

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

DEPARTAMENTO DE SISTEMAS ELETRÔNICOS

**RASTREADOR SOLAR PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE  
PAINÉIS SOLARES**

André de Paula Conforto

Júnior Campos de Oliveira

Luís Gustavo da Silva Garrido

São Paulo - SP

2023

# Faculdade de Tecnologia de São Paulo

DEPARTAMENTO DE SISTEMAS ELETRÔNICOS

André de Paula Conforto

Júnior Campos de Oliveira

Luís Gustavo da Silva Garrido

## **RASTREADOR SOLAR PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE PAINÉIS SOLARES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para a conclusão do curso Superior de Tecnologia em Eletrônica Industrial da Faculdade de Tecnologia de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Antônio Deffert

São Paulo - SP

2023

## Ficha Catalográfica

Conforto, André de Paula; Oliveira, Júnior Campos de; Garrido, Luís Gustavo da Silva.

**RASTREADOR SOLAR PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE PAINÉIS SOLARES** / Conforto, André de Paula; Oliveira, Júnior Campos de; Garrido, Luís Gustavo da Silva – 2023. 87 f.

Monografia – Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica Industrial – Faculdade de Tecnologia de São Paulo, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Antônio Deffert

1. Energia solar. 2. Rastreamento solar. 3. Eficiência de painéis solares.

Fatec São Paulo

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**Aluno (a):** André de Paula Conforto **Nº Matrícula:** 20211512  
Júnior Campos de Oliveira **Nº Matrícula:** 19212286  
Luís Gustavo da Silva Garrido **Nº Matrícula:** 20202264

**Título do Trabalho:** "Rastreador solar para eficiência energética de painéis solares".

**Data de Apresentação:** 22 de Junho de 2023. **Horário:** 17h00

**Local:** 54 B

**Orientador (a):** Prof. Dr. Maurício Antônio Deffert

	Nota
<b>Membros da Banca:</b> Prof. Dr. Maurício Antônio Deffert	<u>9,5</u>
Prof. Dr. Leonardo Fróis Hernandez	<u>9,5</u>
Prof. Dr. Roberto Katsuhiko Yamamoto	<u>9,5</u>

Nota mínima para aprovação  $\geq 6,0$

**Convidados:** \_\_\_\_\_

Observação da Banca:

André de Paula Conforto  
**Ciente: André de Paula Conforto**

Júnior C. de Oliveira  
**Júnior Campos de Oliveira**

Luís Gustavo da Silva Garrido  
**Luís Gustavo da Silva Garrido**

Katsuhiko Yamamoto  
**Prof. Dr. Roberto Katsuhiko Yamamoto**

Leonardo Fróis Hernandez  
**Prof. Dr. Leonardo Fróis Hernandez**

Maurício Antônio Deffert  
**Prof. Dr. Maurício Antônio Deffert**

Dedicamos esse trabalho aos nossos familiares e a todos que foram importantes durante o nosso desenvolvimento acadêmico.

## *Agradecimentos*

A Deus, a nossos pais e a todos que contribuíram de forma direta ou indireta na execução deste trabalho.

Agradecemos a Fatec São Paulo e a todos os professores que nos incentivaram e motivaram durante a graduação.

Ao nosso orientador Prof. Dr. Mauricio Antônio Deffert por todos os auxílios e sugestões.

*“Concentre todos seus pensamentos na tarefa que está realizando. Os raios de sol não queimam até que sejam colocados em foco” – Alexander Graham Bell (1847 – 1922)*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz energética mundial .....	Pág. 17
Figura 2 – Espectro eletromagnético .....	Pág. 21
Figura 3 – Estações do ano .....	Pág. 22
Figura 4 – Ângulos notáveis .....	Pág. 23
Figura 5 – Potencial solar no Brasil .....	Pág. 25
Figura 6 – Matriz elétrica brasileira 2021 .....	Pág. 26
Figura 7 – Matriz elétrica mundial 2020 .....	Pág. 27
Figura 8 – Comparação Brasil x Mundo .....	Pág. 27
Figura 9 – Matriz elétrica brasileira (2020 e 2021) .....	Pág. 29
Figura 10 – Capacidade instalada 2020 e 2021 .....	Pág. 30
Figura 11 – Comparação entre o sistema fixo e móvel .....	Pág. 31
Figura 12 – Pannel monocristalino .....	Pág. 33
Figura 13 – Pannel policristalino .....	Pág. 34
Figura 14 – Pannel de filme fino .....	Pág. 35
Figura 15 – Rastreadores passivos .....	Pág. 39
Figura 16 – Rastreadores ativos .....	Pág. 40
Figura 17 – Curva característica do LDR .....	Pág. 41
Figura 18 – Resposta espectral .....	Pág. 42
Figura 19 – Pannel solar utilizado .....	Pág. 49
Figura 20 – Configuração da posição dos sensores .....	Pág. 50
Figura 21 – Servo motor .....	Pág. 51
Figura 22 – Dimensões do servo motor .....	Pág. 51
Figura 23 – Pinos Arduino UNO R3 .....	Pág. 53



