Em 1892 o irlandês George Minchin produziu placas fotovoltaicas de selênio, mas nessa época essa tecnologia não era utilizada para o mesmo propósito que é utilizada hoje que é o de geração de energia, pois as placas não conseguiam atingir nem 1% de eficiência. Por ter baixa capacidade de geração de energia elétrica nessa época as placas eram utilizadas como um instrumento para medição da luz das estrelas. A comunidade científica da época era cética em relação a tecnologia das placas solares, até a década de 50 onde as equipes de pesquisa da AT&T Bell *Laboratories* e a Rádio Corporation of América desenvolveram uma placa solar de 8% de eficiência. Com as explorações espaciais as células fotovoltaicas receberam mais atenção pois os participantes dos primeiros programas espaciais já sabiam que as missões iriam ser extremamente prejudicadas e restritas caso toda a energia que eles tivessem fossem levadas em baterias, até que em 1958 a *United States Signals Corps*, um comando do exército americano, incentivou a RCA a produzir células fotovoltaicas, mas apesar das células solares já terem sido reconhecidas como de grande utilidade

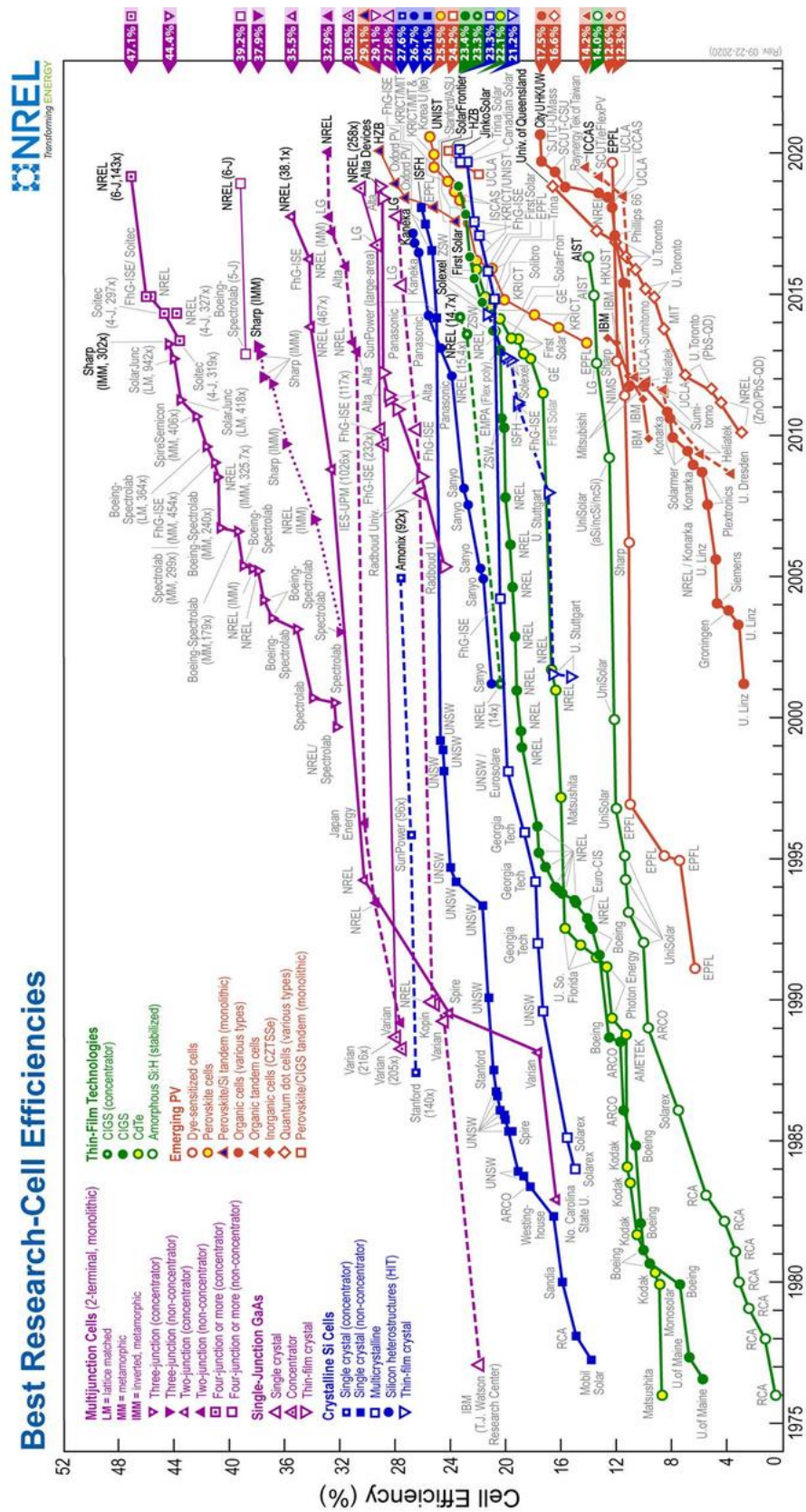
no espaço, em espaço terrestre ainda se tinha muita dúvida se as placas fotovoltaicas seriam utilizadas algum dia em solo terrestre (Philip Wolfe, n.d.).

1.1.2. Porque houve um atraso no desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica

A história do desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica foi atrasada por vários fatores: o século XX foi uma era de grande progresso na tecnologia e pesquisa de semicondutores, com isso os laboratórios preferiam direcionar as pesquisas em diodos, transistores e outros componentes e equipamentos que utilizavam semicondutores do que as células fotovoltaicas, pois diferente das células, esses outros objetos de pesquisa podiam dar resultados imediatos e pontuais. Além disso não se havia incentivo para buscar outras formas de geração de energia, pois os custos de energia eram muito baixos em 1950, sendo mais fácil continuar com o que já era feito na época do que desenvolver uma tecnologia do zero (Philip Wolfe, n.d.).

A partir da crise do petróleo da década de 70 começou a busca incessante de uma fonte de energia inesgotável e renovável, a partir daí as placas solares ganharam ainda mais atenção e as pesquisas aumentam a eficiência da placa solar exponencialmente. Hoje as placas chegam a ter de 16% a 20% de eficiência (Júnior & Souza, n.d.). Como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Registro da evolução da eficiência das placas fotovoltaicas ao longo dos anos



Fonte: NREL (2020)

1.2. Potencial do Brasil

O Brasil é um dos melhores países para a indústria fotovoltaica, segundo América do sol (2020), “segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar diariamente incide entre 4.444 Wh/m² a 5.483 Wh/m² no país”. No local menos ensolarado do Brasil gera mais energia que no local mais ensolarado da Alemanha que é um dos líderes no uso da energia fotovoltaica. Além disso o Brasil possui uma das maiores reservas de silício do mundo, material utilizado para confeccionar as placas mais tradicionais do mercado.

1.3. Objetivos

Essa seção foi separada em duas partes: objetivos gerais e objetivos específicos.

1.3.1. Objetivos gerais

Fazer a construção de um controlador de carga solar e um seguidor solar de dois eixos totalmente analógico.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Estudar a viabilidade de construir placas fotovoltaicas;
2. Estudar como funciona de forma detalhada uma placa fotovoltaica;
3. Criação de um seguidor solar de dois eixos totalmente analógico;
4. Criação de um controlador de carga solar.

