



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Instituto de Ciências e Engenharia – Câmpus de
Itapeva

ERICK BERTUNES DE ARAUJO

**Análise Técnica-Econômica na Construção de Uma Plataforma Móvel
Desenvolvida Por Meio da Manufatura Aditiva Para Geração de Energia
Fotovoltaica**

Itapeva - SP

2023

ERICK BERTUNES DE ARAUJO

**Análise Técnica-Econômica na Construção de Uma Plataforma Móvel
Desenvolvida Por Meio da Manufatura Aditiva Para Geração de Energia
Fotovoltaica**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Conselho de Curso de Engenharia de Produção, da Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciências e Engenharia, Câmpus de Itapeva, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Juan Carlos Cebrian Amasifen

Itapeva - SP
2023

A663a Araujo, Erick Bertunes de
Análise técnica-econômica na construção de uma plataforma móvel desenvolvida por meio da manufatura aditiva para geração de energia fotovoltaica / Erick Bertunes de Araujo. -- Itapeva, 2023
66 f. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Produção) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciências e Engenharia, Itapeva
Orientador: Juan Carlos Cebrian Amasifen

1. Plataforma móvel utilizando manufatura aditiva. 2. Geração de energia fotovoltaica. 3. Impressão 3D. 4. Plataforma móvel. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Ciências e Engenharia, Itapeva. Dados fornecidos pelo autor(a).

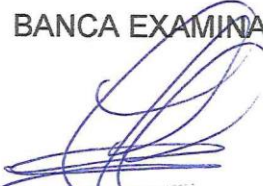
Essa ficha não pode ser modificada.

ERICK BERTUNES DE ARAUJO

**ANÁLISE TÉCNICA-ECONÔMICA NA CONSTRUÇÃO DE UMA
PLATAFORMA MÓVEL DESENVOLVIDA POR MEIO DA
MANUFATURA ADITIVA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA
FOTOVOLTAICA**

Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, da Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Itapeva.

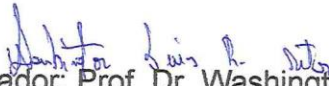
BANCA EXAMINADORA



Orientador: Prof. Dr. Juan Carlos Cebrian Amasifen
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Itapeva.



2º Examinador: Prof. Dr. Ricardo Ghantous Cervi
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Itapeva.



3º Examinador: Prof. Dr. Washington Luis Reis Santos
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Itapeva.

Itapeva, 20/01/2023.

A minha família, Mauro, Nice, Cleber e Noah e a todos meus amigos pela compreensão, carinho e apoio incansável.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e irmão, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à minha graduação.

Aos meus amigos, Gabriel, Leonardo, Eduardo, Heron, Thiago e Rafael com quem convivi e compartilhei muitos momentos durante os últimos anos, agradeço pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram crescer como pessoa e como profissional.

Ao professor Juan Carlos Cebrian, por ter sido meu orientador, pela paciência, pela dedicação e pelos ensinamentos passados durante todos esses anos.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Laboratório de Indústria 4.0 e Redes Elétricas Inteligentes – LIR@, localizado na Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciências e Engenharia, Câmpus de Itapeva.

RESUMO

A geração de energia fotovoltaica está presente em muitas residenciais e indústrias. Essa ideia consiste basicamente em transformar a energia solar em energia elétrica. Por isso, é comum observarmos painéis solares fixos instalados nos telhados das residências. Contudo, para um observador localizado na superfície da terra, a movimentação da terra em torno do sol e o giro da mesma sobre seu próprio eixo, dá a impressão de uma movimentação do sol. Se a plataforma que sustenta o painel solar é estática, ou seja, ela não acompanha as diversas posições que o sol pode ocupar no céu durante o dia, em muitas horas, a energia solar não é aproveitada cem por cento, afinal, os raios solares podem estar incidindo em uma parte da plataforma que não capta (ou capta pouco) a energia solar.

Este projeto visa projetar e construir o protótipo de uma plataforma solar móvel capaz de obter um maior aproveitamento dos raios solares, isso levará, como consequência, uma maior quantidade de energia elétrica produzida pelos painéis solares. A plataforma móvel é capaz de acompanhar as diversas posições que o sol pode ocupar durante o passar do dia, com isso é possível melhorar a captação da energia fotovoltaica e, assim, aproveitar ao máximo a energia solar disponível.

A estrutura do protótipo foi elaborada utilizando manufatura aditiva (impressão 3D), com o intuito de atender os diversos graus de liberdade que uma estrutura precisa ter para acompanhar movimentação da terra e aumentar a captação de energia, sendo assim, promovendo uma melhoria em uma tecnologia que já existe. Além da construção da plataforma, uma análise econômica foi realizada para poder concluir se a plataforma construída nesse estudo é viável financeiramente

Palavras-chave: Energia Solar; Girassol; aproveitamento da luz solar; placas solares; placa solar; impressão 3D.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Placa solar estática	14
Figura 2 - Comparação - Radiação solar x Horas	14
Figura 3 - Protótipo <i>Sunflower</i>	15
Figura 4 - Comparação - Energia plataforma fixa x plataforma móvel.....	15
Figura 5 - Protótipo - Seguidor de luminosidade feito através de impressão 3D	16
Figura 6 - Spherical Parallel Manipulator	17
Figura 7 - Tracker - Seguidor de luminosidade	19
Figura 8 - Painel móvel - dois graus de liberdade	20
Figura 9 - Estrutura móvel com dois painéis solares.....	21
Figura 10 - Mobile solar - Containers	22
Figura 11 - Fluxograma - construção da plataforma móvel	24
Figura 12 - Impressora 3D - Modelo Sethi 3D	25
Figura 13 - Filamento ABS	26
Figura 14 - Primeiras peças do projeto imprimidas - Sethi 3D	27
Figura 15 - Peças - ao fundo o "fatiador" do software Cura	28
Figura 16 - Software - Ultimaker Cura 5.2.1	28
Figura 17 - Componentes - Drive Gear Assembly.....	30
Figura 18 - Componentes - Gear Link	30
Figura 19 - Componentes - Gear Stack Assembly	31
Figura 20 - Componentes - Motor Mount	31
Figura 21 - Componentes - Motor Mount 2.....	32
Figura 22 - Componentes - Stage Link.....	32
Figura 23 - Componentes - Completo	33
Figura 30 - Circuito elétrico - Interface de programação	34
Figura 31 - Fluxograma - Programação Arduino	35
Figura 24 - Componente Elétrico - LDR	37
Figura 25 - Componente elétrico - Jumpers	38
Figura 26 - Componente elétrico - Resistores.....	38
Figura 27 - Componente elétrico - Arduino UNO.....	39
Figura 28 - Componente elétrico - ProtoBoard.....	39
Figura 29 - Componente elétrico - Motor Servo	40
Figura 32 - Projeto Finalizado - Plataforma móvel solar.....	40
Figura 33 - Leitura da resistência dos 5 LDRs	41

Figura 34 - Projeto finalizado com placa solar acoplada	42
Figura 35 - Sistema Fixo x Sistema com seguidor	42
Figura 36 - Potência gerada pelos painéis fixo e móvel	50
Figura 37 - Plataforma móvel solar proposta por BLASZCZAK.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades comparativas - ABS, PLA, PETG e TPU	25
Tabela 2 - Resultados em Potência (Wh) - Placa fotovoltaica de 1,2W.....	43
Tabela 3 - Custo do motor servo e itens de fixação (parafusos e porcas).....	44
Tabela 4 - Preço médio do filamento de ABS.....	44
Tabela 5 - Custo do material para a impressão de cada componente utilizando ABS	45
Tabela 6 - Componentes, tempo gasto para imprimir energia gasta para imprimir as peças e custo	46
Tabela 7 - Economia que o protótipo poderá proporcionar utilizando uma placa fotovoltaica de 1,2W	46
Tabela 8 - Fluxo de caixa & TIR (Cenário otimista).....	47
Tabela 9 - Fluxo de caixa & TIR (Cenário intermediário).....	48
Tabela 10 - Fluxo de caixa & TIR (Cenário pessimista)	48
Tabela 11 - Resultados utilizando uma placa fotovoltaica de 545W.....	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Motivação	18
1.2 Objetivos	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3 METODOLOGIA	23
3.2 Programação do Arduino e circuito elétrico	34
3.3 Análise de custo	35
4 RESULTADOS	37
4.1 Materiais utilizados	37
4.1 Análise de custo do protótipo	43
4.2 Discussão	48
5 CONCLUSÃO	52
5.1 Próximos passos	54
6 REFERÊNCIAS	55
7 APÊNDICE	60
7.1 Código Arduino	60
8 ANEXOS	65

1 INTRODUÇÃO

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão da luz em eletricidade por meio do fenômeno fotovoltaico. Por essa razão, ela passou a ser utilizada em diversas aplicações, desde uso doméstico, hospitais e indústrias. Segundo (MACHADO, 2014), o efeito fotovoltaico foi descoberto por Edmond Becquerel em 1839, observando um experimento que se baseava em duas placas de latão imersas em eletrólito, ele reparou que as placas produziam eletricidade quando em contato com os raios solares.

Conforme afirmado por Buhler (2019, p.3) e pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2017), a matriz energética brasileira é constituída principalmente por fontes hídricas (chegando a aprox. 65% em 2017). Segundo o Portal Solar, a energia solar que é utilizada no Brasil representa 1,7% de toda energia consumida no país, esse valor representa um número baixo quando comparado com a energia hídrica, apesar disso, a utilização de energia fotovoltaica tem crescido nas regiões Sul e Sudeste.

A energia fotovoltaica é não poluente, renovável, limpa e silenciosa, pode ser usada em locais distantes da rede elétrica, requer pouca manutenção, é muito fácil de instalar e com baixo custo de manutenção. Contudo, um dos problemas relacionados ao uso da energia fotovoltaica, é dado pelo seu desempenho na conversão de energia fotovoltaica em energia elétrica. Por exemplo, as placas solares tradicionais são instaladas em estruturas fixas (essas placas são chamadas de “estáticas” neste projeto), o que não permite o acompanhamento da movimentação do sol durante o passar do dia. Conforme a Figura 1, é possível notar que a luz solar em determinado horário não está atingindo a placa solar, ou seja, os raios solares deixam de ser aproveitados, isso diminui o rendimento de conversão de energia das plataformas estáticas.

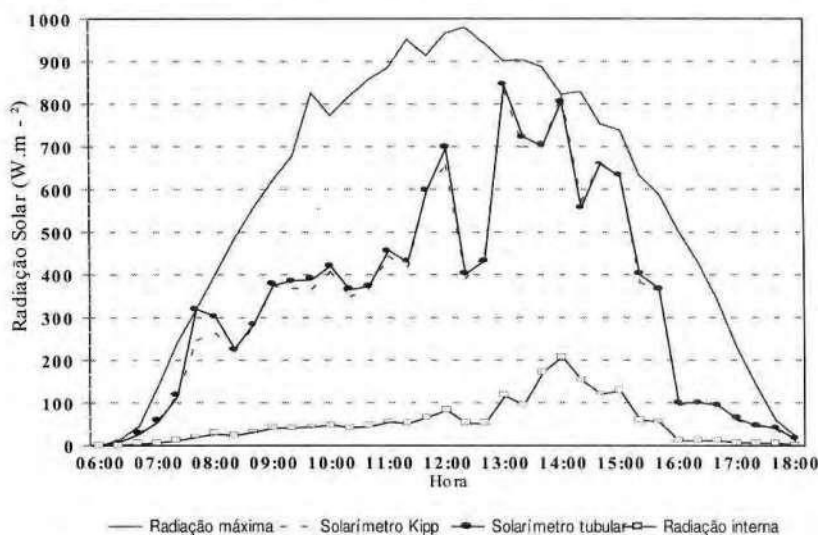
Figura 1 - Placa solar estática



Fonte: Autor

Segundo o estudo de Wandelli (1999, p.11), na Figura 2 é mostrado que a radiação solar vai crescendo durante o dia, alcança seu máximo ao meio-dia e vai decaindo até às 18 horas. Uma plataforma fixa precisa estar dimensionada em uma posição que seja favorável a máxima capacitação de luz solar, entretanto, é inevitável que captação da radiação solar não diminua com uma plataforma que não consiga acompanhar a movimentação solar.