Figura 24 – Topologia da placa (vista superior) .....	Pág. 54
Figura 25 – Módulo HC-05 .....	Pág. 55
Figura 26 – Protótipo idealizado 1 .....	Pág. 56
Figura 27 – Protótipo idealizado 2 .....	Pág. 57
Figura 28 – Simulação de acionamento dos motores .....	Pág. 60
Figura 29 – Simulação da medição de tensão .....	Pág. 61
Figura 30 – Fluxograma (Painel solar) .....	Pág. 61
Figura 31 – Fluxograma (Comunicação) 1 .....	Pág. 62
Figura 32 – Fluxograma (Comunicação) 2 .....	Pág. 63
Figura 33 – Médias dos sensores .....	Pág. 64
Figura 34 – Diferença entre as médias .....	Pág. 64
Figura 35 – Circuito completo funcional .....	Pág. 65
Figura 36 – Diagrama multifilar .....	Pág. 65
Figura 37 – Versões do protótipo .....	Pág. 66
Figura 38 – Software APP INVENTOR .....	Pág. 67
Figura 39 – Rastreador finalizado .....	Pág. 68
Figura 40 – Gráfico Fixo x Móvel .....	Pág. 72
Figura 41 – Tela 1 (Menu inicial) .....	Pág. 73
Figura 42 – Tela 2 (Valor atual de tensão) .....	Pág. 74
Figura 43 – Tela 3 (Monitoramento) .....	Pág. 74
Figura 44 – Programação da primeira tela (1) .....	Pág. 75
Figura 45 – Programação da primeira tela (2) .....	Pág. 75
Figura 46 – Programação da segunda tela (1) .....	Pág. 76
Figura 47 – Programação da segunda tela (2) .....	Pág. 77
Figura 48 – Programação da terceira tela .....	Pág. 77

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Componentes presentes na placa UNO R3 .....	Pág. 54
Tabela 2 – Valores do sistema fixo (22/04/2023 e 07/05/2023) .....	Pág. 70
Tabela 3 – Valores do sistema móvel (23/04/2023 e 01/05/2023) .....	Pág. 71
Tabela 4 – Componentes e custo .....	Pág. 78

## LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

<b>Proinfra</b>	Programa de Incentivo a Fontes Alternativas
<b>BEN</b>	Balanco energético nacional
<b>STC</b>	Standard Test Conditions
<b>MPPT</b>	Maximum Power Point Tracking
<b>PWM</b>	Pulse Width Modulation
<b>LDR</b>	Light Dependent Resistor
<b>TFPV</b>	Células fotovoltaicas de película fina
<b>OPV</b>	Organic photovoltaic
<b>MDF</b>	Medium Density Fiberboard
<b>PCH</b>	Pequenas Centrais Hidrelétricas
<b>W</b>	Watt
<b>K</b>	Kelvin
<b>km</b>	quilômetros
<b>m</b>	metros
<b>nm</b>	nano metro
<b>UA</b>	unidade astronômica
<b><math>\theta_z</math></b>	ângulo zenital
<b><math>\varphi</math></b>	latitude local
<b><math>\delta</math></b>	declinação solar
<b><math>\omega</math></b>	ângulo horário solar
<b><math>\Omega</math></b>	Ohm
<b>TWh</b>	tera Watt hora
<b>kWh</b>	quilo Watt hora
<b>kg</b>	quilo grama
<b>m<sup>2</sup></b>	metro quadrado
<b>V</b>	Volt

## RESUMO

A energia solar é uma das fontes renováveis e limpas que possui enorme potencial na substituição de fontes não renováveis atualmente utilizadas. Novas tecnologias estão continuamente sendo aprimoradas a fim de torná-la ainda mais acessível e viável, portanto, este trabalho teve como objetivo desenvolver um equipamento capaz de captar a luz solar com a maior eficiência energética possível, através de um sistema de movimentação de um painel solar. Devido ao movimento do Sol e sua incidência ser diferente em determinadas épocas do ano, destaca-se a importância de um sistema de dois eixos com movimentação horizontal e vertical. O desenvolvimento trata-se de um protótipo de baixo custo e de fácil fabricação, onde os valores de eficiência entre o sistema fixo e móvel foram apurados e disponibilizados em um aplicativo, bem como a medição da tensão do painel em tempo real. Pesquisas bibliográficas referentes aos rastreadores solares indicam que esses sistemas são mais eficientes do que a captação fixa, de forma que foi possível comprovar este fato durante a execução deste trabalho.