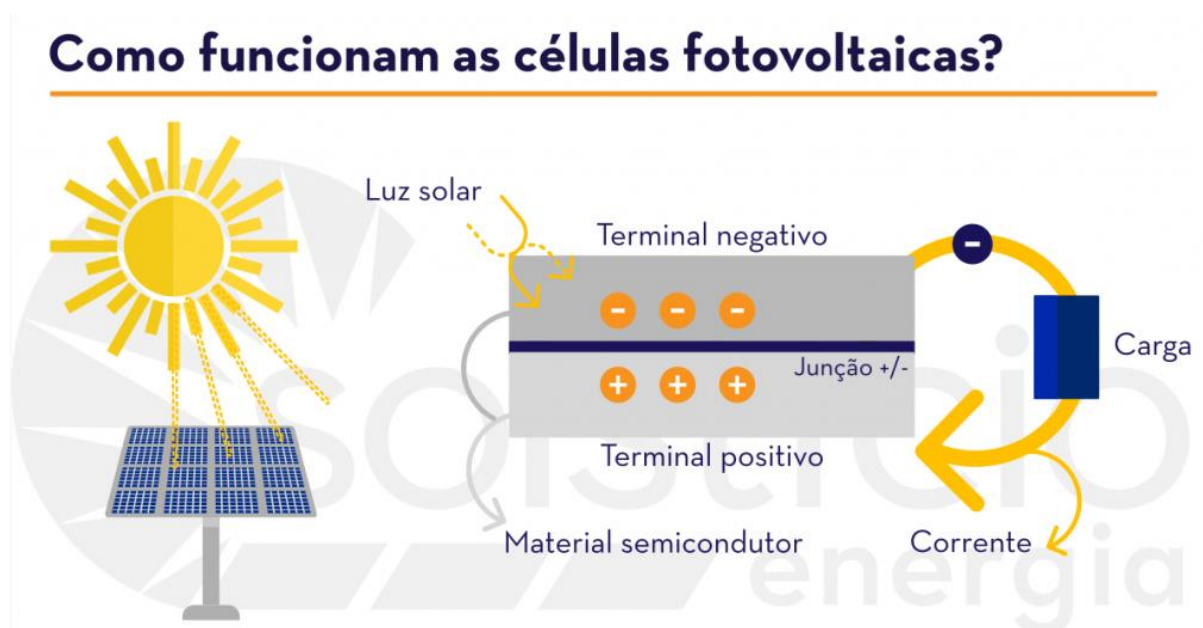
2. DESENVOLVIMENTO

Antes da explicação sobre o circuito do seguidor solar e a fundamentação por trás dele, o grupo irá apresentar uma pesquisa sobre a placa fotovoltaica, já que também é essencial para o projeto do seguidor solar entender o funcionamento das placas solares.

2.1. Placas fotovoltaicas

São as placas dominantes no mercado e possuem o melhor custo-benefício até o dado momento. Podem chegar até 22,2% de eficiência e funcionam através do efeito fotovoltaico. Geralmente são feitas de silício devido a abundância desse material, seu baixo custo e ser um semicondutor, o principal requisito para uma placa solar obviamente.

Figura 2 - Funcionamento das células fotovoltaicas



Fonte: Solstício energia (2017)

Na Figura 2 é possível ver como é o funcionamento de uma célula solar: a luz do sol faz com que os elétrons migrem para a parte da célula fotovoltaica que possui um desprovisionamento de elétrons, gerando uma corrente elétrica.

2.1.1. Teorias sobre o funcionamento de uma placa fotovoltaica

Antes de qualquer coisa, deve se ressaltar que o modo de como funciona uma placa fotovoltaica é desconhecido até mesmo para a comunidade científica, portanto, essa não é uma explicação definitiva do funcionamento de uma placa fotovoltaica. Apesar de todo o estudo já feito nessa área, ainda existem fenômenos que não foram explicados. A placa fotovoltaica de silício é composta de duas camadas, a primeira sendo a de elétrons livres e a segunda sendo uma camada de furos, respectivamente, a camada de junção n e junção p. Na junção n é embutida átomos que possuem cinco elétrons na camada de valência em cima da camada de silício, que possui quatro elétrons na camada de valência. Segundo o cientista (Abdelhady *et al.*, 2017),

A irradiância solar consiste em corpúsculos de energia, ou seja, fótons, e como esses fótons caem sobre os elétrons livres da célula fotovoltaica. Assim, ele mobiliza os elétrons para fazer um fluxo de corrente entre as camadas positiva e negativa da célula conforme indicado na Fig. 1. No entanto, verifica-se que nem todos os fótons da irradiância solar incidente podem mobilizar os elétrons livres dentro da célula, mas apenas fótons com um nível de energia específico, ou seja, a energia do band gap, podem liberar os elétrons e permitir um fluxo de corrente (Abdelhady *et al.*, 2017).

Os autores do artigo ainda complementam dizendo:

A teoria atual de funcionamento de células fotovoltaicas afirma que os fótons incidentes em uma célula fotovoltaica liberam os elétrons livres causando um fluxo de elétrons, que é conhecido como corrente elétrica, se for o caso esses elétrons serão perdidos no carregamento de um capacitor ou ligar uma vela de ignição e, conseqüentemente, o esgotamento dos elétrons livres e um tempo de vida muito curto para os painéis solares, o que, como sabemos, nunca é o caso. O número limitado de elétrons livres em um painel fotovoltaico é uma propriedade muito intrigante [...] (Abdelhady *et al.*, 2017).

Entre outros argumentos que colocam um contraponto a teoria atual de como funciona os painéis solares.

Primeiro argumento: Velocidade de fluxo. De acordo com a teoria atual sobre o processo de funcionamento das células fotovoltaicas ela conduz os elétrons (eletricidade) até uma carga (que consumirá essa energia), como por exemplo, uma lâmpada ou LED (*Light Emitting Diode* – Diodo Emissor de Luz), no circuito externo para fazer o trabalho elétrico, no entanto, os elétrons que são liberados percorrem a

carga pela velocidade de deriva, que é da ordem de mm/s. De acordo com essa velocidade limitada, são necessárias várias horas para acender uma lâmpada conectada a um painel fotovoltaico a uma distância de 10 m, o que sabemos que não acontece na prática (Abdelhady *et al.*, 2017).

Segundo argumento: A corrente fotoelétrica de uma célula fotovoltaica não é proporcional à energia solar incidente

Somente a energia solar que incide com um determinado valor limite que é correspondente a banda proibida da célula solar pode liberar os elétrons livres na célula fotovoltaica para gerar um fluxo de elétrons, que é conhecido como corrente elétrica, e abaixo disso nenhuma geração de corrente elétrica é possível de ocorrer. Hamdy e colaboradores em um estudo com uma célula fotovoltaica comum de silício com uma banda proibida de 1,1 eV (elétron-volts) foi visto que se a energia incidente se torna maior do que a energia de banda proibida, como por exemplo com energia da luz na faixa ultravioleta, a corrente elétrica gerada diminui, e este é um fenômeno muito confuso no funcionamento das células fotovoltaicas (Abdelhady *et al.*, 2017).

Esse fenômeno tem despertado uma grande área de pesquisa e debate nos meios acadêmicos sobre a aplicação de células fotovoltaicas, conhecidas como divisores de luz. O divisor de luz recebe a radiação solar e transmite ao painel fotovoltaico a porção útil do espectro solar, que corresponde à energia de banda proibida, ou seja, a porção média do espectro solar. Energia maior que a da banda proibida não geram elétrons, mas apenas dissipam sua energia na forma de calor. Agora, o porquê isso acontece é uma questão em aberto até os dias de hoje e não pode ser explicada pela teoria atual (Abdelhady *et al.*, 2017).

Terceiro argumento: A corrente fotoelétrica de uma célula fotovoltaica é proporcional intensidade da radiação solar incidente. A corrente de curto-circuito de uma célula fotovoltaica é proporcional à irradiância solar incidente desde que a temperatura da célula fotovoltaica seja constante, e isso é definido pela seguinte equação (Abdelhady *et al.*, 2017).

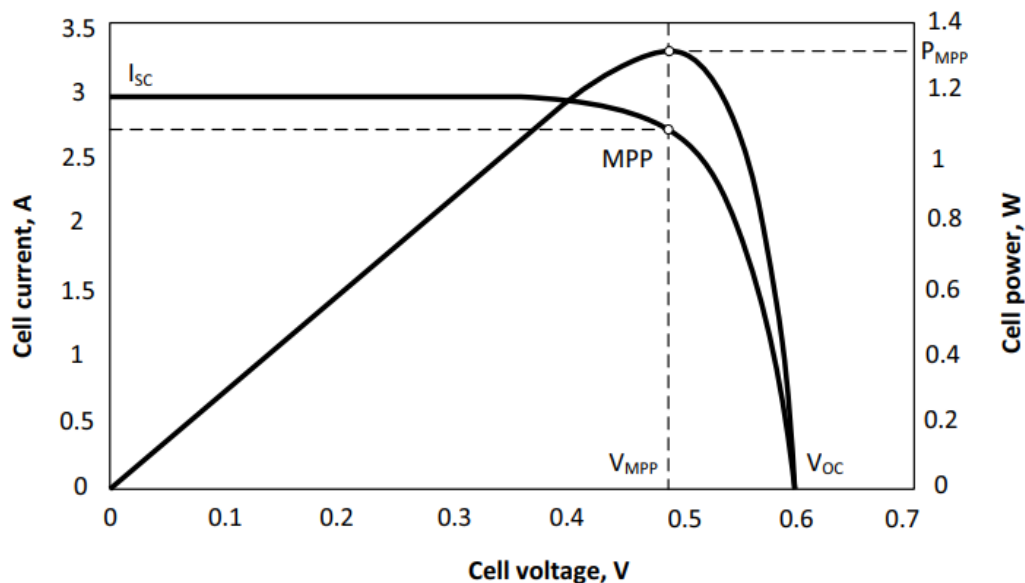
Equação 1 – Corrente fotoelétrica

$$I_{sc,G} = I_{sc,G_o} \times \left(\frac{G}{G_o} \right)$$

Fonte: (Abdelhady *et al.*, 2017)

Na figura 3 mostra a fórmula onde $I_{sc,G}$ é a corrente de curto-circuito em uma certa irradiância G , enquanto I_{sc,G_o} é a corrente de curto-circuito em uma irradiância de referência G_o . A irradiância de referência é geralmente tomada como 1000 W/m^2 , que é conhecida como 1 sol. A performance de uma célula fotovoltaica é regida pelo FILL FACTOR (FF) (*fill fator*, em português “fator de preenchimento”) que representa a quadratura da curva corrente-tensão, imagem representativa:

Gráfico 1 - Gráfico da Curva de corrente-tensão



Fonte: (Abdelhady *et al.*, 2017)

No Gráfico 1 mostra a imagem da curva corrente-tensão onde I_{sc} é a corrente de curto-circuito, V_{oc} é corrente de circuito aberto e MPP é o ponto de potência máxima. P_{MPP} , V_{MPP} e I_{MPP} é a potência, tensão e corrente do ponto de potência máxima, respectivamente.