Figura 2 - Comparação - Radiação solar x Horas



Fonte: WANDELLI (1999, p.11)

Para resolver o problema da falta de aproveitamento energético das plataformas estáticas, é preciso que, de alguma forma, a plataforma acompanhe a luz

solar, adaptando assim a quantidade de posições ou grau de liberdade de forma a aumentar a eficiência na captação de radiação luminosa.

Um exemplo dessa aplicação pode ser observado na Figura 3, essa estrutura foi montada para ter a capacidade acompanhar a luz solar. *Sunflower* é o nome que os seus fabricantes a deram por, justamente se comportar como se fosse um girassol.

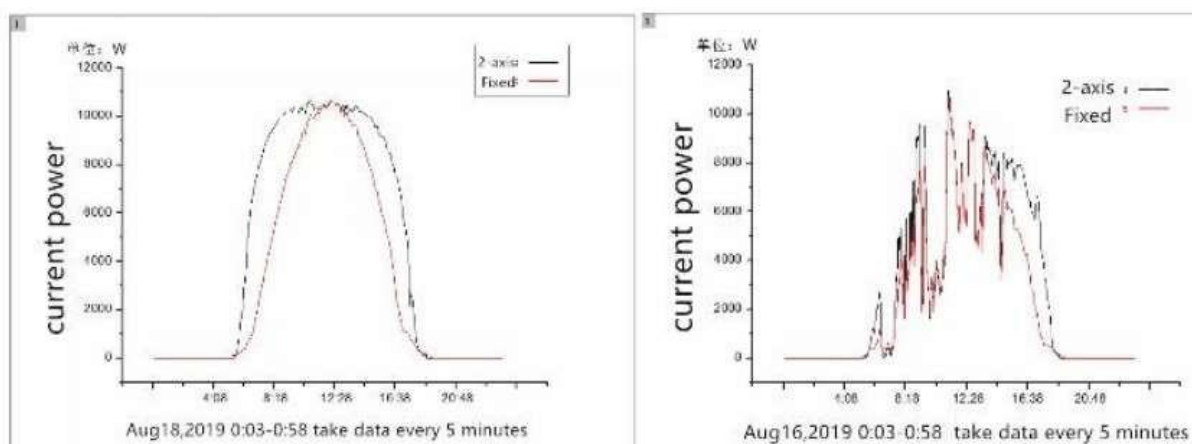
Figura 3 - Protótipo *Sunflower*



Fonte: Cristofani, e col. (2019).

Instalar um seguidor solar pode trazer algumas vantagens, como é observado na Figura 4, nota-se que a radiação solar se manteve máxima por mais tempo do que a plataforma fixa, aumentando assim a sua eficiência.

Figura 4 - Comparação - Energia plataforma fixa x plataforma móvel



Fonte: (ROBERT; PACHECO, 2022)

Entretanto, existe uma certa complexidade em construir uma plataforma móvel solar, é preciso escolher o material certo, afinal a estrutura ficará a céu aberto e, portanto, é preciso que ela suporte as condições climáticas. Além disso, as peças apresentam uma complexidade maior quando comparado com as plataformas fixas convencionais e isso pode dificultar o processo produtivo.

Em relação à estrutura das plataformas utilizadas para os painéis fotovoltaicos, elas podem ser elaboradas por métodos tradicionais de fabricação, ou utilizando técnicas mais modernas como a manufatura aditiva. Nesse sentido, é possível definir a manufatura aditiva pelo emprego de equipamentos que fabricam objetos por meio de adição de material, ou seja, o material é adicionado camada por camada até formar uma estrutura em 3D.

Por meio de um sistema CAD (*Computer Aided Design*) e um modelo digital tridimensional (3D) a impressora 3D é capaz de elaborar qualquer objeto dentro das limitações físicas (capacidade volumétrica) da própria impressora. Como pode ser observado na Figura 5 , o protótipo é um seguidor de luminosidade no qual foi utilizado a impressão 3D para construir a estrutura que suporta a placa solar.

Figura 5 - Protótipo - Seguidor de luminosidade feito através de impressão 3D



Fonte: (PEREIRA,2018)

Tal como destacado por (RODRIGUES, 2016), alguns pontos sobre manufatura aditiva podem ser considerados, como a redução de etapas e processos na criação de um produto, os métodos convencionais de fabricação podem deixar diversos resíduos ao fabricar um objeto, por exemplo, os cavacos que são gerados em processos de fabricação. Neste caso, a manufatura aditiva vai economizar material, afinal, ela pode produzir uma peça em uma única etapa, sem a necessidade de acabamento.

A manufatura aditiva, também é usada para produzir bens complexos, como implantes médicos personalizados, e está cada vez mais surgindo como parte integrante da cadeia produtiva do setor industrial. Sendo assim, esse projeto utiliza a manufatura aditiva para a construção de uma estrutura com graus de liberdades suficientes para se movimentar de acordo com a posição do sol.

Um exemplo dessa aplicação é o projeto chamado *Spherical Parallel Manipulator (SPM)*, projetado e construído pelo canal *plusalphaDesigns* do site *Thingiverse*. Essa estrutura foi construída a partir de uma impressora 3D, dessa forma, foi projetada para ter diversos graus de liberdade, podendo girar em torno do seu próprio eixo. Com isso, este projeto utiliza como base o SPM para a elaboração da plataforma móvel para os painéis fotovoltaicos, como observado na Figura 6.

Figura 6 - Spherical Parallel Manipulator



Fonte: (plusalphaDesigns, 2019)

Com tudo, essa plataforma acima pode ter diversas aplicações, uma delas é suportar uma placa solar, para que dessa forma a placa solar possa ser movimentada

juntamente com a estrutura. O *Spherical Parallel Manipulator* serviu de inspiração para criar a estrutura do protótipo proposto neste trabalho.

1.1 Motivação

Segundo a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, o Brasil consumiu 64.736 MW médios em 2021, volume 4,1% maior em relação ao ano anterior. Dessa forma, procurar alternativas para substituir a energia proveniente de fontes poluentes e melhorar a eficiência dos sistemas de geração de energia já existentes é um tema que precisa ser levado em consideração, por isso, este projeto visa possibilitar um melhor aproveitamento da energia fotovoltaica, aproximando o planeta de uma energia cada vez mais limpa, sustentável e eficiente.

1.2 Objetivos

Este estudo tem como objetivo geral estudar, adaptar e construir uma plataforma móvel utilizando manufatura aditiva. A plataforma tem a finalidade de acompanhar a luz solar visando aumentar a captação e transformação em energia elétrica.

Para os objetivos específicos, pode-se listar as seguintes etapas:

- Estudar e selecionar a melhor estrutura que acompanhe a posição da luz solar.
- Definir o sistema que seja responsável pela identificação da posição relativa do sol em relação à plataforma;
- Realizar o projeto e a fabricação da estrutura da plataforma por meio da manufatura aditiva (impressão 3D);
- Realizar a programação no Arduino para o controle da plataforma de forma a atender os objetivos do projeto;
- Realizar uma análise de custo do protótipo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A utilização de rastreadores solares ou *Trackers* está se tornando cada vez mais usual em usinas fotovoltaicas em todo o mundo, uma vez que a indústria solar tem manifestado seus grandes ganhos. Um *Tracker*, como é possível observar na Figura 7 , é um aparelho que retifica a posição dos painéis solares várias vezes ao dia, ampliando a geração de energia solar ao longo do caminho solar.

Segundo (REIS, 2017), quando comparado uma plataforma solar estática a uma plataforma com rastreamento solar, a captação dos raios solares pode aumentar de 50% na temporada de verão e 20% na temporada de inverno, entretanto, esses valores podem mudar dependendo da localização em que a plataforma for testada. Sua instalação também exigirá mais trabalho e tempo, aumentando os custos.

Além disso, devemos levar em consideração a manutenção adicional exigida por esse tipo de sistema, que, em relação a plataforma fixa, existe a desvantagem dos custos adicionais de manutenção.

Figura 7 - Tracker - Seguidor de luminosidade



Fonte: REIS, 2016

O projeto representado na Figura 8, realizado por (FARICELLI, F.F ,2008) tem uma estrutura simples, contendo apenas um eixo e o suporte para movimentar a

plataforma em apenas dois graus de liberdade¹. Ter uma estrutura simples facilita a fabricação do protótipo em alta escala e que pode ser facilmente aplicado em casas e indústrias.

Entretanto, possuir apenas dois graus de liberdade limita as direções em que as placas solares serão direcionadas. Por exemplo, em navios ou ônibus, este tipo de rastreador solar não é apropriado já que em determinados momentos as placas solares poderão não estar direcionadas para os raios solares.

Figura 8 - Painel móvel - dois graus de liberdade



Fonte: (FARICELLI, 2008)

De fato, uma plataforma móvel é capaz de aumentar o tempo que a placa solar permanece em contato com os raios solares. Na Figura 9 é possível notar que o trabalho realizado por (OLIVEIRA, 2008) possui dois painéis solares, essa característica aumenta a captação de energia fotovoltaica, afinal, duas placas solares trabalharão para gerar energia. A estrutura funciona semelhante ao protótipo discutido na Figura 6, neste caso, a estrutura também possui dois graus de liberdade.

¹ se uma plataforma se move apenas para a esquerda ou para direita, ela possui dois graus de liberdade, se além dessas movimentações a plataforma se movimentar para frente, ela terá 3 graus de liberdade.

Figura 9 - Estrutura móvel com dois painéis solares



Fonte: (OLIVEIRA, 2008)

A proposta da startup *PowerMoveIt*, por sua vez, é aproveitar contêineres para armazenar painéis solares conforme é possível observar na Figura 10, disponibilizando eletricidade solar em qualquer lugar, tais como, campos de emergência, ajuda humanitária, deserto, irrigação, canteiros de obras, entre outros.

Apesar de ser uma alternativa para resolver o problema de falta de energia em lugares mais isolados, esse projeto é limitado por seu tamanho, e pela necessidade de muito esforço para transportá-lo. Por exemplo, colocá-lo em um navio poderia ser um problema, visto que, em navios logísticos o espaço é uma variável muito importante, por isso, seria mais interessante buscar alternativas que a estrutura fosse mais leve e menor.

Figura 10 - Mobile solar - Containers



Fonte: Power move it

3 METODOLOGIA

A Figura 11 mostra o fluxograma do processo de elaboração da plataforma móvel proposto neste projeto.

Na primeira fase “seleção e impressão” foi estudada a melhor estrutura para que os objetivos específicos e gerais proposto aqui fossem alcançados, para isso, a estrutura precisaria alcançar um grau de liberdade de 360°, além disso, poder ser fabricada por impressão 3D. Após a escolha da estrutura, foi realizado a impressão das peças, acabamento e a montagem da estrutura.