**Palavras-chave:** Energia solar, rastreamento solar, eficiência de painéis solares.

## **ABSTRACT**

Solar energy is one of the renewable and clean sources that has enormous potential to replace the currently used non-renewable sources. New technologies are continuously being improved to make it even more accessible and viable. Therefore, the objective of this work was to develop equipment capable of capturing solar light with the highest energy efficiency possible through a solar panel tracking system. Due to the movement of the Sun and its varying incidence during different seasons, the importance of a two-axis system with horizontal and vertical movement is emphasized. The development consists of a low-cost and easily manufacturable prototype, where the efficiency values between the fixed and mobile systems were determined and made available in an application, as well as real-time measurement of panel voltage. Bibliographic research on solar trackers indicates that these systems are more efficient than fixed capture, and this fact was able to be proven during the execution of this work.

**Keywords:** Solar energy, solar tracking, solar panel efficiency.

# SUMÁRIO

1.	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	Pág. 16
	1.1 <b>Objetivos</b> .....	Pág. 18
	1.1.1 <b>Objetivo geral</b> .....	Pág. 18
	1.1.2 <b>Objetivos específicos</b> .....	Pág. 18
	1.2 <b>Organização do trabalho</b> .....	Pág. 18
2.	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	Pág. 20
	2.1 <b>Energia solar</b> .....	Pág. 20
	2.2 <b>Posição da Terra em relação ao Sol</b> .....	Pág. 21
	2.2.1 <b>Ângulos notáveis</b> .....	Pág. 22
	2.2.2 <b>Medição do tempo</b> .....	Pág. 24
	2.3 <b>Energia solar no Brasil</b> .....	Pág. 25
	2.4 <b>O rastreador solar</b> .....	Pág. 30
	2.5 <b>Componentes de um sistema solar fotovoltaico convencional</b> ....	Pág. 31
	2.5.1 <b>Painel solar</b> .....	Pág. 32
	2.5.1.1 <b>Tecnologias</b> .....	Pág. 32
	2.5.1.2 <b>Eficiência do painel solar</b> .....	Pág. 35
	2.5.2 <b>Controlador de carga</b> .....	Pág. 36
	2.5.3 <b>Armazenamento de energia – Bateria</b> .....	Pág. 36
	2.5.4 <b>Inversor</b> .....	Pág. 37
	2.6 <b>Componentes de um rastreador solar</b> .....	Pág. 38
	2.6.1 <b>Classificação dos rastreadores solares</b> .....	Pág. 38
	2.6.2 <b>Sensor LDR</b> .....	Pág. 40
	2.6.3 <b>Servo Motor</b> .....	Pág. 42
	2.6.3.1 <b>Vantagens e desvantagens</b> .....	Pág. 43
	2.6.3.2 <b>Funcionamento</b> .....	Pág. 44
	2.6.4 <b>Microcontrolador (Arduino)</b> .....	Pág. 45

3.	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	Pág. 47
3.1	<b>Características do rastreador solar</b> .....	Pág. 47
3.2	<b>Local de confecção</b> .....	Pág. 48
3.3	<b>Dispositivos e especificações</b> .....	Pág. 48
3.3.1	<b>Painel Solar</b> .....	Pág. 48
3.3.2	<b>Sensor LDR</b> .....	Pág. 50
3.3.3	<b>Servo motor</b> .....	Pág. 50
3.3.4	<b>Microcontrolador (Arduino UNO R3)</b> .....	Pág. 52
3.3.5	<b>Módulo Bluetooth</b> .....	Pág. 54
3.4	<b>Etapas de construção</b> .....	Pág. 56
3.5	<b>Coleta de dados</b> .....	Pág. 57
3.6	<b>Simulação</b> .....	Pág. 59
3.7	<b>Fluxograma</b> .....	Pág. 61
3.8	<b>Funcionamento do protótipo</b> .....	Pág. 63
3.9	<b>Aspectos gerais</b> .....	Pág. 66
3.10	<b>Desenvolvimento do aplicativo</b> .....	Pág. 67
4.	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	Pág. 68
4.1	<b>Comparação entre o sistema fixo e móvel</b> .....	Pág. 68
4.1.1	<b>Eficiência do sistema</b> .....	Pág. 72
4.2	<b>Versão final do aplicativo</b> .....	Pág. 73
4.2.1	<b>Programação do aplicativo</b> .....	Pág. 75
4.3	<b>Relação de componentes e custo</b> .....	Pág. 78
5.	<b>CONCLUSÕES</b> .....	Pág. 79
6.	<b>PROJETOS FUTUROS</b> .....	Pág. 80
7.	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	Pág. 81
	<b>APÊNDICE A: Programação em C++</b> .....	Pág. 84

## 1. INTRODUÇÃO

Em decorrência das buscas constantes por aprimoramentos tecnológicos e da evolução da sociedade como um todo, nota-se que a demanda por novas fontes de energia aumenta gradativamente ao longo dos anos, onde diversos fatores, por exemplo, ambientais e orçamentários, resultam em pesquisas e desenvolvimentos nesse meio.