Equação 2 - Cálculo de Fill factor

$$FF = \frac{I_{mpp} V_{mpp}}{I_{sc} V_{oc}}$$

FONTE: (Abdelhady *et al.*, 2017)

Como visto na figura 5, a corrente I_{mpp} e V_{mpp} são a corrente e a tensão no ponto de potência máxima, respectivamente, e V_{oc} é a tensão de circuito aberto. Para uma célula fotovoltaica ideal o FF é igual a 1.

2.1.2. Outra teoria sugerida

Na figura 6 mostra outra teoria que pode explicar as placas fotovoltaicas é baseada em um exemplo que é até possível replicar em um ambiente caseiro: acender uma lâmpada com um micro-ondas. Esse experimento é bastante surpreendente e mostra que sobre a radiação do micro-ondas a lâmpada emite luz visível aos nossos olhos:

Isso pode ser explicado pelo modelo de Bohr, que é a energia de micro-ondas atinge os elétrons dentro da resistência elétrica da lâmpada incandescente, causando a excitação dos elétrons livres para um nível de energia mais alto, e quando o elétron relaxa de volta ao seu nível de energia original, ele emite a energia adquirida na forma de ondas eletromagnéticas, ou seja, a luz emitida.[...] O acender de uma lâmpada incandescente devido a uma radiação de micro-ondas, que é uma onda eletromagnética, é semelhante à iluminação de uma lâmpada devido ao fluxo de uma corrente elétrica (Abdelhady *et al.*, 2017).

Figura 3 - Lâmpada acendendo via micro-ondas



Fonte: Bill Gilmour (2011)

2.1.3. Placas sensibilizadas a corante

Consiste em uma placa solar que através da reação química de tintas com a incidência da luz solar, soltará elétrons que serão manejados para a criação de energia elétrica.

Também chamada de células Gratzel porque esse tipo de célula solar foi inicialmente proposto em 1991 pelo cientista sueco Michael Gratzel, apesar de que já em 1980 existisse pesquisas utilizando ZnO com corante rosa bengala. Não recebeu muita atenção pelo fato de que a eficiência da placa solar não passava de 1%(Tractz *et al.*, 2020), após isso, Gratzel e colaboradores conseguiram através de um óxido nano-poroso e rugoso era capaz de chegar até 7% de eficiência.

A célula fotovoltaica sensibilizada a corante é formada por 5 componentes principais: um vidro ou um substrato de plástico que sejam condutores e com baixa resistência de folha, um filme transparente composto de um semicondutor de banda proibida, uma tinta sensível a luz, um eletrolítico e um contra eletrolítico. (Soroush & Lau, 2019),

O principal material utilizado para suprir a necessidade de um vidro condutor é o vidro ITO, ou vidro revestido com óxido de índio estanho que é o material líder nesse mercado, para o semicondutor o mais utilizado é o dióxido de titânio devido a sua alta

banda proibida de 3,2V e baixo custo, o que supre todas as qualificações necessárias para este trabalho (Soroush & Lau, 2019). No campo de estudo da tinta fotossensível existe muitos estudos e debates de quais tintas seriam as mais eficientes, segundo o PHD (Philosophiae Doctor - Doutor da Filosofia) em química pela universidade de Edimburgo Neil Robertson no seu trabalho publicado *Optimizing Dyes for Dye-Sensitized Solar Cells*, ele alega que as qualificações necessárias para a seleção da tinta é: ter boa ligação com o dióxido de titânio, alta fronteira de orbitação e a tinta precisa ter uma boa capacidade de absorver irradiação solar (Robertson, 2006).

2.1.4. Problemas encontrados para a montagem das placas

Essa opção foi descartada pela equipe devido a alguns fatores: apesar do valor da maioria dos materiais serem baratos como por exemplo o óxido de titânio que 100 gramas do mesmo custam apenas R\$10,34 mas o material que dificultou a realização da prática do protótipo dessa placa fotovoltaica é o vidro ITO (Indium tin oxide – Óxido de índio estanho) que tem um custo elevado ainda por não existirem materiais com as mesmas propriedades (condutor e transparente para a luz conseguir atravessar o vidro e atingir o corante). Apesar dos materiais terem um custo baixo, possui a condição de já possuir as máquinas para a manufatura. Após o levantamento dos preços e a dificuldade de obtenção de certos componentes, a ideia foi descartada pela equipe.

1.1.4. Eficiência energética

A eficiência de um painel solar é a razão da potência máxima gerada pelo painel solar, que é medida em W, pela área do painel solar. A eficiência de um painel solar pode variar dependendo da temperatura, da intensidade da radiação solar e massas de ar. A eficiência de um painel solar também podem degradar com o passar do tempo, mas de forma ínfima (SVARC,2022). A fórmula para eficiência solar pode ser vista na Figura 4.

Figura 4 - Equação Eficiência painel solar

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{P_{\max}}{\text{Área} \times 1000\text{W/m}^2} \times 100$$

* STC = Irradiância 1000W/m²

- P_{max} = Potência máxima do painel (W)
- Área = Área do painel (m²)

Fonte: Adaptado de Jason Svarc (2022)

2.2. Seguidor solar

O seguidor solar é um dispositivo que tem o objetivo de aumentar a área da placa que receberá raios solares. O princípio básico de um seguidor solar é permitir que o ângulo de incidência dos raios solares seja sempre perpendicular ao plano do módulo, ao qual consiste em fazer seguir a trajetória do curso do movimento do sol durante todo o ciclo do dia.

Um rastreador solar pode ser tanto de um eixo, quanto de dois. Os seguidores solares que possuem apenas um eixo só podem executar movimentos para rotacionar a placa fotovoltaica na horizontal, já os de dois eixos podem movimentar a placa tanto horizontalmente ou verticalmente. O projeto do grupo é construir um seguidor solar de dois eixos de forma acessível e que funcione de forma totalmente analógica, sem a utilização de programação e de microcontroladores.

O dispositivo funciona a base de oito pequenas placas solares que podem gerar até 6V que ficarão na parte posterior da placa solar principal na qual as próprias placas pequenas gerarão energia para alimentar dois motores: um motor que movimentara o eixo horizontal e outro que movimentara para o eixo vertical, onde a placa principal quando estiver em direção ao sol e estiver na melhor posição possível para receber raios solares cobrirá com sombras as pequenas quatro placas atrás dela assim fazendo com que os motores fiquem sem energia e, consequentemente, o seguidor ficará parado.

Quando a placa solar principal deixar de receber os raios solares de forma otimizada e os raios solares incidirem com uma das pequenas placas fotovoltaicas fará com que essas placas gerem energia para o motor que irá movimentar o seguidor solar, fazendo com que o dispositivo comece a girar até que as pequenas placas fiquem totalmente cobertas pela sombra da placa principal. Dessa forma o seguidor

solar procura sempre a melhor posição possível para receber os raios solares a todo momento, aproveitando o máximo de eficiência da placa fotovoltaica.

2.2.1. Uma forma diferente de fazer um seguidor solar

Os seguidores solares geralmente são feitos à base de programação e foto resistores para a detecção dos raios solares, mas os membros do projeto de desenvolvimento do seguidor solar durante o tempo de pesquisa descobriram uma outra forma de cumprir a mesma tarefa sem o auxílio de um microcontrolador como Arduino baseando-se no projeto da NASA Parker Solar Probe, essa sendo a primeira sonda a tocar o sol. Como pode ser observado na imagem ilustrativa na Figura 5.