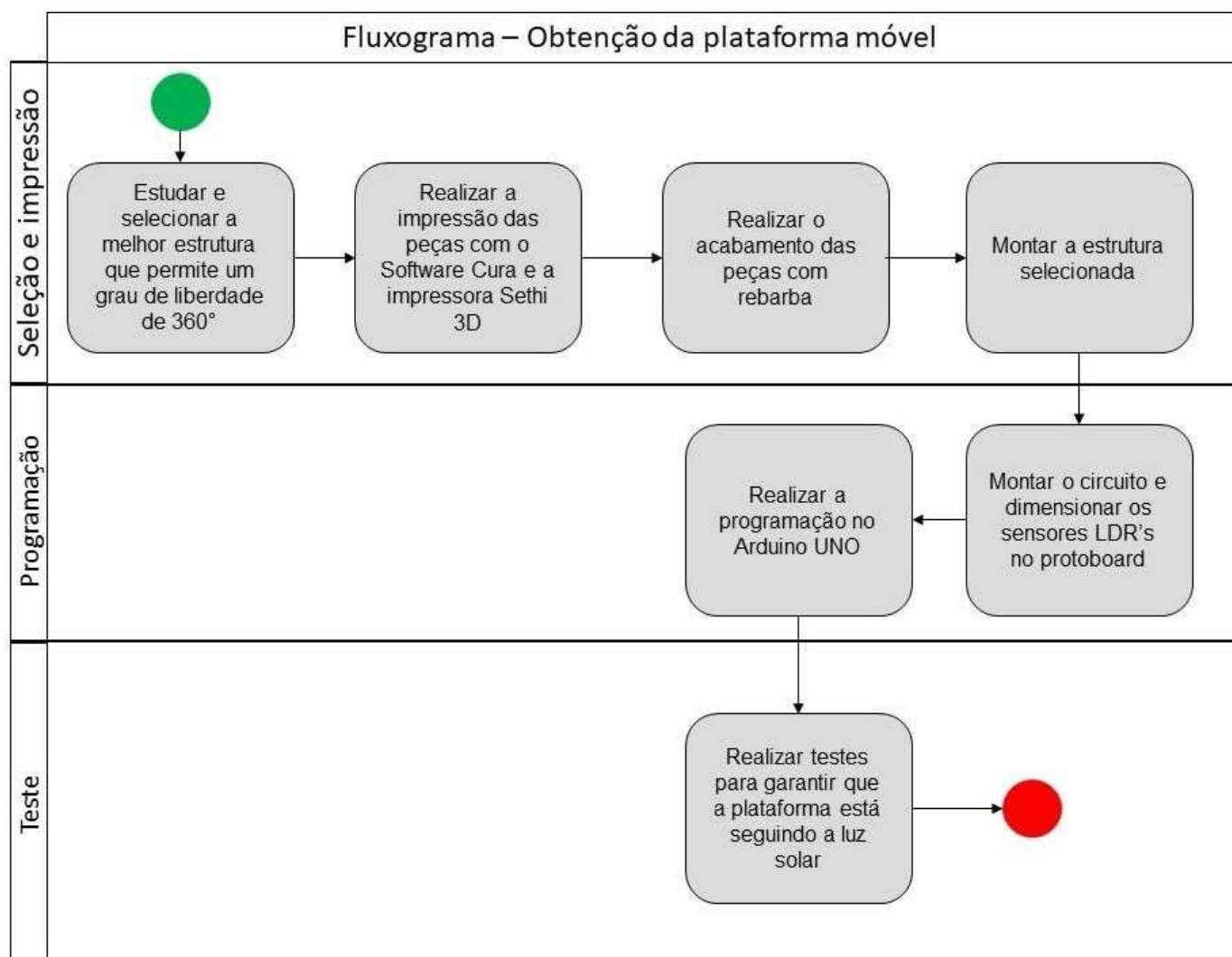
Na fase dois “programação” foi montado no protoboard o circuito responsável pela localização da energia solar, e posteriormente foi realizada a programação no Arduino UNO.

Na última fase “teste” foi necessário testar a plataforma para certificar que a estrutura realmente está seguindo a luz solar, e dessa forma, poder ser aplicado. Sendo assim, atingindo os objetivos proposto.

Além disso, foi realizado uma análise econômica da estrutura para identificar a viabilidade econômica do protótipo. Dentro da análise econômica temos os seguintes pontos:

- Custos das peças;
- Custo para a impressão das peças;
- Custo total do protótipo;
- Análise da TIR (Taxa interna de Retorno).

Figura 11 - Fluxograma - construção da plataforma móvel



Fonte: Autor

Ilustrada na Figura 12, a Sethi 3D foi a impressora utilizada para imprimir as peças, a partir de filamento ABS, este material foi escolhido exclusivamente pelo seu baixo custo, suas propriedades podem ser observadas na Tabela 1.

Uma das propriedades importantes, é a temperatura de transição Vítrea, é possível notar que entre os 4 materiais o ABS é o que tem a temperatura mais elevada. Isso quer dizer que, para o material começar a ter suas propriedades modificadas devido ao calor, será necessário ultrapassar a temperatura de 98°C. Porém, para fins de aplicação, o ABS não é o mais recomendado, afinal, ele perde propriedades físicas ao entrar contato com a luz UV. Entretanto o ABS possui um baixo custo, o que facilita uma prototipação mais econômica.

Tabela 1 - Propriedades comparativas - ABS, PLA, PETG e TPU

Propriedades	ABS	PLA	PETG
Densidade	1,04 g/cm ³	1,24 g/cm ³	1,27 g/cm ³
Temperatura da Extrusora	225-240°C	190-220°C	240-260°C
Temperatura da Mesa	90-120°C	55-70°C	80-100°C
Transição vítrea	98°C	55°C	70°C
Resistência à tração	46 Mpa	60 Mpa	50 Mpa
Alongamento à ruptura	2%	6%	130%
Resistência à flexão	79 Mpa	83 Mpa	70 Mpa
Resistência ao impacto	240 J/m	16 J/m	101 J/m
Odor ao imprimir	✓	-	-
Mesa aquecida	✓	Opcional	✓
Retração térmica	✓	-	-
Exposição ao sol	✓	-	✓

Fonte: R3dy, 2019

Figura 12 - Impressora 3D - Modelo Sethi 3D



Fonte: 3DLab, 2022

Um exemplo de filamento ABS é mostrado na Figura 13, é importante ressaltar que essa imagem é meramente ilustrativa, o ABS utilizado no protótipo é de cor cinza.

Figura 13 - Filamento ABS

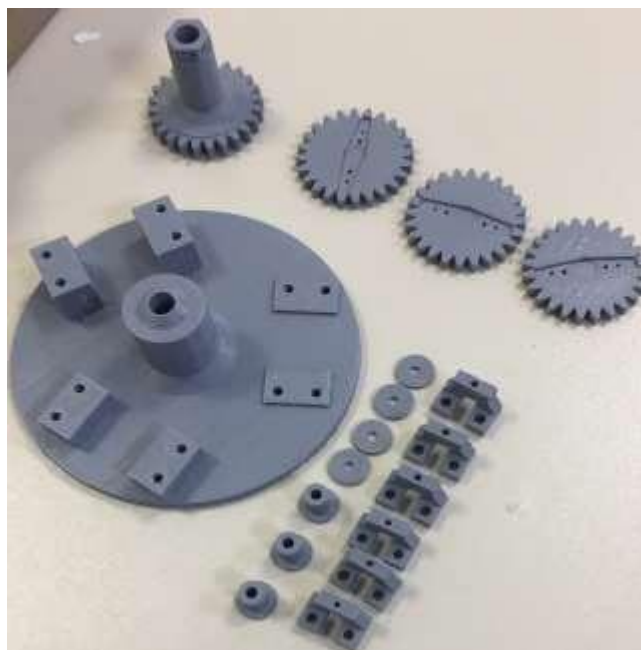


Fonte: Electrónica Embajadores, 2022

Como já foi mencionado anteriormente, a *Spherical Parallel Manipulator* (Figura 6) serviu de inspiração para a construção da estrutura desse projeto. Afinal, essa estrutura tem muitos graus de liberdade, sendo possível mover o “*Top Stage*” para norte, sul, leste, oeste e centro. Essa estrutura é perfeita para permitir que a placa “siga” a luz solar.

A impressão 3D foi usada para criar a estrutura planejada, as peças foram impressas uma a uma e ao final da impressão foram fixadas por parafusos e fios que sustentam a estrutura, na Figura 14 é possível observar as peças do protótipo enfileiradas após saírem da impressora 3D.

Figura 14 - Primeiras peças do projeto imprimidas - Sethi 3D



Fonte: Autor

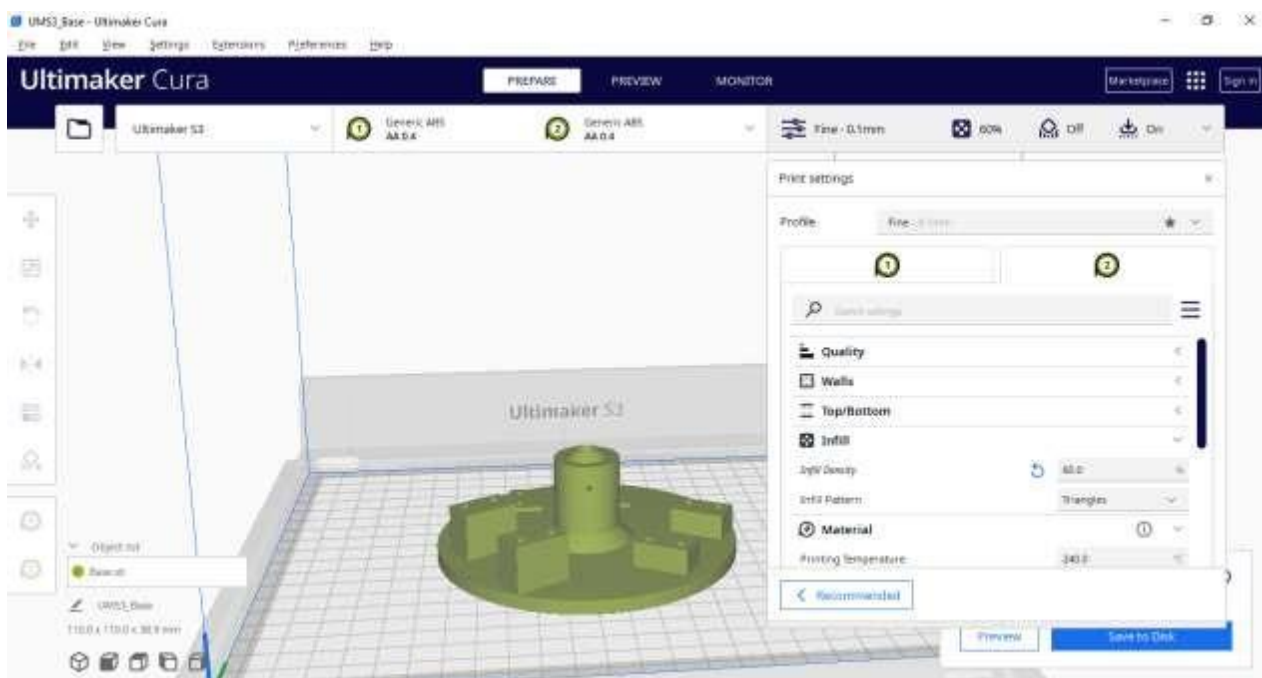
O Cura é um software de fatiamento da Ultimaker para suas impressoras 3D, embora também seja considerado um software padrão, pois é fácil de usar com a maioria das outras impressoras 3D. Seu sistema de *plug-ins* concede uma fácil dimensão da funcionalidade. A função do Cura é converter o modelo 3D em camadas e colocá-las uma sobre a outra para formar um objeto impresso. O arquivo gerado é chamado de código G, que é o código que as impressoras 3D operam. Em outras palavras, o fatiador é responsável por converter o arquivo de modelo criado em 3D em um formato legível pela impressora com as configurações de impressão, é possível observar uma peça feita através do software na Figura 15 e a interface do Cura na Figura 16.