O efeito fotovoltaico surgiu em 1839, depois que o físico francês Alexandre Edmond Becquerel (1820 – 1891), em seus ensaios, constatou que ao imergir duas placas de metal em uma solução aquosa (condutora) e expô-las ao Sol, geravam eletricidade. O aparecimento desta diferença de potencial nos extremos de uma estrutura metálica ou semicondutora ocasionada pela absorção de luz, disponibiliza a base para criação de painéis solares.

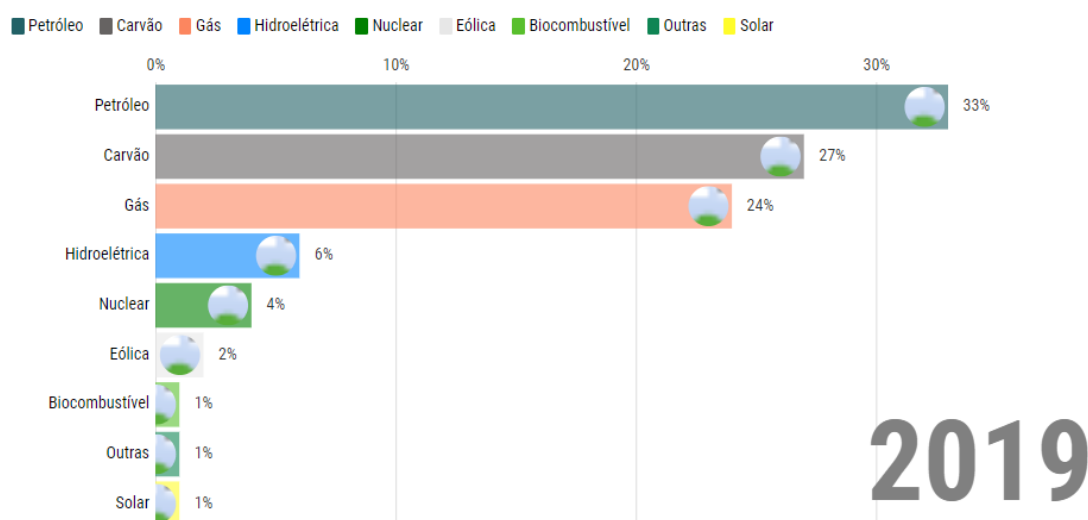
Após esse ocorrido, o inventor americano Charles Fritts (1850 – 1903), desenvolveu a primeira célula fotovoltaica a base de selênio no ano de 1883, que é fundamental em todo o processo de conversão da energia solar em energia elétrica (KOMP, 1995).

A energia solar não é uma novidade, mas por se demonstrar promissora no intuito de suprir a demanda energética mundial e substituir fontes existentes, sempre está em debate e em constante utilização.

Atualmente, é utilizado em grande escala, fontes não renováveis de energia que fazem parte da matriz energética mundial como o petróleo e derivados (33%), gás natural (24%), carvão mineral (27%) e fissão nuclear (4%), conforme demonstra a Figura 1 (FGV, 2020). Tais fontes de energia são utilizadas há muito tempo, e temos um amplo conhecimento sobre os seus efeitos e modos de utilização, no entanto, é evidente que alguns combustíveis geram consequências devastadoras para o meio ambiente, de modo que é possível citar o petróleo como o principal protagonista dessa causa.



Figura 1 - Matriz energética mundial



Fonte: FGV Energia, BP Statistical Review (2020)

Por conta de o modelo (geração/utilização de energia) atual ainda ter como base, fontes não renováveis como principal meio de oferta energética, cada vez mais estima-se identificar substitutos viáveis a longo prazo.

De forma geral, o efeito fotovoltaico proporciona a redução de emissão dos poluentes na atmosfera e a geração de energia em pontos remotos do mundo, sem a necessidade de sua utilização estar localizada próxima a grandes centros populacionais, por conta de os painéis solares poderem ser utilizado com a rede elétrica ou atuarem de forma independente (on grid/off grid) (INTELBRAS, 2022).

Contudo, o conhecimento atual relativo ao potencial energético proporcionado pela energia solar ainda não é suficiente para impulsionar o uso dessa fonte de energia em escala mundial e com isso, se faz necessário desenvolver novas técnicas através de estudos mais aprofundados, pois o Sol é uma fonte inesgotável de calor e energia que pode substituir as fontes poluentes comumente utilizadas.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Com base em diversas motivações acerca dos benefícios e facilidades que a energia solar pode proporcionar, o objetivo é criar um sistema de funcionamento em que um painel solar, é movimentado no eixo horizontal e vertical, almejando a captação máxima possível de energia do Sol, conforme a sua incidência ao longo do dia e do ano.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Trata-se do desenvolvimento do *hardware* e do *software*, destacando as principais vertentes:

- Análise de desempenho do sistema;
- Estudo de eficiência energética;
- Pesquisa tecnológica de dispositivos existentes;
- Interface homem máquina (aplicativo).

Após a execução, o protótipo será testado e aprimorado conforme a necessidade, em busca do resultado esperado.