Figura 5- Ilustração do Solar Probe

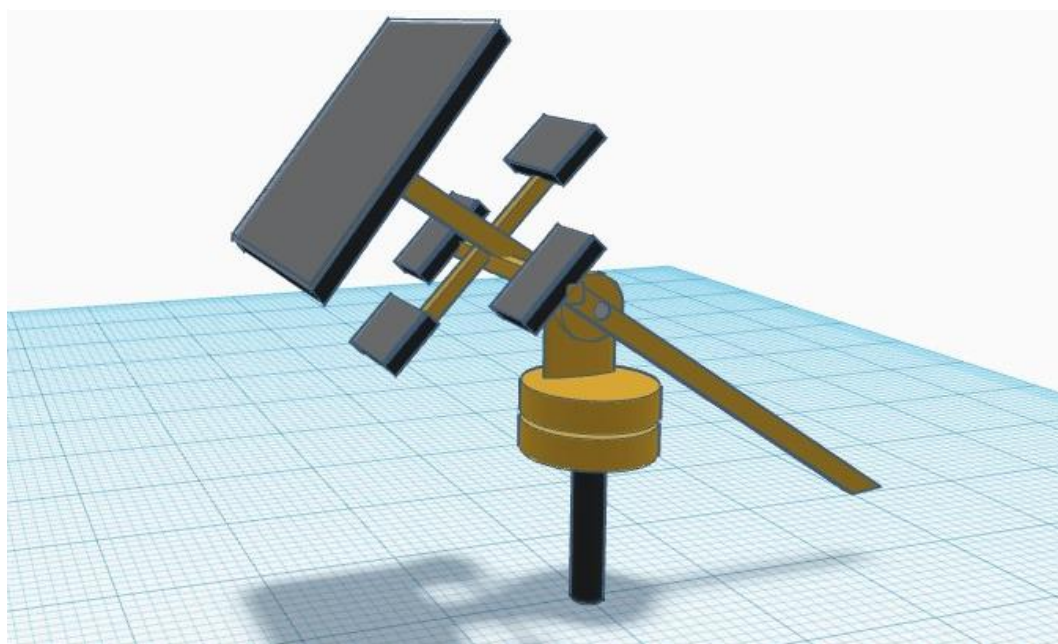


Fonte: Blogs NASA (2022)

A Figura 5 apresenta uma imagem ilustrativa do que seria o Parker Solar Probe, projeto da NASA lançado no dia 12 de agosto de 2018. Essa missão espacial tem o objetivo de “tocar” o sol. A sonda utiliza painéis solares para alimentar seu sistema e os utiliza também como uma forma de sensor para a sonda sempre estar em direção ao sol. O seguidor solar do grupo utiliza o mesmo conceito.

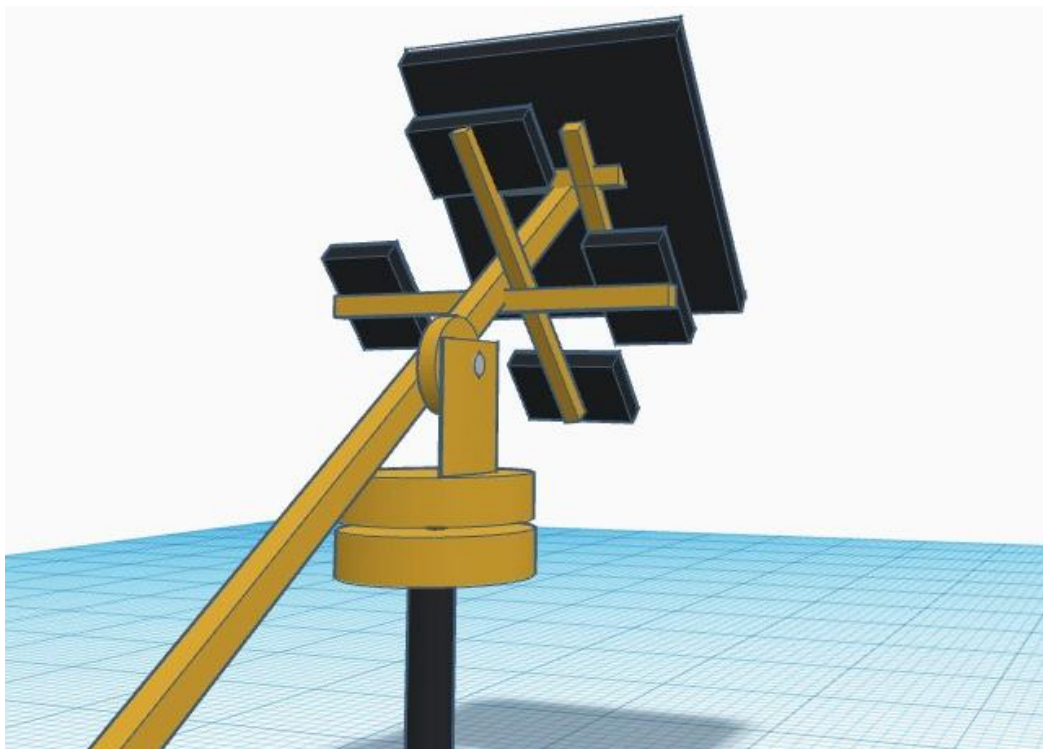
Ao invés da utilização de um microcontrolador programável, o grupo fez um seguidor solar com a utilização de 4 placas solares de 6V e 1W que serão utilizadas como sensores, quando o sol se deslocar de uma forma que não atinja a placa fotovoltaica principal (que irá gerar a energia elétrica para o consumo de outros aparelhos eletrônicos de fato) da forma mais eficiente possível. Após as placas menores terem incidência do sol sobre elas, elas irão gerar energia que rodará o motor que irá girar até as placas menores estarem cobertas pela sombra novamente, cortando a energia do sistema. O sistema sempre se adaptará a posição do sol como se fosse um girassol de forma totalmente analógica sem o uso de microcontroladores programáveis. Deve-se ressaltar que o conceito do funcionamento do seguidor solar não é original do grupo, mas sim inspirada no vídeo intitulado “DIY Solar Tracking System Inspired by NASA (Parker Solar Probe)” do usuário Ben (2018), disponível no Youtube onde ele apresenta essa forma de construir um seguidor solar. Imagem 3D do projeto do seguidor solar abaixo na Figura 6 e Figura 7.

Figura 6 - 3D Seguidor solar - frente



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 7 - 3D Seguidor solar - trás



Fonte: Autoria própria (2022)

2.2.3. Circuito e diagrama elétrico e processo de pensamento de sintetização do sistema

O circuito possui um funcionamento bem simples, inicialmente apenas utilizando 2 motores que possuem capacidade de aguentar até 4,2kg e funcionam com uma carga de 3 a 9 volts. Além disso foram utilizadas oito placas fotovoltaicas de 1W e 6V. Na figura 11 é mostrado o circuito elétrico.

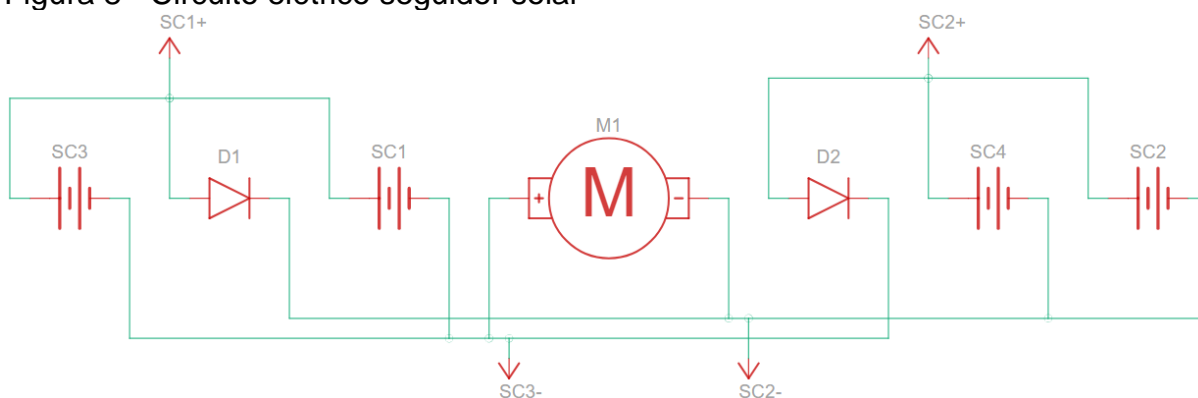
Conectado a placa maior está um controlador de carga solar, para direcionar a energia as baterias ou carregadores. O circuito do projeto funciona a base de 2 motores onde cada motor é alimentado por quatro placas fotovoltaicas de 6V e 1W, onde um motor estará posicionado para rotacionar em sentido horizontal, e o outro motor está posicionado para rotacionar em sentido vertical. No circuito representa apenas a ligação de 1 motor pois a ligação de ambos é igual. Foi colocado um diodo na entrada positiva de cada painel solar de 6V para que haja um controle da carga e proteja os motores de um possível defeito. A ligação dos dois painéis fora feita com um painel diretamente polarizado e outro painel inversamente polarizado, isso faz com

que o painel que está ligado diretamente polarizado faça com que o motor rotaciona para a direita, ou para cima no caso do motor que gira verticalmente, e as placas que estão inversamente polarizado fará o motor rotacionar para o lado contrário.