Figura 15 - Peças - ao fundo o "fatiador" do software Cura:



Fonte: Autor

Figura 16 - Software - Ultimaker Cura 5.2.1



Fonte: Autor

Peças impressas:

- *Base*
- *Drive Gear: 3 unidades*
- *Gear Level 1*
- *Gear Level 2*
- *Gear Level 3*
- *90deg Link: 3 unidades*
- *Link Level 1*
- *Link Level 2*
- *Link Level 3*
- *Motor Bracket: 6 unidades*
- *Link Pin: 3 unidades*
- *Stack Pin*
- *Stage Pin: 3 unidades*
- *Top Stage*
- *Washer: 6 unidades*

Itens adicionais:

- *SG90 Servo-motor: 3 unidades*
- *Servo-horns for servo-motor: 3 unidades*
- *M2 Screw (12mm): 3 unidades*
- *M2 Nut : 3 unidades : 12 unidades*
- *M3 Screw (12mm): 12 unidades*
- *M3 Screw (20mm): 6 unidades*
- *M3 Nut : 18 unidades*

Para que o motor realize o trabalho de mover a plataforma solar, foram introduzidos o Servo Horn e o Drive Gear para realizar o movimento relacional, conforme Figura 17, é possível notar que ambas as peças possuem o encaixe para serem acopladas ao motor servo.

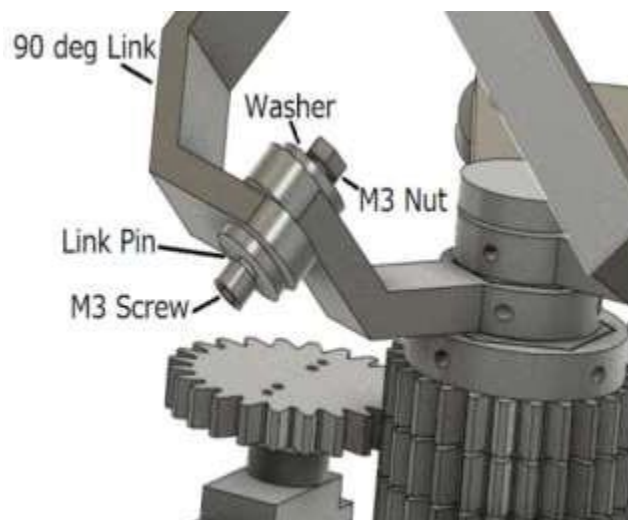
Figura 17 - Componentes - Drive Gear Assembly



Fonte: (plusalphaDesigns, 2019)

Na Figura 18 é possível observar a ilustração das peças responsáveis pela rotação do motor, essas exercem a movimentação da placa, estão fixados pelos itens *Washer* e *M3 Nut*.

Figura 18 - Componentes - Gear Link



Fonte: (plusalphaDesigns, 2019)

Para cada *Gear Level* uma movimentação diferente é executada, dessa forma, a plataforma pode ser movimentada de acordo com a rotação desses três itens, e assim muitos graus de liberdade são possíveis com essa estrutura, conforme Figura 19.

Figura 19 - Componentes - Gear Stack Assembly



Fonte: (plusalphaDesigns, 2019)

A Figura 20 ilustra o Motor Mount responsável por fixar o motor servo na base do protótipo, fixados por M2 Nut e M2 Screw.

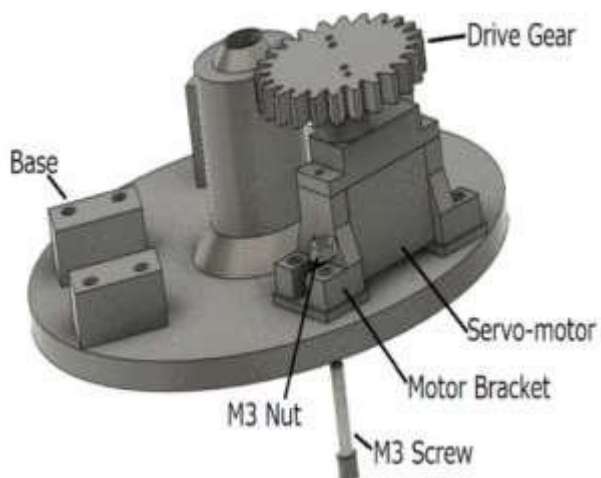
Figura 20 - Componentes - Motor Mount



Fonte: (plusalphaDesigns, 2019)

Após fixar o Motor Bracket à base do protótipo, é preciso realizar o mesmo procedimento para os dois motores restantes, além disso, na Figura 21 é possível observar uma forma cilíndrica no meio da base, essa que será responsável por acoplar os itens da Figura 19.

Figura 21 - Componentes - Motor Mount 2

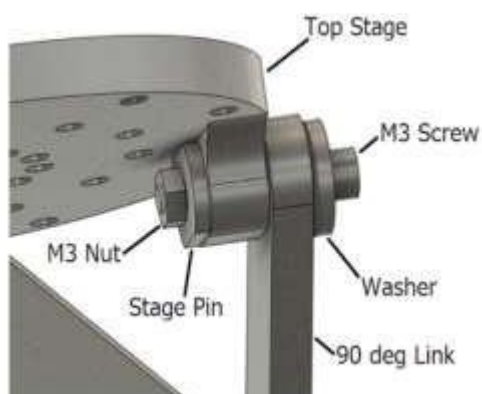


Fonte: (plusalphaDesigns, 2019)

O Top Stage é fixado com os itens abaixo, essa parte da estrutura é a responsável por suportar a placa solar.

Conforme a Figura 22 ilustra, o Top Stage é acoplado ao resto das estruturas com o M3 Screw, M3 Nut, Stage Pin, Washer e 90 deg Link.

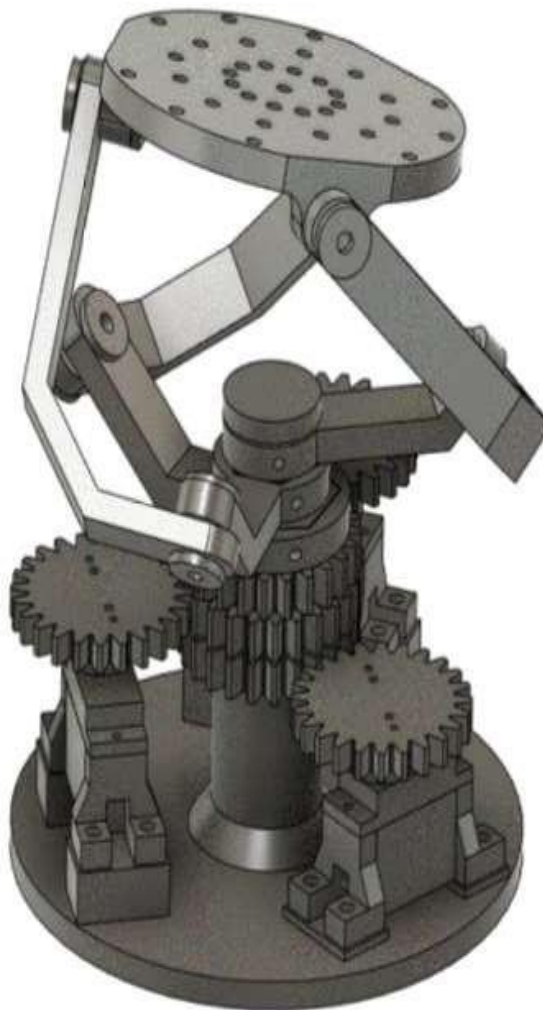
Figura 22 - Componentes - Stage Link



Fonte: (plusalphaDesigns, 2019)

Após realizar todos os procedimentos, o resultado da estrutura pode ser observado na Figura 23.

Figura 23 - Componentes - Completo



Fonte: (plusalphaDesigns, 2019)

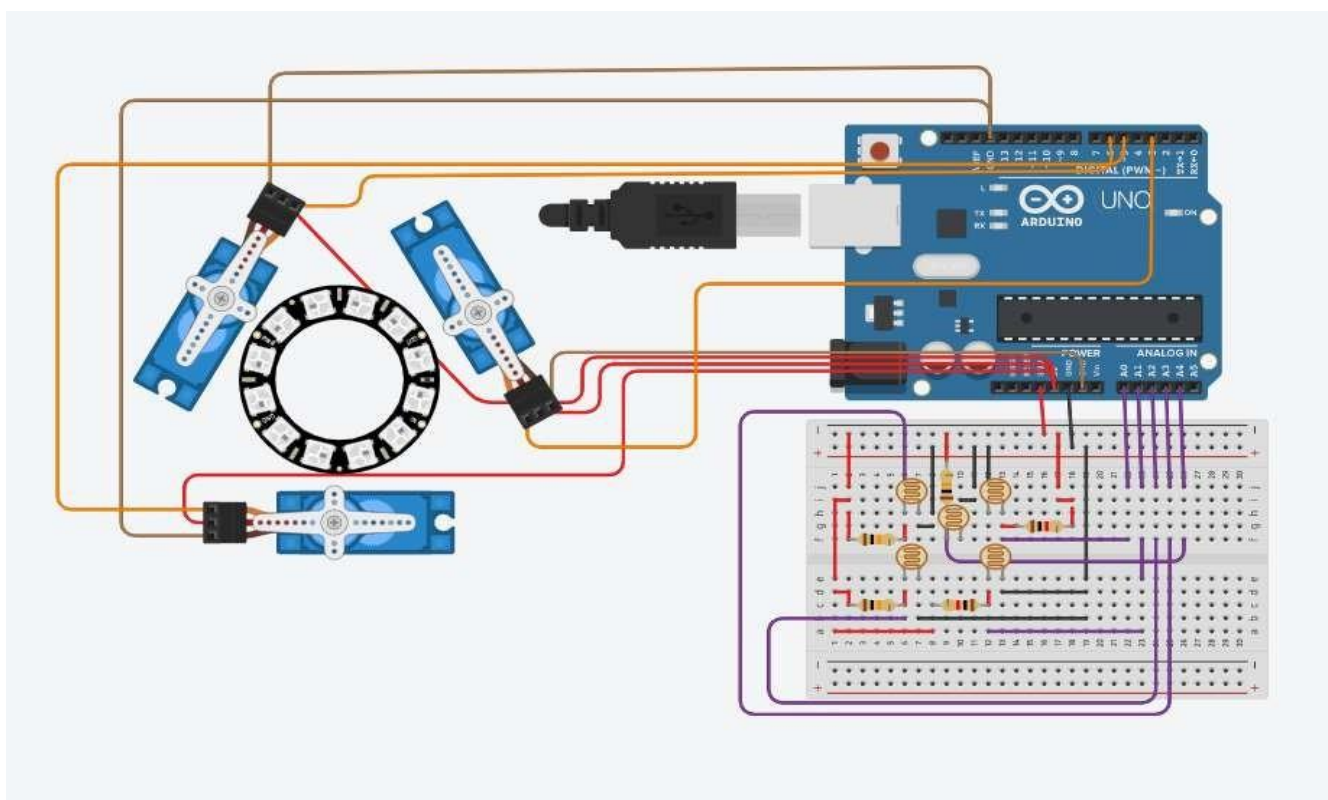
No [ANEXO 1](#), são apresentadas todas as peças projetadas no protótipo juntamente com suas dimensões. Foi realizado upload de cada componente do protótipo e com o auxílio da ferramenta Sketchup foi possível medir precisamente cada uma delas.

3.2 Programação do Arduino e circuito elétrico

Após finalizada a construção da estrutura, foi realizada a programação do Arduino para que ele consiga identificar a localização do sol através dos sensores LDR. Para entender essa lógica, é preciso saber que o sensor LDR diminui sua resistência quando exposto à luz.