## **1.2 Organização do trabalho**

A estrutura do presente trabalho é dividida em 3 capítulos principais, seguidos de suas respectivas subseções e um capítulo final referente a conclusão. O capítulo 2 trata da fundamentação teórica em que o trabalho será baseado, onde as informações são obtidas através de pesquisas bibliográficas, a fim de explicar as principais vertentes que compõe a energia solar e os aspectos pertinentes para a elaboração do protótipo, citando a composição dos rastreadores solares e explicando os componentes que estão presentes nesse tipo de sistema. O capítulo 3 irá apresentar a elaboração efetiva do protótipo,

explicando o método e os materiais utilizados. O capítulo 4 se refere aos resultados obtidos, demonstrando os detalhes de funcionamento e a comprovação de eficiência do sistema, bem como a versão final do aplicativo desenvolvido. Por fim, após a conclusão, projetos futuros e a bibliografia, é apresentado o apêndice, que demonstra a programação efetuada em linguagem C++.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Energia Solar

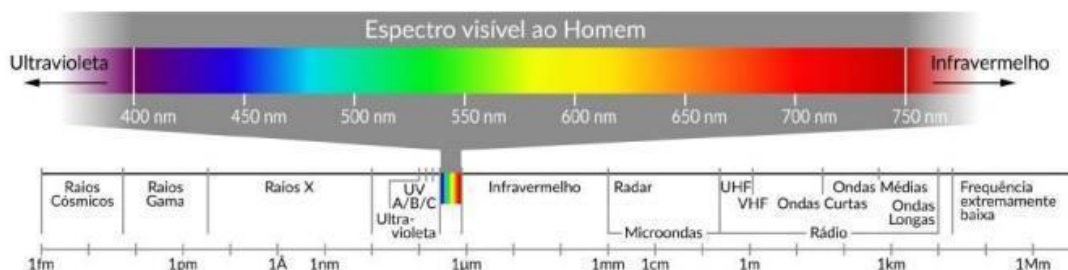
O Sol, estrela imponente que está presente no céu terrestre, é considerada de tamanho médio em comparação às demais no cosmo, mas de uma magnitude excepcional em relação aos planetas do sistema solar. Sua irradiação gerada, é fruto do processo de fusão nuclear dos átomos de hidrogênio e hélio presentes em praticamente toda a massa solar, responsáveis por todo calor e luminosidade. A emissão de energia através dessa fonte, é constante há bilhões de anos, cuja potência gerada aproximada é de  $3,86.10^{26}$  W atualmente (MARTINS et al, 2017), suficiente para suprir as necessidades energéticas do planeta em uma escala imensurável.

As fontes renováveis de energia estão cada vez mais em pauta quando o assunto se trata de fontes alternativas e sustentáveis. A energia solar é uma das opções mais cobijadas e desafiadoras em questão de estudo e implementação, pois nota-se que a fonte energética fornecida pelo Sol não necessariamente é uma fonte renovável, mas inesgotável do ponto de vista do tempo humano, tornando-a demasiadamente sustentável e visada a partir da concepção pode-se aproveitá-la de maneira assertiva e infinita.

A temperatura proveniente do Sol, que também é responsável na geração de energia e eficiência de um painel solar, está na ordem de 6.000 K e grande parte dessa energia em forma de calor e radiação que chega ao planeta terra, está na faixa da luz visível ao infravermelho no espectro eletromagnético, conforme indica a Figura 2. Essa energia é muito importante, tanto nos processos naturais do planeta, como no ciclo da água, fotossíntese, correntes marítimas entre outros, quanto em demais processos artificiais desenvolvidos no meio científico.

Portanto, saber administrá-la de maneira proveitosa, conseguindo alcançar grandes taxas de utilização no eixo tecnológico, irá causar diversos avanços na sociedade, de forma que novos sistemas sustentáveis e de fácil acesso poderão surgir ainda mais, substituindo certas fontes utilizadas atualmente.

Figura 2 - Espectro eletromagnético



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2ª Ed (2017).

## 2.2 Posição da Terra em relação ao Sol

A relação entre a posição da Terra e o Sol é muito importante na busca por parâmetros e assertividade na determinação do ponto de maior interesse e eficiência no posicionamento de um painel solar.

O Sol está a uma distância de 149.600.000 km da Terra, onde o planeta leva cerca de 365,25 dias para completar o movimento de translação em uma órbita elíptica em torno da estrela. No decorrer desse tempo, a distância sofre variações por conta do plano orbital, atingindo o máximo a  $1,52 \cdot 10^{11}$  m (Afélio) e o mínimo a  $1,47 \times 10^{11}$  m (Periélio), com média de  $1,496 \times 10^{11}$  m de distância ou 1 UA (Unidade Astronômica) (ALVES, 2008). No ano de 2023, o periélio acontece no dia 04 de janeiro e o afélio ocorre no dia 06 de julho (PEIXOTO, 2023).