2.2.3. Teste inicial com duas placas fotovoltaicas

Inicialmente o grupo testou com apenas duas placas fotovoltaicas conectadas a cada motor, sendo uma para rotacionar de um lado do eixo x e as outras duas remanescentes para girar no eixo y, mas nos testes a equipe observou o fato de que o motor não funciona devido à baixa corrente que não é suficiente para ligar o motor. Para ligar o motor com sucesso é necessário ligar duas placas solares em paralelo para aumentar a corrente elétrica. Como pode ser visto na Figura 8.

Figura 8 - Circuito elétrico seguidor solar



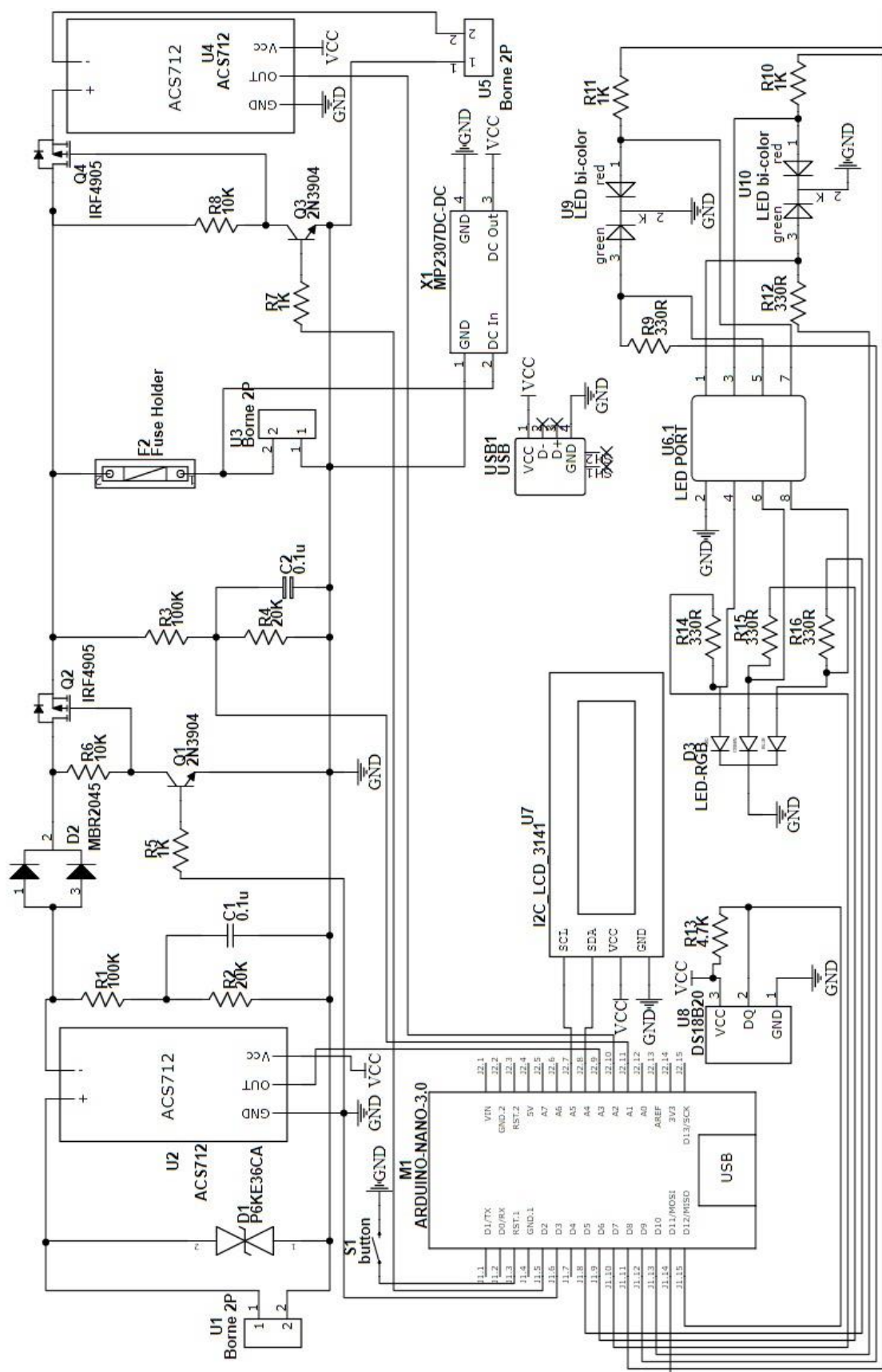
Fonte: Autoria própria (2022)

2.2.3. Primeiro controlador de carga solar

A início o grupo começou a fazer o projeto de controlador de carga baseado num circuito encontrado na internet do usuário ENERGY (2022), o qual teria a funcionalidade esperada e uma boa interface de apresentação com LCD (*Liquid Crystal Display*) mostrando as informações do painel solar. O grupo desenvolveu esse circuito como visto na Figura 9.

Inicialmente a ideia do grupo era desenvolver esse circuito, mas no início das tentativas de desenvolvimento do projeto, a equipe encontrou dois obstáculos: alta complexidade do circuito e o custo final do projeto que beirava os R\$200,00. Nesse caso a equipe optou por fazer outro circuito teste de um controlador de carga solar.

Figura 9 - Circuito teste controlador de carga solar

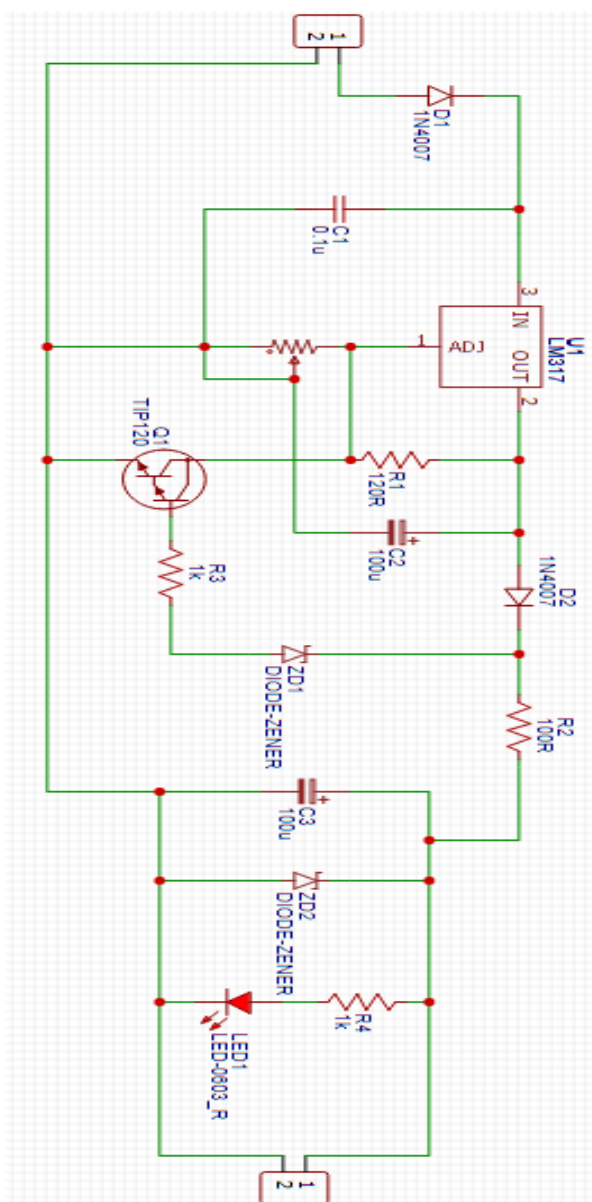


Fonte: Autoria própria (2022)

2.2.4. Controlador de carga solar

Na Figura 10, temos o esquemático de um controlador de carga solar baseado no projeto do engenheiro D Mohankumar (2015), onde a função do circuito é controlar a tensão sobre uma bateria de 12V, que pode ser variável para cargas menores através da modificação dos diodos zener ZD1 e ZD2, ou seja, para o carregamento de uma bateria de 6V o diodo ZD1 deve ser de respectivamente de 6,1V e o ZD2 de 6,8V.