Os LDRs funcionam como gatilhos para a movimentação dos 3 motores (Micro servo 9g), dessa forma, onde tiver menor incidência da luz solar a programação irá entender que naquela posição não é vantajoso manter a placa solar. Inicialmente, 5 sensores LDR foram posicionados no protoboard, sendo eles: atrás, esquerda, direita, frente e centro, conforme representado na Figura 30. O circuito foi simulado no site *tinkercad.com* no qual é possível simular um Arduino juntamente com sua programação e componentes elétricos.

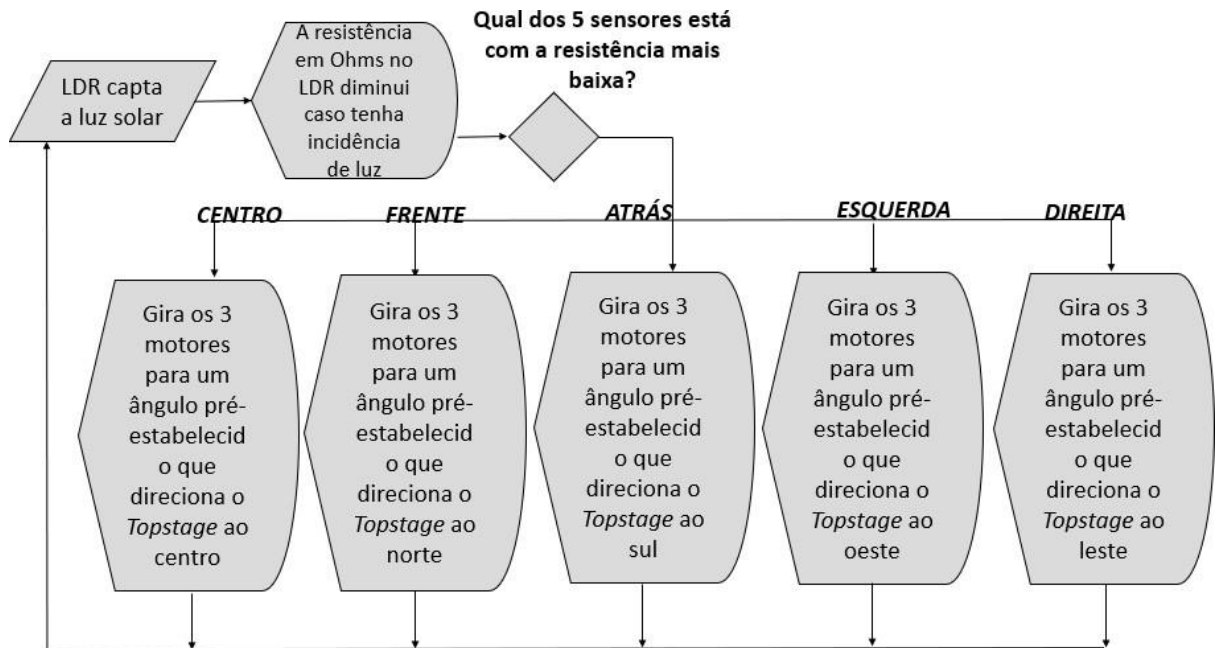
Figura 24 - Circuito elétrico - Interface de programação



Fonte: Tinkercad.com

A função dos sensores é indicar para qual lado o motor deve girar para posicionar a placa na direção da luz solar, como é observado. Para melhor entendimento foi montado um fluxograma da programação conforme a Figura 31.

Figura 25 - Fluxograma - Programação Arduino



Fonte: Autor

Após o LDR captar a luz solar, a resistência dele diminui. Dessa forma, o algoritmo do Arduino precisa identificar qual dos 5 sensores está com a menor resistência em ohms, para que dessa forma possa ser movimentado a placa solar para a mesma posição do LDR com maior incidência solar. Por exemplo, caso o sensor com mais incidência solar seja o LDR “Center”, os 3 motores irão girar para que a placa solar juntamente com o *Top Stage* fique na mesma posição desse LDR, sendo assim, recebendo a mesma incidência solar.

3.3 Análise de custo

Para calcular o custo por grama, levando em consideração o peso do ABS temos a seguinte fórmula:

$$\text{Custo por gramas de ABS} = \frac{\text{Média do preço do ABS}}{1000Kg} \quad (1)$$

O custo para se produzir uma peça levando em consideração a potência utilizada, pode-se considerar a seguinte equação:

$$\text{Custo por kW} =$$

$$\text{Tempo (h)} \times \text{Potencia da impressora} \times 1,04 \text{ (Preço em R\$ por KWh no Brasil)} \quad (2)$$

Para realizar a análise de custo o primeiro passo é preciso definir a TMA (Taxa mínima de atratividade), em outras palavras, qual será o retorno mínimo que uma aplicação precisa ter. Geralmente é considerado a TMA como a taxa Selic, que segundo (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2022) está em 13,75% a.a, para que o protótipo proposto aqui seja viável a TIR tem que ser maior que a TMA ($TIR > TMA$).

A TIR é calculada igualando a um VPL (Valor Presente Líquido) cujo valor é zero, conforme a equação abaixo:

$$\sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1 + TIR)^i} - Investimento\ Inicial = 0 \quad (3)$$

- FC_i = fluxos de caixa do período
- i = período de cada investimento
- N = período final do investimento

Caso a TIR seja maior que a TMA, considera-se o protótipo viável, caso o cálculo resulte um em uma TIR negativa, neste caso, será inviável financeiramente.

4 RESULTADOS

A seguir será demonstrado os resultados que manufatura aditiva possibilitou, além de permitir a criação de peças e componentes personalizados que atendem a especificações de projeto específicas por uma fração do custo exigido por outros métodos de fabricação. Além disso, o resultado da análise econômica também será discutido.

4.1 Materiais utilizados

Após a construção da estrutura, foi montado o sensor responsável pela captação da luz solar. E para isso, foi utilizado os seguintes materiais que estão representados da Figura 24 até a Figura 29.

- Sensor LDR: 5 unidades;

Figura 26 - Componente Elétrico - LDR



Fonte: eletricalibrary.com

- Fios Jumpers;

Figura 27 - Componente elétrico - Jumpers



Fonte: institutodigital.com.br

- Resistor 10k Ohms: 5 unidades;

Figura 28 - Componente elétrico - Resistores



Fonte: institutodigital.com.br

- Arduino UNO;

Figura 29 - Componente elétrico - Arduino UNO



Fonte: institutodigital.com.br

- ProtoBoard;

Figura 30 - Componente elétrico - ProtoBoard



Fonte: institutodigital.com.br

- Motor Servo 9g (SG90): 3 Unidades.

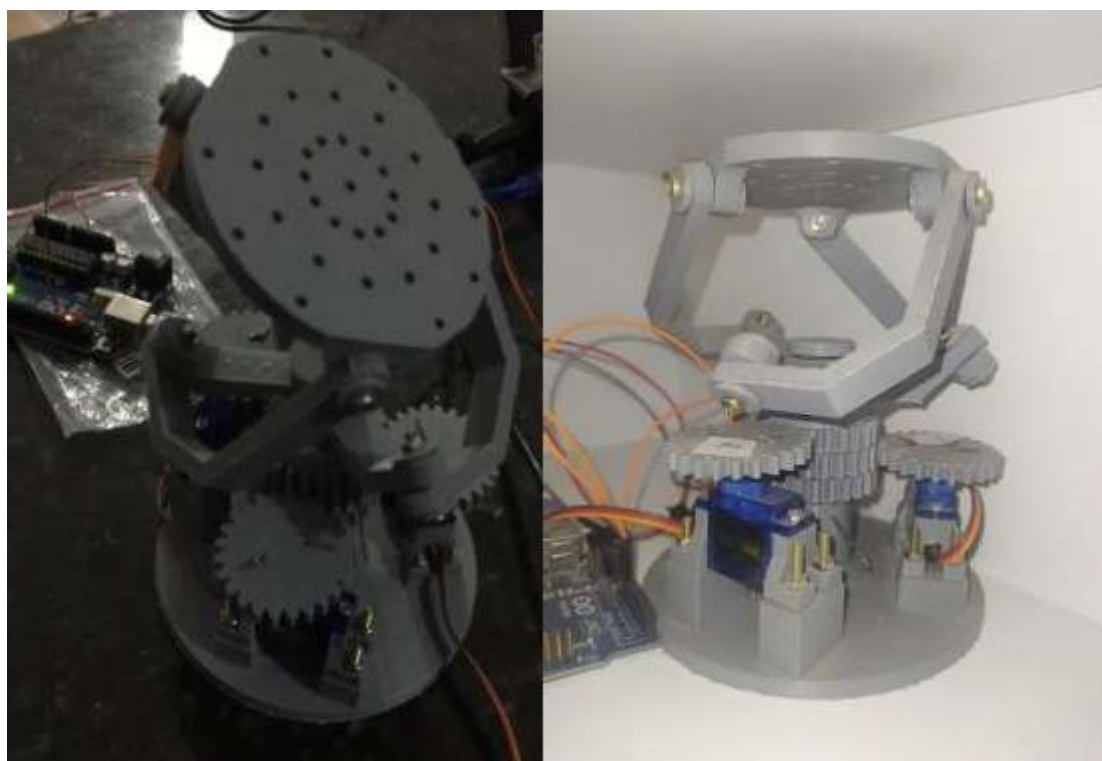
Figura 31 - Componente elétrico - Motor Servo



Fonte: institutodigital.com.br

O protótipo representado na Figura 32, se mostrou bastante eficiente em relação proporcionar diversos graus de liberdade, para dessa forma, seguir a luz solar. É possível notar pelo vídeo no [ANEXO 2](#) que, enquanto iluminado com a luz, o sensor indica ao Arduino que transfere a mensagem aos motores onde está a localização que têm mais incidência de luz.

Figura 32 - Projeto Finalizado - Plataforma móvel solar



Fonte: Autor

Uma das vantagens em ter uma estrutura que consegue se mover em diversos ângulos é a possibilidade de aplicação dessa plataforma em diversos tipos de ambientes. A manufatura aditiva permitiu modelar a estrutura para que ela tenha diversos tipos de inclinação, esse tipo de estrutura só foi possível realizar devido a facilidade em criar peças através da impressão 3D.

O sensor LDR se mostrou eficiente em relação a localizar a luz solar, a matriz de sensor fixada no protoboard permitiu que a maior incidência de luz solar mesmo sabendo que todos os sensores serão iluminados durante o dia, isso não atrapalhou a leitura enviada para o Arduino, é possível perceber que sempre terá um sensor com uma resistência menor em relação aos outros, é esse parâmetro que a programação entenderá como a localização que o motor deverá seguir, conforme a Figura 33.

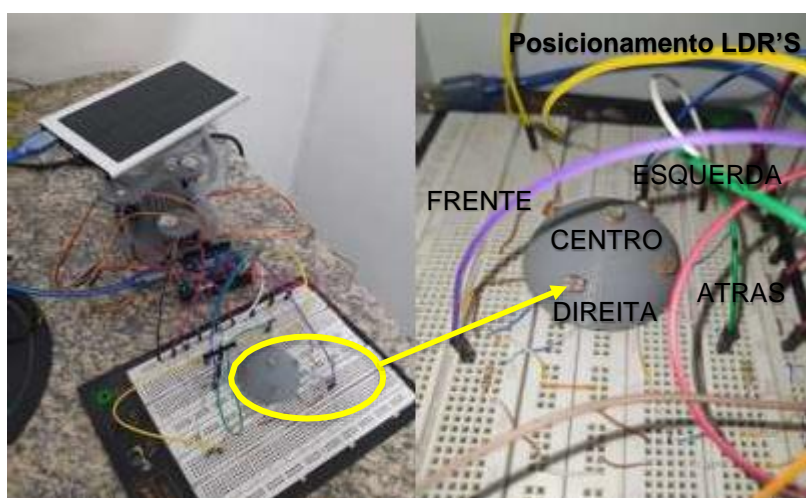
Figura 33 - Leitura da resistência dos 5 LDRs

```
LEITURAS LDRs  
CENTRAL: 924  
FRENTE: 952  
ATRAS: 937  
ESQUERDA: 908  
DIREITA: 947  
LEITURAS LDRs
```

Fonte: Autor

Quanto mais incidência de luz, menor será a resistência do LDR. Para que isso aconteça de forma prática os sensores precisam estar afastados em uma distância e ângulo diferentes. Conforme a Figura 34, é possível observar que tais sensores estão dispostos em uma matriz semiesférica que permite um distanciamento e diferença na direção.