Além da translação, a Terra rotaciona em torno do seu próprio eixo com uma inclinação de  $23,45^\circ$  em ciclos de 24 horas, gerando a variabilidade da incidência solar diária. Por conta dessa variação nos movimentos transitórios, a energia emitida sofre modificações com a irradiância solar oscilando entre  $1325 \text{ W/m}^2$  e  $1412 \text{ W/m}^2$ , sendo o valor médio igual a  $1366 \text{ W/m}^2$ , definido como a constante solar (quantidade de fluxo de energia solar que passa pela órbita média da Terra) (NREL, 2022).

A rotação da Terra gera os dias e as noites como é conhecido e a inclinação do eixo com base no movimento elíptico produz as estações em decorrência da órbita do planeta

em relação a estrela, logo, as estações (verão, primavera, outono e inverno) são estabelecidas em certas datas do ano como é demonstrado na Figura 3.

Figura 3 - Estações do ano



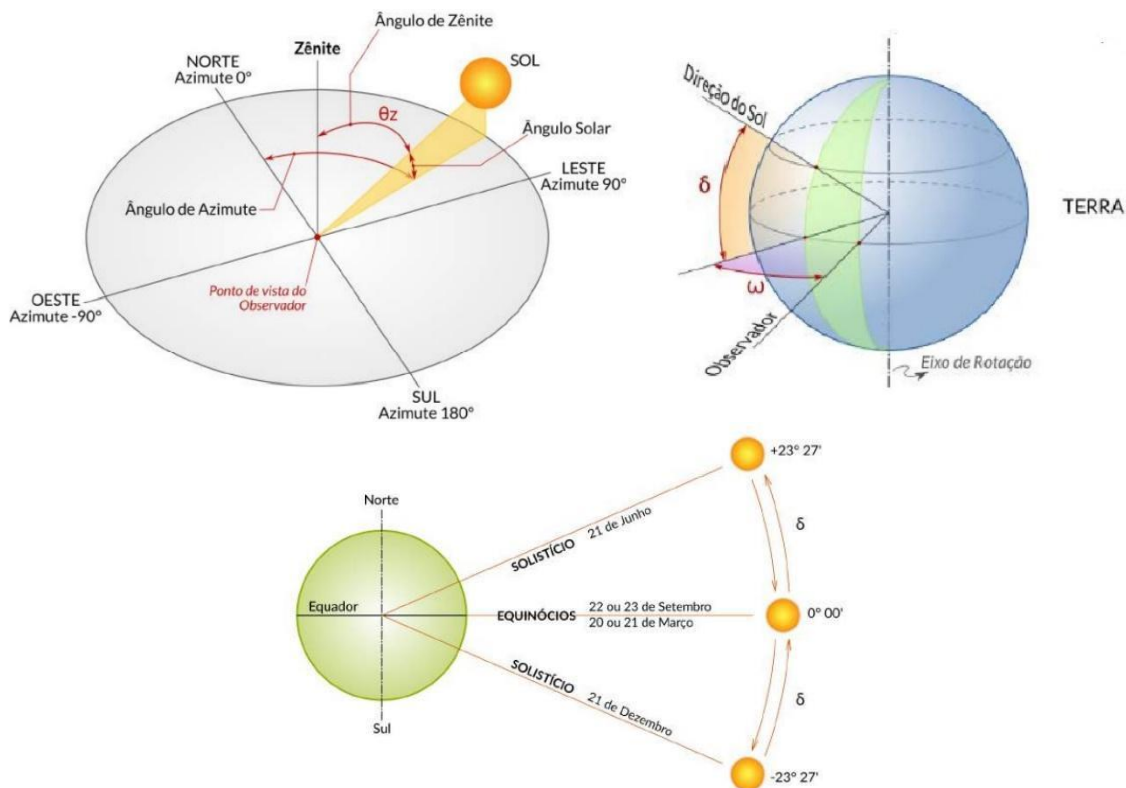
Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2ª Ed (2017).

Por convenção, tais períodos do ano são formados pelos solstícios e equinócios. O solstício é a época do ano em que um hemisfério do globo recebe mais luz solar do que o outro, gerando por consequência, dias mais longos no solstício de verão e noites mais longas no solstício de inverno, devido a inclinação da terra ao longo do seu movimento de translação. O equinócio se refere ao período em que ambos os hemisférios recebem a mesma incidência solar e possuem a mesma duração de dia e noite, pois nessa época, o Sol está paralelo a linha do equador, disponibilizando a mesma quantidade de luz para os dois hemisférios.

### 2.2.1 Ângulos notáveis

A localização do Sol no céu está em conformidade com os ângulos azimute e zênite. O ângulo azimutal é uma angulação formada entre uma direção horizontal e um ponto de referência, podendo variar entre  $-180^\circ$  e  $+180^\circ$ , sendo positivo no sentido horário a partir da direção norte. O ângulo zenital ( $\theta_z$ ), é a representação angular formada entre a direção de interesse e a posição diretamente acima (Zênite), que é igual a  $90^\circ$  quando o Sol está no horizonte ao nascer ou ao se pôr. O ângulo zenital pode ser calculado a partir do conhecimento dos valores da latitude do local ( $\varphi$ ), declinação solar ( $\delta$ ) e o ângulo horário solar ( $\omega$ ) representados na Figura 4 (MARTINS et al, 2017).