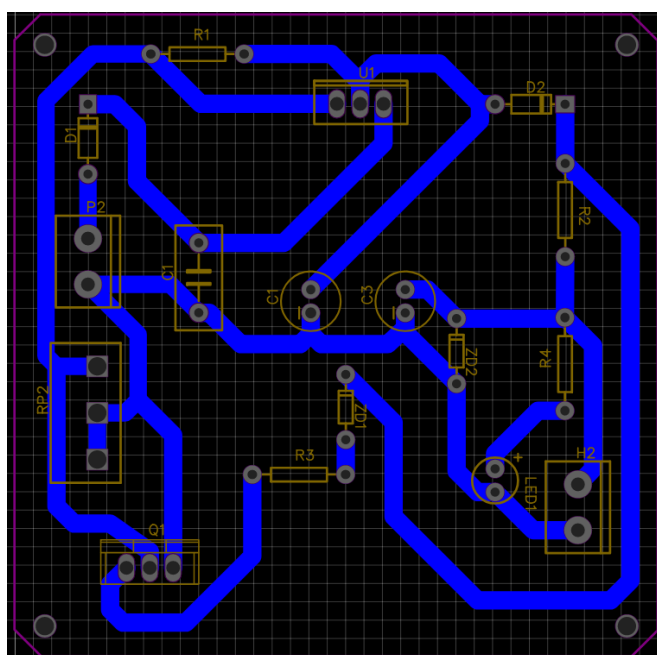
Figura 10 - Circuito controlador de carga solar



Fonte: Autoria própria (2022)

Ele é baseado no circuito integrado regulador de tensão variável LM317. Ele define a tensão de saída em torno de 16V, sendo bastante eficiente para o carregamento de uma bateria de 12V. Além disso, o circuito possui um potenciômetro para poder regular cargas menores que 12V, para aumentar a flexibilidade do circuito. Como podemos ver, o LED indica o estado da bateria onde, ao estar completamente carregada, a corrente que passa pelo componente ZD1 começa a conduzir eletricidade, e conectando ao TIP120 diretamente fazendo-o drenar a corrente e consequentemente interrompendo o processo de carregamento. Nesse circuito há os capacitores C1, C2 e C3 que possuem a função de filtrar os sinais de ruído indesejados, além dos resistores R1, R2, R3 e R4 com o papel de regular a tensão sobre os componentes e os diodos D1 e D2 para a segurança do circuito.

Figura 11 - Imagem das trilhas placa controladora de carga



Fonte: Autoria própria (2022)

As trilhas do projeto foram feitas no *site* EasyEDA, Segundo (Lima Charles, 2010).

Trilha é o caminho de cobre sobre a superfície da placa do circuito impresso por onde as correntes elétricas do circuito fluirão. Quanto menor o comprimento da trilha, menor será sua resistência, capacitância e indutância intrínseca. Quanto mais espessa, maior sua resistência mecânica e elétrica (LIMA CHARLES, 2010, p.7).

As trilhas são como um fio para conduzir corrente elétrica de um componente para outro ao interior da placa eletrônica. Observe que na figura 14 a cor azul é a representação das trilhas da placa. Isso define as camadas das trilhas que são denominadas de *BottomLayer* (camada inferior), que é equivalente a camada de baixo da placa eletrônica, são muito utilizadas para soldar componentes PTH (*Pin Through Hole*). No circuito foram usados somente componentes PTH.

Foram utilizadas trilhas de 2 cm que são suficientes para condução da corrente elétrica.

2.2.5. Bateria

A bateria é uma parte essencial de um sistema fotovoltaico, pois o sistema solar só funciona enquanto o sol está exposto no céu. Mas isso não tira a necessidade de utilizar energia elétrica a noite, por isso é importantíssimo a escolha da bateria condizer com as necessidades do projeto. Primeiramente é preciso deixar claro a diferença entre baterias estacionárias e baterias automotivas: as estacionárias são designadas para proverem a mesma corrente na mesma intensidade por um longo período, o que atende exatamente as necessidades do projeto do grupo, agora a automotiva é justamente o contrário, são projetadas para darem disparos de energia, mas não possuem a consistência das baterias estacionárias. Esse tipo de bateria é utilizado por exemplo, para dar partidas nos carros.

2.2.6. Montagem da placa controladora de carga

O grupo realizou a criação da placa física através de um método ensinado no decorrer do curso, que se baseia em fazer a impressão das trilhas na placa de fenolite que é o modelo de placa mais utilizado para criações de placas eletrônicas, após isso o grupo imprimiu as trilhas em um papel couchê 180 gramas, no qual permite transferir essas trilhas impressas para a placa de fenolite. Para isso o grupo colocou a placa de fenolite e sobre ela a impressão no papel couchê em um recipiente de plástico. Após isso é colocado a acetona sobre a placa, em cima dela é colocado o papel couchê e despejando mais acetona em cima da mesma, pois ela serve como solvente para a tinta da trilha no papel couchê soltar-se da placa de fenolite. Para isso ser realizado deve aplicar uma pressão sobre o papel couchê na placa de fenolite por cinco minutos para que essa reação aconteça.

Após esse processo inicia uma das partes mais complicadas da confecção da placa do controlador de carga solar: remover o papel couchê da placa de fenolite que por conta da pressão exercida, acaba que o papel fica atado nela, e é preciso ter muito cuidado para removê-lo, pois as trilhas podem ser removidas juntamente com o papel. Para isso a água é despejada de forma progressiva sobre o papel, e cuidadosamente com o dedo, o papel é retirado. Na primeira tentativa o grupo não teve sucesso, pois as trilhas não ficaram fixas na placa da placa conforme o papel fosse retirado. O grupo obteve sucesso na sua quarta tentativa e as trilhas saíram inteiras, assim possibilitando ir para próxima etapa do processo. Na Figura 12 mostra o momento que o grupo está retirando o papel couchê da placa de fenolite.

Figura 12 - Processo de remoção do papel couchê



Fonte: Autoria própria (2022)

A próxima etapa do processo é a corrosão da placa de fenolite. Esse processo é importante pois a placa tem sua superfície coberta por cobre, e é necessário que o cobre fique somente nas trilhas para que a corrente passe pelos componentes. Com as trilhas já imprimidas na placa possibilita a corrosão do cobre que está fora do diâmetro das trilhas, pois a tinta que está desenhada bloqueia aquela área para a

corrosão. Para isso é usado o produto percloroeto de ferro, que possui em sua composição o cloro que é responsável por corroer o cobre da placa de fenolite. Para isso ela é mergulhada num recipiente de plástico com 200ml desse químico, onde a placa ficou aproximadamente 40 minutos submersa no percloroeto de ferro. Como visto na Figura 13.

Figura 13 - Processo de corrosão da placa de fenolite



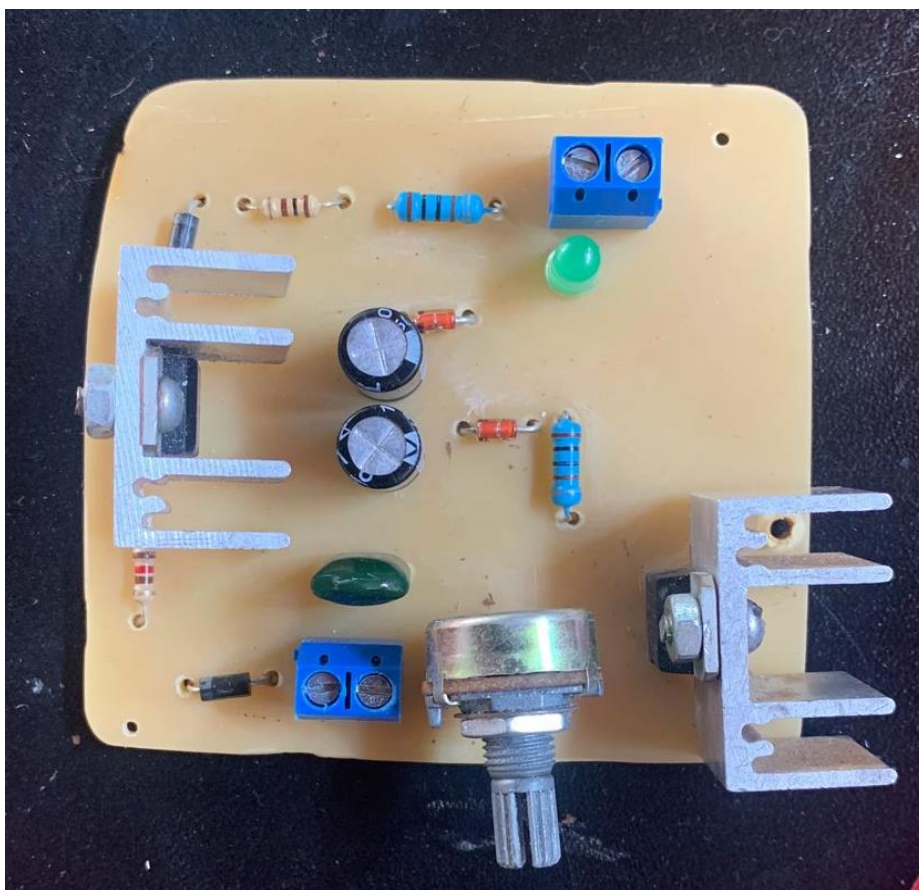
Fonte: Autoria própria (2022)

Na próxima etapa é retirada a placa de fenolite do percloroeto de ferro, e ela é lavada com água para retirar os restos do produto. Com uma palha de aço é esfregado levemente na placa para remover a tinta, deixando visível só as trilhas de cobre. Após isso começa o processo de furar a placa, seguindo o desenho da trilha o grupo utilizou uma furadeira com uma broca de 1mm, e furou onde seria o local dos componentes.