Figura 34 - Projeto finalizado com placa solar acoplada

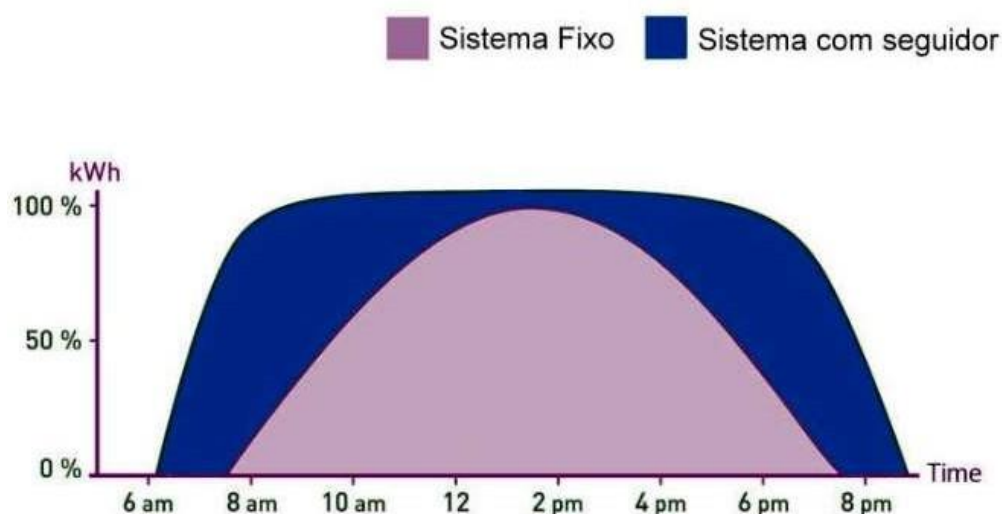


Fonte: Autor

Além disso, a estrutura foi capaz de suportar um peso de 1,6kg de uma bateria externa que é carregada pela luz solar. Essa resistência é muito importante para os próximos passos que envolverá a fixação da placa solar na estrutura, aguentar o peso sem danificar a integridade do protótipo era uma característica desejada, (o peso máximo que a estrutura suporta é 1,8kg).

Para fomentar a ideia de que a uma plataforma é mais eficiente que uma plataforma fixa, um estudo realizado por (REIS, 2017) mostra essa comparação na Figura 35.

Figura 35 - Sistema Fixo x Sistema com seguidor



Fonte: (REIS, 2017)

Outras vantagens mencionadas pelo estudo do (REIS, 2017) é que as plataformas móveis geralmente utilizam menos espaço para produzir a mesma quantidade de energia. Levando em consideração que um sistema móvel precisará de menos placas solares do que um fixo, conseqüentemente de menos espaço.

Além disso, como é possível observar no gráfico acima uma plataforma móvel pode fornecer energia de uma forma uniforme.

Considerando uma placa solar de 1,5kg, com uma dimensão de 110mm x 70mm e de geração 1,2 Wp² de potência, conforme a Tabela 2 , multiplicando a potência da placa solar pelas horas de exposição ao sol, teremos os resultados em Wh por dia, multiplicando por 30 teremos o valor mensal. O máximo de potência economizada foi de 432 Wh (com 12 horas de exposição solar), esse valor baixo é explicado pelas dimensões do protótipo e do máximo de peso que ela é capaz de suportar.

Tabela 2 - Resultados em Potência (Wh) - Placa fotovoltaica de 1,2W

Potência da placa solar (W)	Quantidade de horas que a placa ficará exposta ao sol diariamente	Wh por dia	Wh por mês
1,2	2	2,4	72
1,2	4	4,8	144
1,2	8	9,6	288
1,2	10	12	360
1,2	12	14,4	432

Fonte: Autor

4.1 Análise de custo do protótipo

Para cálculo do custo total do protótipo foi reunido todos os componentes necessários para a construção do mesmo, além disso, foi adicionado a quantidade e o preço de cada elemento, conforme a Tabela 3.

²² Wp é uma unidade de medida que correspondem ao watt pico, respectivamente. Ela é responsável por medir a potência gerada máxima.

Tabela 3 - Custo do motor servo e itens de fixação (parafusos e porcas)

Item	Quantidade	Custo (R\$)
SG90 Servo-motor	3	57,00
M2 Screw	3	9,00
M2 Nut	12	4,92
M3 Screw	12	3,48
M3 Nut	18	4,40
Total		78,80

Fonte: Autor

Em relação aos preços é importante salientar que pode haver alterações dependendo do site e da data que for pesquisado. Para realizar a precificação dos componentes feitos pela impressão 3D, foi pesquisado em 5 lojas diferentes o preço de um filamento do polímero ABS e calculado a média, conforme a Tabela 4 abaixo:

Tabela 4 - Preço médio do filamento de ABS

Local	Peso (kg)	Preço do filamento ABS (R\$)
3D LAB	1	65,90
TECNO CUBO	1	62,91
TOPINK 3D	1	61,90
Amazon	1	74,90
Shopee	1	69,90
Média		67,10
Preços pesquisados em 30/11/2022		

Fonte: Autor

Para saber o custo por grama de material gastado na impressora essa média foi dividida por 1000, conforme a equação a seguir.

$$\text{Custo por grama de ABS} = \frac{67,10}{1000} = 0,07 \frac{\text{R\$}}{\text{g}} \quad (1)$$

Sendo assim, para calcular o preço individual por componente é necessário multiplicar o custo por grama de ABS pelo peso de cada item, para isso, na Tabela 5 foi reunido todos os elementos imprimidos, a quantidade e preço unitário em gramas.

É importante ressaltar que o custo para se fabricar uma peça vai depender de alguns parâmetros de fabricação, por exemplo, enchimento da peça, ou seja o quanto de material que será depositado em uma peça (o aumento da densidade da peça pode ser obtido com a utilização de mais material, porém isso aumenta o seu custo). Outros

fatores que podem ser reduzidos para diminuir o custo é a redução do gasto energético da impressora 3D, e o tempo de fabricação de cada peça.

Tabela 5 - Custo do material para a impressão de cada componente utilizando ABS

Item	Quantidade	Peso unitário(g)	Peso total (g)	Custo (R\$)
Base	1	68	68	4,56
Gear drive	3	5	15	1,01
Gear Level 1	1	11	11	0,74
Gear Level 2	1	10	10	0,67
Gear Level 3	1	6	6	0,40
Link 90	3	7	21	1,41
Link level 1	1	4	4	0,27
Link level 2	1	4	4	0,27
Link level 3	1	5	5	0,34
Motor Bracket	6	2	12	0,81
Pin link	3	1	3	0,20
Pin Stack	1	4	4	0,27
Pin stage	3	1	3	0,20
Top Stage	1	28	28	1,88
Washer	6	0,1	0,6	0,04
Total	33	156,10	194,60	13,06

Fonte: Autor

Além dos custos associados aos materiais é preciso considerar o custo para imprimir cada uma das peças do protótipo, ou seja, o gasto com a energia necessária para derreter o ABS e moldá-lo de acordo com o projeto.

Sabendo que a potência da impressora Sethi 3D S3 é de 700W e que segundo o Ngsolar (2022) o custo do Kwh é de R\$ 1,04 foi feito um levantamento do tempo gasto com para se produzir cada uma das peças representados na Tabela 6.

Sendo assim, é possível calcular o custo para se produzir cada uma das peças na impressora 3D.

$$\text{Custo por kWh} = \text{Tempo (h)} \times 700\text{W} \times 1,04 \text{ (Preço em R\$ por Kwh no Brasil)} \quad (2)$$

Esse cenário pessimista, considera o maior gasto energético possível da impressora 3D, no caso, 700W

Tabela 6 - Componentes, tempo gasto para imprimir energia gasta para imprimir as peças e custo

Item	Quantidade	Tempo (h)	Tempo total (h)	kWh	Custo (R\$)
Base	1	33	33	23,1	24,02
Gear drive	3	3	9	6,3	6,55
Gear Level 1	1	6	6	4,2	4,37
Gear Level 2	1	5,5	5,5	3,85	4,00
Gear Level 3	1	3,8	3,8	2,66	2,77
Link 90	3	3,63	10,89	7,623	7,93
Link Level 1	1	2,5	2,5	1,75	1,82
Link Level 2	1	2,63	2,63	1,841	1,91
Link Level 3	1	3,15	3,15	2,205	2,29
Motor Bracket	6	1	6	4,2	4,37
Pin link	3	0,5	1,5	1,05	1,09
Pin Stack	1	2,13	2,13	1,491	1,55
Pin Stage	3	0,5	1,5	1,05	1,09
Top Stage	1	14,63	14,63	10,241	10,65
Washer	6	0,2	1,2	0,84	0,87
Total	33	82,17	103,43	72,401	75,30

Fonte: Autor

Somando o total da Tabela 3, Tabela 4, Tabela 5 e Tabela 6, chegamos a um custo total de R\$ 167,16, para se produzir uma unidade do protótipo. Utilizando os valores de kWh da Tabela 2, é possível calcular a economia por mês e por ano do protótipo representados na Tabela 7, considerando que o valor em R\$ é o um custo que seria poupado na energia elétrica. Afinal, esse cenário utiliza uma plataforma solar.

Tabela 7 - Economia que o protótipo poderá proporcionar utilizando uma placa fotovoltaica de 1,2W

Potência da placa solar (W)	Quantidade de horas que a placa ficará exposta ao sol diariamente	Wh por dia	Wh por mês	Economia por mês	Economia por ano (R\$)
1,2	2	2,4	72	R\$ 0,07	0,90
1,2	4	4,8	144	R\$ 0,15	1,80
1,2	8	9,6	288	R\$ 0,30	3,59
1,2	10	12	360	R\$ 0,37	4,49
1,2	12	14,4	432	R\$ 0,45	5,39

Fonte: Autor

Além do valor de economia é preciso saber o percentual de ganhos obtidos sobre o investimento da construção da plataforma ao fim de um período. Considerando o valor dos juros, podemos calcular a TIR (Taxa interna de Retorno).

O primeiro passo é preciso definir a TMA (Taxa mínima de atratividade), em outras palavras, qual será o retorno mínimo que uma aplicação precisa ter. Geralmente é considerado a TMA como a taxa Selic, que segundo (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2022) está em 13,75% a.a, para que o protótipo proposto aqui seja viável a TIR tem que ser maior que a TMA ($TIR > TMA$).

A TIR é calculada igualando a um VPL (Valor Presente Líquido) cujo valor é zero, conforme a equação abaixo:

$$\sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1 + TIR)^i} - Investimento\ Inicial = 0 \quad (3)$$

É importante ressaltar, que para o projeto da plataforma móvel proposto nesse trabalho, o máximo de peso que a plataforma suporta é de 1,8kg. Sendo assim, para os cálculos será considerado a placa de 1,2W. Na Tabela 8, foi colocado o máximo de economia/ano que a placa poderia trazer, considerando um cenário otimista, ou seja, sendo exposta 12 horas por dia ao sol e com um tempo de retorno de 5 anos.