Figura 4 - Ângulos notáveis



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2ª Ed (2017).

Contudo, o ângulo horário solar se refere ao deslocamento angular do movimento do Sol devido à rotação da Terra, variando também entre  $-180^\circ$  e  $+180^\circ$ , sendo que cada  $15^\circ$  de variação corresponde a uma hora passada no dia, que por convenção astronômica, se estabelece o ângulo sendo positivo na parte da manhã, negativo na parte da tarde e  $0^\circ$  ao meio-dia.

Por fim, o ângulo da declinação solar é formado pela inclinação da Terra na linha equatorial, apresentando variações entre  $-23^\circ 27'$  e  $+23^\circ 27'$  durante o ano (MARTINS et al, 2017).

Vale destacar que o ângulo de incidência é a angulação que um raio de energia solar, por exemplo, gera com a formação de uma linha perpendicular à uma superfície. Se a superfície for totalmente paralela ao Sol, o ângulo de incidência é de  $90^\circ$  (NREL, 2022).

A partir dessas especificações, é possível iniciar estudos mais aprofundados a fim de detectar todos os aspectos do posicionamento solar e com isso, determinar os pontos de maior interesse e incidência na instalação de um painel fotovoltaico.

Na utilização de um painel solar fixo, é necessário levar tais parâmetros em consideração para ter a maior eficiência possível na instalação, de forma que determinar o local para onde o painel ficará apontado e qual será a sua inclinação é fundamental. No Brasil, a melhor direção para um sistema fotovoltaico é o Norte, pois no hemisfério sul, o Sol nasce no Leste se inclinando para o Norte até o momento em que se põe no Oeste e a inclinação ideal precisa estar de acordo com a latitude em que o painel se encontra (VILLALVA, 2020).

### **2.2.2 Medição do tempo**

Um dia terrestre possui 24 horas, mas o motivo pelo qual existe esse tempo bem definido, além de demonstrar que houve diversos estudos ao longo da história, evidencia a evolução cultural de diversos povos, pois em cada época e cultura, havia um sistema de calendário e horário utilizado, não sendo padronizado.

Medindo a rotação da Terra sobre o seu eixo polar, é possível determinar o tempo ao utilizar como referência, o meridiano de Greenwich (meridiano principal, localizado na cidade de mesmo nome na Inglaterra), que é a linha imaginária que passa também pelos dois polos do planeta e o divide em ocidente e oriente.

Atualmente, a principal escala de tempo utilizada é a “hora universal” que se baseia em um sistema de 24 horas, sendo a metade da noite (meia noite) declarada como zero hora. A duração de um dia medido através da transição completa do Sol pode variar até 30 segundos ao longo de um ano, cujo motivo pelo qual isso acontece, é listado da seguinte forma de acordo com Jespersen e Fitz-Randolph (JESPERSEN, 1999):

- A órbita da Terra ao redor do Sol não é um círculo perfeito, mas é elíptica, então a Terra viaja mais rápido quando está mais próxima ao Sol do que quando está mais distante;

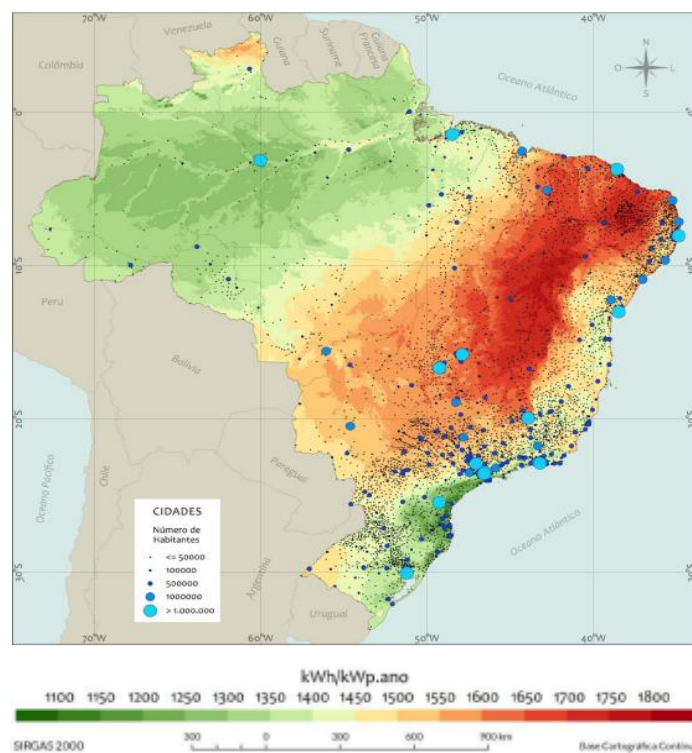


- O eixo da Terra está inclinado em relação ao plano contendo sua órbita ao redor do Sol;
- A Terra gira a uma velocidade irregular em torno do seu eixo de rotação;
- A Terra oscila em seu eixo.