O próximo passo seria o processo de soldagem dos componentes, que tem o objetivo de fixar os componentes na placa eletrônica. Para isso é utilizado um ferro de

solda já aquecido e estanho que será derretido com a ponta do ferro de solda na região do terminal de cada componente, assim fixando ele na placa.

Figura 14 - Placa física controladora de carga



Fonte: Autoria própria (2022)

Na Figura 14 é mostrado como está a placa controladora de carga solar finalizada, após todo processo de montagem dessa placa que foi realizada com sucesso.

2.2.7. Dimensionamento e engenharia dos materiais de construção

Todo o circuito usou materiais específicos para ser fabricado, o circuito do seguidor solar usou os materiais visto na tabela 1, que são oito placas fotovoltaicas de 6V e 1W e 2 motores do modelo “micromotor elétrico 6V-9V - 300RPM”, foram

escolhidas as placas solares de 6V e 1W, porque essas placas são o suficiente para alimentar o motor elétrico e pelo seu baixo custo, além de ocuparem pouco espaço.

2.2.8. Lista de materiais

O circuito do controlador de carga utilizou-se de vários componentes para ser construído, o qual pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Circuito do controlador de carga solar

Nome	Quantidade	Preço (R\$)
Capacitor poliéster 0.1 μ F 100V	1	0,34
Capacitor eletrolítico 100 μ F 50V	2	0,50
1N4007	2	0,25
Borne 2 vias	2	0,80
LED	1	0,24
TIP120	1	2,10
Resistor 120R	1	0,06
Resistor 100R	1	0,19
Resistor 1k	2	0,21
Potenciômetro 5K	1	2,21
LM317	1	4,20
1N4742	1	0,22
1N4744	1	0,22
Papel couchê (180g)	1	2,00
Acetona (100ml)	1	5,00
Percloroeto de ferro (500ml)	1	17,90
Placa de Fenolite(10x10mm)	1	15,00
Bateria12V (2600mAh)	1	27,26
Total		80,46

Fonte: Autoria própria (2022)

Na Tabela 1 mostra os materiais utilizados para a criação da placa eletrônica como visto na figura 12. Como visto na tabela foram utilizados 22 materiais totalizando um valor de R\$80,46, sendo tais materiais um capacitor poliéster 0.1 μ F e 100V, que é utilizado com filtro de corrente para o LM317. Dois capacitores eletrolíticos 100 μ F e 50V que também são utilizados com filtro de corrente. Dois diodos 1N4007 que servem de proteção do circuito impedindo o retorno de corrente para a placa solar e impedindo

para não retornar corrente para o LM317. Dois bornes de duas vias que são utilizados conectar a placa solar e a bateria no circuito. Um LED que serve como indicador do estado da bateria. Um TIP120 que serve como uma chave que bloqueia a passagem da corrente elétrica quando atingir o limite definido pelo diodo zener 1N4742. Um resistor 120R que serve de proteção para o potenciômetro de 5k. Um resistor 100R que serve para controlar a velocidade de descarga do capacitor 100 μ F. Dois resistores 1K que servem para controlar a corrente o R4 para não sobrecarregar o LED, igualmente no R3 que não permite a sobrecarga do TIP120. Um potenciômetro 5K que serve para permitir a variação do valor da carga pelo movimento de um eixo, assim regulando o regulador de tensão LM317. Um regulador de tensão LM317 que possui a tarefa de controlar a carga do circuito. Um diodo zener 1N4742 de 12V tem função de quando receber 12V da bateria ele energiza o TIP120. Um diodo zener 1N4744 de 15V que tem a função de delimitar a tensão elétrica para que ela não exceda 15V. Já os seguintes materiais: papel couchê 180g, acetona 100ml, percloroeto de ferro 500ml, Placa de Fenolite 10x10mm, foram utilizados no processo de montagem da placa eletrônica. E por fim uma bateria 12V 2600mAh, utilizada para realizar o teste do controlador de carga.

Tabela 2 – Seguidor solar

Nome	Quantidade	Preço (R\$)
Placa solar 6V-1W	4	27,50
Placa solar 6V-1W	4	18,00
Micromotor elétrico 6V-9V 300RPM	2	21,00
Placa de madeira 40 cm x 40 cm x 2 cm	1	37,00
Pranchetas	2	16,00
<i>Spray</i> de tinta preta	1	16,80
<i>Spray</i> de tinta vermelha	1	12,30
Metro Ferro chato	2	30,00
Metro Ferro Redondo	1	14,50
Metro de fio com 1,5 mm de diâmetro	2	2,00
Total		396,60

Fonte: Autoria própria (2022)

Na Tabela 2 mostra os materiais que foram utilizados para a criação do protótipo de seguidor solar. Como visto na tabela foram utilizadas quatro placas solares de 6V e 1W que são as placas que alimentam o motor, com o valor de R\$27,50 por unidade. Juntamente com mais quatro placas solares de 6V-1W que possuem a mesma função, com o valor de R\$18,00 por unidade. Essa diferença de preço se deve ao fato de que as compras foram realizadas por *sites* diferentes da *internet*. Além das placas solares foram utilizados também dois micromotores elétrico de 6V a 9V e 300 RPM (Rotação por Minuto), com o valor de R\$21,00 por unidade, uma placa de madeira de 40 cm de largura e comprimento com 2 cm de altura, duas pranchetas de papelão compensado de R\$8,00 que foram utilizadas como suporte para as placas de 6V, um *spray* de tinta preta e um *spray* de tinta vermelha para proteger de chuvas que custaram, respectivamente, R\$16,80 e R\$12,30, um metro de ferro redondo onde foram gastos R\$14,50 e dois metros de ferro chato que custaram R\$60,00. O grupo comprou 6 metros de fio sobressalentes, mas foram utilizados apenas 2 metros de fio que custaram R\$2,00. Mas como o grupo já possuía grande parte dos materiais, o valor total que foi investido foram R\$ 224 que é o preço das placas solares e dos motores.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar dos protótipos do controlador de carga solar e do seguidor solar não serem perfeitos, o grupo ficou satisfeito com o desempenho do projeto nesse estado e trabalhará para aperfeiçoar o modelo desenvolvido neste trabalho futuramente.