Tabela 8 - Fluxo de caixa & TIR (Cenário otimista)

Período (ano)	Fluxo de caixa (R\$)
0	-167,16
1	5,39
2	5,39
3	5,39
4	5,39
5	5,39
TIR	-41%

Fonte: Autor

Sendo assim, o TIR de -41%, ou seja, é menor que a taxa Selic de 13,75%, sendo assim, o projeto com as dimensões e com a placa solar fotovoltaica proposta aqui se torna inviável financeiramente.

Para um cenário intermediário, ou seja, a placa neste caso será exposta 8 horas por dia aos raios solares, representado na Tabela 9.

Tabela 9 - Fluxo de caixa & TIR (Cenário intermediário)

Período (ano)	Fluxo de caixa (R\$)
0	67,16
1	3,59
2	3,59
3	3,59
4	3,59
5	3,59
TIR	-46%

Fonte: Autor

Para um cenário intermediários, ou seja, a placa neste caso será exposta 4 horas por dia aos raios solares, representado na Tabela 10.

Tabela 10 - Fluxo de caixa & TIR (Cenário pessimista)

Período (ano)	Fluxo de caixa (R\$)
0	-167,16
1	1,80
2	1,80
3	1,80
4	1,80
5	1,80
TIR	-55%

Fonte: Autor

Em todos os cenários a TIR é menor do que a taxa Selic. Desse modo, o investimento não será retornado no período proposto de 5 anos.

4.2 Discussão

Considerando uma estrutura idêntica realizada aqui nesse projeto, porém, com dimensões maiores o suficiente para suportar uma placa solar de 545W, e motores com potencias mais altas, teremos os resultados conforme a Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados utilizando uma placa fotovoltaica de 545W

Potência da placa solar (W)	Quantidade de horas que a placa ficará exposta ao sol diariamente	kWh por dia	kWh por mês	80% de eficiência	Economia DIA (R\$)	Economia MÊS (R\$)
545	2	1,09	32,7	0,872	R\$ 0,91	27,21
545	4	2,18	65,4	1,744	R\$ 1,81	54,41
545	8	4,36	130,8	3,488	R\$ 3,63	108,83
545	10	5,45	163,5	4,36	R\$ 4,53	136,03
545	12	6,54	196,2	5,232	R\$ 5,44	163,24

Fonte: Autor

O máximo de potência gerado pelo sistema é de 545W, considerando um cenário ideal onde faça sol durante todos os dias do mês, foi considerado também 20% de perda de energia para o sistema. Essa perda, se refere a energia que é perdida naturalmente durante a utilização dos equipamentos elétricos, normalmente essa energia é perdida em forma de calor. Mesmo com essas considerações é observado que os resultados são superiores ao da placa de 1,2W.

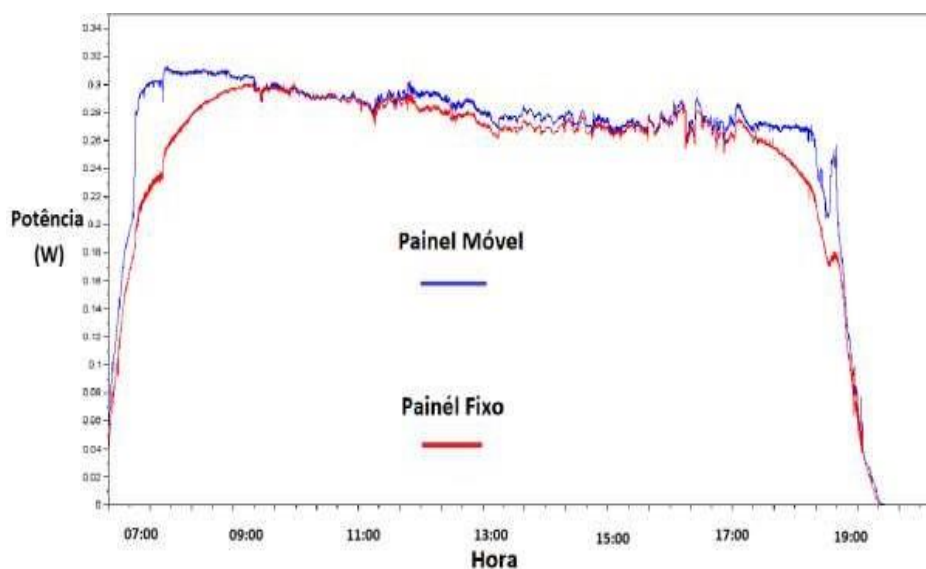
Dessa forma, se multiplicarmos o kWh por 1,04 R\$/kWh (preço do kWh no Brasil) teremos a economia gerada do mês, variando entre R\$ 0 e R\$ 163.

É claro que muitos fatores irão influenciar na energia final gerada, tais como, clima e quantidade de horas de exposição ao sol. Porém, é importante notar que na Figura 36 é mostrado que sistema com seguidores solares são capazes de atingir quase que 100% durante o dia inteiro. Isso se deve, pela movimentação da placa durante as diversas posições que o sol poderá ocupar no dia.

Segundo Blaszcak (2017) é possível notar que em determinados momentos do dia, o painel do monitor desenvolvido em seu estudo que tem um grau de liberdade de 180 graus, construído a partir de PVC e um motor responsável pela movimentação do painel. O estudo mostrou um aumento de desempenho que resultou em até 30 % mais energia sendo gerada pela plataforma solar fixa. Este valor máximo pode ser observado imediatamente após as 07:00h e pouco antes das 19:00h. A melhoria de produtividade das 11h30 às 14h30 foi de cerca de 3 %. Observamos que em determinados horários do dia a geração era praticamente a mesma nos dois painéis fotovoltaicos, como pode ser observado na Figura 36 por volta das 10:00h e às 16:00h. Pode-se reconhecer que a produção de ambos os painéis é máxima

durante a manhã e aguenta a diminuição gradativamente ao longo do tempo. Este fato pode ser explicado pelo aumento da temperatura dos dois painéis.

Figura 36 - Potência gerada pelos painéis fixo e móvel



Fonte: BLASZCZAK (2017)

Dessa forma, fica evidente que a introdução de painéis solares móveis são vantajosos. A maioria dos painéis solares móveis possuem uma inclinação de 180° , como é o caso do protótipo da Figura 37, ampliar essa inclinação para qualquer tipo de direção aumenta a quantidade de aplicações que as plataformas móveis solares podem ocupar e sua eficiência.

Figura 37 - Plataforma móvel solar proposta por Blaszczak



Fonte: Blaszczak (2017)

Quando a plataforma solar é fixada em terrenos que se movem constantemente como ônibus e navios é preciso levar em consideração a constante mudança de posição solar que a plataforma terá que acompanhar, e para isso, a estrutura desenvolvida neste trabalho supre essa necessidade em questão.

5 CONCLUSÃO

Para esse estudo, foi possível concluir que a estrutura construída a partir da manufatura aditiva, especificamente falando da impressão 3D, modelada a partir do material ABS, se mostrou muito eficiente com um grau de liberdade suficiente nos ângulos atrás, frente, centro, esquerda e direita. A estrutura em questão consegue se movimentar em diferentes ângulos, o que permite sua aplicação para plataformas moveis solares.

Além disso, a matriz de LDR permitiu que a estrutura siga a luz solar, juntamente com a programação realizada no Arduino UNO, esse sistema possibilita sua aplicação em áreas rurais onde não há internet, precisando apenas de energia elétrica.

Em relação a manufatura aditiva (impressão 3D), é uma técnica que proporcionou fabricar a estrutura complexa com um tempo inferior aos métodos tradicionais de modelação de polímeros, tais como calandragem, extrusão, fiação etc. Existe uma liberdade em se criar exatamente o que é preciso para o projeto. Dessa forma, foi possível concluir que a manufatura aditiva é uma solução prática para criação de protótipos e projetos que necessitam de uma complexidade ou não, de uma maneira, simples, fácil e rápida.

Além disso, protótipos pequenos não são viáveis financeiramente, visto que o seu custo de fabricação é superior ao retorno na economia que plataforma gerará. Para isso, o projeto poderá se tornar viável caso as suas dimensões sejam aumentadas e seus motores possuam a potência suficiente para suportar uma placa de alta performance. Porém, para suportar o peso de uma placa fotovoltaica de 545W, é necessário construir uma plataforma maior e com motores de potências maiores. Isso mudará o preço da plataforma, contudo o projeto terá a capacidade de gerar mais energia e economia.

Em paralelo a isso, pode se estudar formas de diminuir o custo da fabricação da estrutura feito a partir de ABS na impressora 3D, afinal, dentro das configurações do software utilizado para imprimir as peças, existem diversos parâmetros que podem ser usados para a sua construção utilizando menos material e, conseqüentemente mudando suas propriedades. Esses parâmetros tais como, enchimento, tipo de estrutura interna, espessura da linha do bico da impressora, etc. Isso reduzirá o custo para construir a plataforma, e proporcionará uma estrutura com capacidade mecânica

capaz de suportar placa solares mais pesadas.

Quando se trata de retorno financeiro, o protótipo da plataforma proposta aqui não é viável, porém, isso não quer dizer que o estudo construído aqui não seja válido. A TIR resultou em um valor menor que o taxa Selic em consequência de uma baixa economia que a placa solar de 1,2W é capaz de oferecer. Existem placas solares com potências de 545W. Conforme a Tabela 3, é possível notar que os valores de economia são muito superiores à de 1,2W

5.1 Próximos passos

Para os próximos passo, será necessário acrescentar algumas peças à estrutura. Afinal, ela será exposta a ambientes mais agressivos, dessa forma, é preciso cobrir os componentes que fazem a plataforma se mover, para que assim nenhuma sujeira empeça a movimentação da plataforma e nem danifique a sua estrutura e, conseqüentemente, seu funcionamento.

Os motores estão fixados na estrutura e por isso, a proteção em volta do mesmo precisa ser impermeável para que não ocorra nenhum contato com a água.

Alternativas de monitoramento também podem ser implementadas, o MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) é um protocolo de comunicação máquina a máquina (M2 M) focado na internet, que funciona sobre TCP / IP. O sistema MQTT é baseado na interação entre o cliente e o servidor onde o sistema legado pode executar tanto "publicar" quanto "capturar" informações, após manejar os dados a serem recebidos e transferidos. Dessa forma, é possível monitorar o projeto independente do lugar que esteja, essa ferramenta auxiliará na identificação de erros e de desempenho do protótipo, facilitando a melhoria contínua.

6 REFERÊNCIAS

3DLAB, **Solução em impressão 3D**, 2022. Disponível em: <https://3dlab.com.br/produto/impresora-3d-sethi-s3/>. Acesso em: 23 jan. 2023.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxa Selic**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>. Acesso em: 26 out. 2020.

BLASZCZAK, V. **Análise de eficiência de painel fotovoltaico com sistema tracker seguidor solar**. 2017. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Fronteira Sul.

BÜHLER, A.J. *et al.* Sistema de geração fotovoltaico em indústrias na serra gaúcha – Análise técnica e econômica. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**. v.8, n.1, p. 153- 170, 2019.

CABRAL, Isabelle; VIEIRA, Rafael. **Viabilidade econômica x viabilidade ambiental do uso de energia fotovoltaica no caso brasileiro: Uma abordagem no período recente**. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL , 2012.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Consumo de energia elétrica cresce 4,1% em 2021, aponta CCEE**. 2022. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/-/consumo-de-energia-eletrica-cresce-4-1-em-2021-aponta-ccee#:~:text=Mercado%20Livre%2C%20que%20fornece%20energia,demanda%20por%20eletricidade%20no%20Brasil&text=De%20acordo%20com%20a%20C%3%A2mara,em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20ao%20ano%20anterior>. Acesso em: 23 jan. 2023.

CRISTOFANI, G. *et al.* **Relatório Final - PV Sunflower Project**. 2019. Disponível em: <https://eel2019unifei.wixsite.com/pvsunflowerproject/post/relat%C3%B3rio-final-pv-sunflower-project>. Acesso em: 23 jan. 2023.