3.1. Resultado do controlador de carga solar

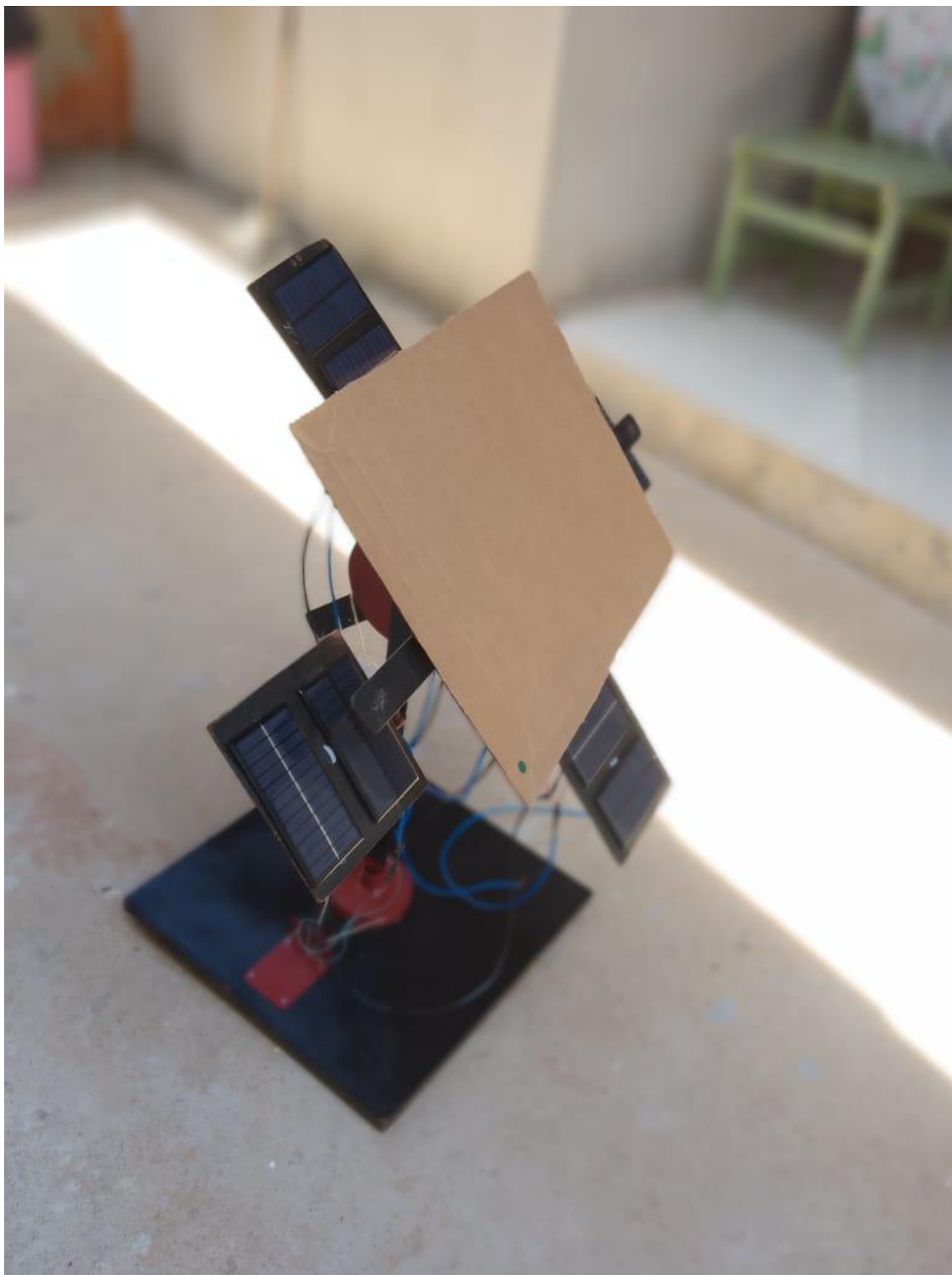
O controlador de carga solar realizado pelo grupo conseguiu atender todas as necessidades do grupo: ela é capaz de controlar a carga de uma tensão de até 24V para uma carga de 4.7V, que torna o controlador de carga solar muito flexível. Ele também é capaz de controlar para que a bateria não se danifique ou exploda, sendo assim quando a bateria atingir o 100% do carregamento o controlador desligara e irá parar de enviar tensão para a bateria.

O grupo executou um teste com uma bateria 12V e 2600mAh e no momento que a bateria atingiu a sua carga máxima, o controlador desligou, garantindo a segurança da bateria.

3.2. Resultado do seguidor solar

O seguidor solar confeccionado pelo grupo saiu a um preço barato em relação a capacidade de peso que consegue sustentar. Além disso, o grupo atingiu seus objetivos de se construir um seguidor solar sem a utilização da ferramenta de linguagens de programação. O projeto do protótipo de seguidor solar de duplo eixo pode ser visto na Figura 15 logo abaixo.

Figura 15 - Protótipo seguidor solar



Fonte: Autoria própria (2022)

3.3. Sugestão para estudos futuros

É proposto pelo grupo as seguintes sugestões para o projeto do seguidor solar: coletar dados ao longo de um ano inteiro sobre o aumento de eficiência do seguidor solar e fazer a comparação de uma placa solar fixa contra uma placa solar utilizando o rastreador solar desenvolvido pelo grupo, construir o sistema proposto para utilização em sistemas de maior potência, e consertar um problema encontrado durante os testes do grupo que é o problema de que dependendo da época do ano, o seguidor solar terminará em uma posição em que ele não irá conseguir virar para o lado em que o sol estiver nascendo no próximo dia. Para a resolução desse problema o grupo propõe adicionar mais uma placa solar de 6V e 1W atrás para girar o motor horizontalmente e conseguir girar para a direção onde o sol nasceu.

REFERÊNCIAS

ABDELHADY, Salema; S. ABD-ELHADY, Mohamed; M. FOUAD, Mennatallah. **An Understanding of the Operation of Silicon Photovoltaic Panels**. Riga, 14 out.2017. 10.1016/j.egypro.2017.04.041, Acesso 08 jun. 2022. Caderno Internacional . p. A21

BEN. DIY Solar Tracking System Inspired by NASA (Parker Solar Probe).

Youtube, 16 nov. 2018. Disponível em:

< [youtube.com/watch?v=wL9PcGu_xrA](https://www.youtube.com/watch?v=wL9PcGu_xrA) >. Acesso em 27 de ago. 2022

Best Research-Cell Efficiency Chart. Disponível em:

< <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html> >. Acesso em: 20 de set. 2022

ENERGY, Open Green. **ARDUINO PWM SOLAR CHARGE CONTROLLER (V 2.02).** Disponível em:

< <https://www.instructables.com/ARDUINO-PWM-SOLAR-CHARGE-CONTROLLER-V-202/> >. Acesso em 25 de ago. 2022

GILMOUR, Bill. **Light Bulbs In The Microwave - Outside and INSIDE Views !.**

Youtube, 11 jun. 2011. Disponível em:

< <https://www.youtube.com/watch?v=nvpK5qlFjBo> >. Acesso em: 12 set. 2022.

GUIA completo sobre painéis solares fotovoltaicos. Disponível em:

< <https://www.solsticioenergia.com/saiba-mais/guia-paineis-solares/> >. Acesso em: 15 de set. 2022

HUME, Ashley. **Parker Solar Probe's Upcoming Close Encounter with a Highly Active Sun.** Disponível em:

< <https://blogs.nasa.gov/parkersolarprobe/2022/08/31/parker-solar-probes-upcoming-close-encounter-with-a-highly-active-sun/> >. Acesso em: 27 de ago. 2022

JÚNIOR, Anízio Cintra; DE SOUZA, Igor Menezes. **Células fotovoltaicas: o futuro da energia alternativa**. Orientador: Eduardo Martins Toledo. 2018. 43 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia. 2018. Disponível em: < http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/520/1/2018_1_IGOR_ANIZIO.pdf >. Acesso em: 17 de jul. 2022.

Lima, Charles. **PROJETO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO - BÁSICO**. Disponível em:

<

https://professorpetry.com.br/Bases_Dados/Apostilas_Tutoriais/Projeto_PCI_Charles.pdf >. Acesso em 18 de jun. 2022

MOHANKUMAR, D. 12V Solar Inverter Battery Charger. Disponível na Internet via <https://www.electroschematics.com/solar-inverter-battery-charger/>. Arquivo capturado em 22 de ago. 2022

ROBERTSON, Neil. Optimizing dyes for dye-sensitized solar cells. **Angewandte Chemie. Weinheim**, 09 mar.2006. caderno Internacional . p. A8

SOROUGH, Masoud; K, Lau Kenneth. **Dye-Sensitized solar cells: Mathematical modelling, and materials design and optimization**. 1.ed. Massachusetts: Academic Press, 2019. 470p. (Kindle Edition)

SVARC, Jason. **Most Efficient Solar Panels in 2022**. Disponível em: < <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-efficient-solar-panels> >. Acesso em: 08 de jun. 2022

The photovoltaic effect. Disponível em:

< <http://www.scienzagiovane.unibo.it/English/solar-energy/3-photovoltaic-effect.html> >. Acesso em: 03 de jun. 2022

TRACTZ, Gideã Taques; Dias, Bianca V.; BANCZEK, Everson do Prado; DA CUNHA, Maico T.; ALVES, Guilherme J. T.; RODRIGUES, Paulo R. P. Células Solares Sensibilizadas por Corante (CSSC): Perspectivas, Materiais, Funcionamento e Técnicas de Caracterização. **Revista Virtual de Química**, Local. v.12. 3. p.2-16. Maio 2020. Disponível em: < <http://static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/v12n3a18.pdf> >. Acesso em: 13, abr. 2022.

WOLFE, Phillip Rowland. **The Solar Generation**: Childhood and Adolescence of Terrestrial Photovoltaics. 1.ed. Hoboken: Wiley-IEEE Press, 2018. 424p.