ELECTRÓNICA EMBAJADORES. **Filamento ABS - 1,75 mm - Cor Branco - 1 Kg - ABS175W.** 2022 Disponível:
<https://www.electronicaembajadores.com/pt/Productos/Detalle/I3COABL1/impresao-3d/filamentos-de-impressoras-3d/filamento-abs-1-75-mm-cor-branco-1-kg-abs175w1/>. Acesso em: 23 jan. 2023.

ELETRICALLIBRARY.COM. **LDR Como funciona?** Disponível:
<https://www.electricalibrary.com/2017/08/04/ldr/>. Acesso em: 24. Jan. 2023

FARICELLI, F. F. **Seguidor solar para sistemas fotovoltaicos.** 2008. Monografia (Bacharel em Engenharia Mecânica) – Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

GIORDANO, C.M. *et al.* Additive manufacturing cost analysis compared to conventional production methods. **Produção Online – Revista Científica Eletrônica de Engenharia de Produção**, Florianópolis, SC, v. 16, n. 2, p. 499-523, abr./jun. 2016.

INSTITUTODIGITAL.COM.BR. **Resistor 10k ohms 1/4W – Tolerância 5%** Disponível em: <https://www.institutodigital.com.br/produto/resistor-10k-ohms-1-4w/>. Acesso em: 24. jan. 2023.

INSTITUTODIGITAL.COM.BR. **Jumper fêmea/fêmea 40 x unidades 20cm** Disponível em: <https://www.institutodigital.com.br/produto/jumper-femea-femea-40-x-unidades-20cm/>. Acesso em: 24. jan. 2023.

INSTITUTODIGITAL.COM.BR. **Arduino Uno R3 SMD CH340 – sem cabo.** Disponível em: <https://www.institutodigital.com.br/produto/arduino-uno-r3-smd-ch340-sem-cabo/>. Acesso em: 24. jan. 2023.

INSTITUTODIGITAL.COM.BR. **Protoboard de 400 pontos – Transparente.** Disponível em: <https://www.institutodigital.com.br/produto/protoboard-de-400-pontos-transparente/>. Acesso em: 24. Jan. 2023.

INSTITUTODIGITAL.COM.BR. **Micro Servo Motor SG90 Tower Pro 9g**. Disponível em: <https://www.institutodigital.com.br/produto/micro-servo-motor-sg90-tower-pro-9g/>. Acesso em: 24. jan. 2023.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão. **Revista Virtual de Química** v.7, n.1, p. 126- 143, 2014.

MOBILE. Disponível em:<https://www.power-moveit.tech/>. Acesso em: 16 dez. 2022

NGSOLAR, **Preço da energia elétrica CPFL**. 2022. Disponível em: [https://www.ngsolar.com.br/single-post/preco-kwh-cpfl#:~:text=Com%20o%20reajuste%20de%202022,comercial%2F%20industrial%20\(B3\)](https://www.ngsolar.com.br/single-post/preco-kwh-cpfl#:~:text=Com%20o%20reajuste%20de%202022,comercial%2F%20industrial%20(B3).). Acesso em: 16 dez. 2022.

OLIVEIRA, M. **Análise do desempenho de um gerador fotovoltaico com seguidor solar azimutal**. 2008. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Mecânica) – Curso de Pós-graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PEREIRA, C.A. **Otimização da geração de energia elétrica em função das variações da intensidade luminosa em um painel fotovoltaico**. 2018. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica) – Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Centro Universitário de Brasília.

PORTAL SOLAR. **Energia solar no Brasil**. 2019. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil.html>. Acesso em: 16 dez. 2022.

PLUSALPHADESIGNS, **Spherical Parallel Manipulator**. 2019, Projeto disponibilizado na internet, disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:3951917>, Acesso em: 23 jan. 2023.

RODRIGUES, V. P. *et al.* **Additive manufacturing: state-of-the-art and application framework**. 2016. Disponível em: <https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/download/1657/784>. Acesso em: 16 dez. 2022.

PORTAL SOLAR. **Energia solar no Brasil**. 2019. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil.html>. Acesso em: 16 dez. 2022.

PORTAL SOLAR. **quanta energia produz um painel solar?** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/uma-placa-solar-gera-quanto-de-energia>. Acesso em: 07 dez. 2022.

POWER MOVE IT. **Mobile constructions for PV**. Disponível em: <https://www.power-moveit.tech/>. Acesso em: 23 jan. 2023.

REIS, P. **Vantagens e desvantagens do sistema seguidor solar fotovoltaico**. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/vantagens-desvantagens-do-sistema-seguidor-solar-fotovoltaico/>. Acesso em: 11 ago. 2022

REIS, P. **Em que consiste um sistema seguidor solar fotovoltaico**. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/em-que-consiste-sistema-seguidor-solar-fotovoltaico/>. Acesso em: 23 jan. 2023

ROBERT, B.; PACHECO, M. **Diseño de un seguidor solar en dos ejes para un sistema fotovoltaico de 2KW**. 2020. M. Universidad Nacional del Altiplano Facultad de Ingeniería mecánica eléctrica, Electrónica y sistemas escuela profesional de ingeniería mecánica eléctrica.

R3dy, **Esta tabela resume as propriedades e características de cada material disponível na R3DY**. 2019. Disponível em: <https://www.r3dy.com.br/tabela-de-propriedades-comparativa-de-filamentos-3d/>. Acesso em: 23. jan. 2023.

TINKERCAD. **Simulador de Arduino**. Disponível em: <https://www.tinkercad.com/>. Acesso em 24, jan. 2023.

WANDELLI, E. V.; MARQUES FILHO, A. DE O. Medidas de radiação solar e índice de área foliar em coberturas vegetais. **Acta Amazonica**, v. 29, n. 1, p. 57–57, mar.1999.

7 APÊNDICE

7.1 Código Arduino

O código desenvolvido em Arduino que permite o controle da plataforma móvel:

```
#include <VarSpeedServo.h>
#define LDR_CENTER_PIN A0
#define LDR_TOP_PIN A1
#define LDR_BOTTOM_PIN A2
#define LDR_LEFT_PIN A3
#define LDR_RIGHT_PIN A4

#define SERVO1_PIN 8
#define SERVO2_PIN 9
#define SERVO3_PIN 10

#define VELOCIDADE 10 //velocidade dos servos, onde 0 é parado e 255 é a
velocidade max(servo.write(pos))
#define TEMPO 4000 // tempo necessário para os servos chegar nas posições

int valueLdrCenter;
int valueLdrTop;
int valueLdrBottom;
int valueLdrLeft;
int valueLdrRight;
int posAtualServo1;
int posAtualServo2;
int posAtualServo3;

bool isMinValueLdrCenter;
```

```
bool isMinValueLdrTop;
bool isMinValueLdrBottom;
bool isMinValueLdrLeft;
bool isMinValueLdrRight;

VarSpeedServo servo1;
VarSpeedServo servo2;
VarSpeedServo servo3;

void moveToServos(int pos1, int pos2, int pos3);

void moveToServos(int pos1, int pos2, int pos3){
  Serial.println("Moving to Servos...");
  servo1.slowmove(pos1, VELOCIDADE);
  servo2.slowmove(pos2, VELOCIDADE);
  servo3.slowmove(pos3, VELOCIDADE);
  delay(TEMPO);
}

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  servo1.attach(SERVO1_PIN);
  servo2.attach(SERVO2_PIN);
  servo3.attach(SERVO3_PIN);
  moveToServos(97, 137, 134);

  isMinValueLdrCenter = true;
  isMinValueLdrTop = false;
  isMinValueLdrBottom = false;
  isMinValueLdrLeft = false;
  isMinValueLdrRight = false;
}
```

```

void loop(){

    valueLdrCenter = analogRead(LDR_CENTER_PIN);
    valueLdrTop = analogRead(LDR_TOP_PIN);
    valueLdrBottom = analogRead(LDR_BOTTOM_PIN);
    valueLdrLeft = analogRead(LDR_LEFT_PIN);
    valueLdrRight = analogRead(LDR_RIGHT_PIN);

    Serial.println("LEITURAS LDRs");

    Serial.println("CENTRAL: " + String(valueLdrCenter));
    Serial.println("FRENTE: " + String(valueLdrTop));
    Serial.println("ATRAS:  " + String(valueLdrBottom));
    Serial.println("ESQUERDA: " + String(valueLdrLeft));
    Serial.println("DIREITA: " + String(valueLdrRight));

    // CENTRO com maior incidência de luz
    if (valueLdrCenter < valueLdrTop && valueLdrCenter < valueLdrBottom &&
        valueLdrCenter < valueLdrLeft && valueLdrCenter < valueLdrRight)
    {
        Serial.println("CENTRO (MAIOR LUMINISIDADE)");
        if(!isMinValueLdrCenter){
            moveToServos(97, 137, 134);
        }
        isMinValueLdrCenter = true;
        isMinValueLdrTop = false;
        isMinValueLdrBottom = false;
        isMinValueLdrLeft = false;
        isMinValueLdrRight = false;
        // FRENTE com maior incidencia de luz
    }
    else if (valueLdrTop < valueLdrCenter && valueLdrTop < valueLdrBottom &&
        valueLdrTop < valueLdrLeft && valueLdrTop < valueLdrRight)
    {

```

```

Serial.println("FRENTE (MAIOR LUMINISIDADE)");
if(!isMinValueLdrTop){
    moveToServos(32, 90, 135);
}
isMinValueLdrTop = true;
isMinValueLdrCenter = false;
isMinValueLdrBottom = false;
isMinValueLdrLeft = false;
isMinValueLdrRight = false;
// Servo 3: 117.90
// TRAS com maior incidencia de luz
}
else if (valueLdrBottom < valueLdrCenter && valueLdrBottom < valueLdrTop
&&
        valueLdrBottom < valueLdrLeft && valueLdrBottom < valueLdrRight)
{
    Serial.println("TRAS (MAIOR LUMINISIDADE)");
    if(!isMinValueLdrBottom){
        moveToServos(177, 140, 93);
    }
    isMinValueLdrBottom = true;
    isMinValueLdrCenter = false;
    isMinValueLdrTop = false;
    isMinValueLdrLeft = false;
    isMinValueLdrRight = false;
    // ESQUERDA com maior incidencia de luz
}
else if (valueLdrLeft < valueLdrCenter && valueLdrLeft < valueLdrTop &&
        valueLdrLeft < valueLdrBottom && valueLdrLeft < valueLdrRight)
{
    Serial.println("ESQUERDA (MAIOR LUMINISIDADE)");
    if(!isMinValueLdrLeft){
        moveToServos(138, 90, 111);
    }
}

```

```
isMinValueLdrLeft = true;
isMinValueLdrCenter = false;
isMinValueLdrTop = false;
isMinValueLdrBottom = false;
isMinValueLdrRight = false;
// DIREITA com maior incidencia de luz
}
else if (valueLdrRight < valueLdrCenter && valueLdrRight < valueLdrTop &&
        valueLdrRight < valueLdrBottom && valueLdrRight < valueLdrLeft)
{
  Serial.println("DIREITA (MAIOR LUMINISIDADE)");
  if(!isMinValueLdrRight){
    moveToServos(1, 179, 93);
  }
  isMinValueLdrRight = true;
  isMinValueLdrCenter = false;
  isMinValueLdrTop = false;
  isMinValueLdrBottom = false;
  isMinValueLdrLeft = false;
}

delay(500);
}
```

8 ANEXOS

ANEXO 1: <https://www.dropbox.com/s/h7ihy4vd4p71lqo/Dimens%C3%B5es.rar?dl=0>

ANEXO 2: <https://youtube.com/shorts/m0kWwl2G7l8?feature=share>