### 2.3 Energia solar no Brasil

No Brasil, a geração de eletricidade através do efeito fotovoltaico possui um elevado potencial, de modo que a parte menos ensolarada do país pode proporcionar uma geração de energia solar mais elevada que outros países em sua região de maior incidência.

Figura 5 - Potencial solar no Brasil



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2ª Ed (2017).

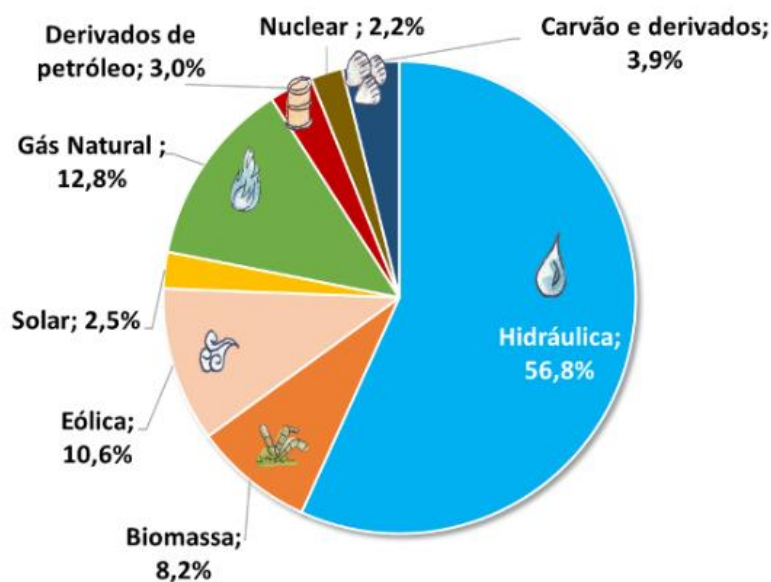
O mapa apresentado na Figura 5 demonstra o rendimento anual para todo o país (medido em kWh/kWp.ano), considerando painéis fotovoltaicos fixos com uma taxa de

desempenho de 80% e demonstrando a distribuição populacional nas cidades brasileiras (MARTINS et al, 2017).

Dessa forma, é evidente que o Brasil pode se destacar na geração e distribuição desse tipo de eletricidade a ponto de deixar de ser dependente de outras fontes que podem se demonstrar menos eficiente a longo prazo ou que gerem grandes quantidades de carbono na atmosfera, uma vez que há pela frente um caminho pelo qual pode percorrer de forma assertiva caso haja impulsionamento e estímulo necessário conforme a própria demanda interna.

A matriz elétrica brasileira é composta em grande parte por fontes renováveis de energia, de modo que mais de 50% da demanda elétrica interna é suprida por hidrelétricas conforme demonstra a Figura 6.

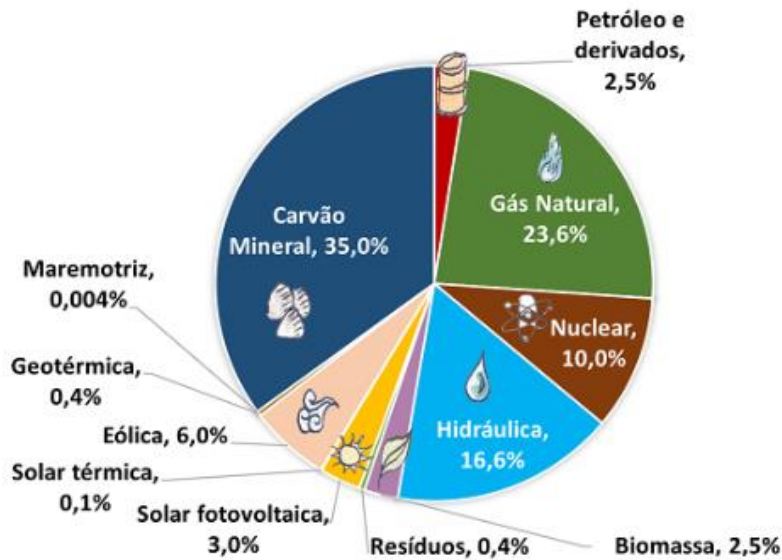
Figura 6 – Matriz elétrica brasileira 2021



Fonte: EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2022.

A matriz elétrica mundial apresentada na Figura 7 é diferente nesse aspecto, pois a maior parte da energia utilizada é disponibilizada por fontes não renováveis (carvão e gás natural).

Figura 7 - Matriz elétrica mundial 2020



Fonte: EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2022.

A Figura 8 compara a utilização de fontes renováveis e não renováveis entre o Brasil e o mundo, demonstrando que o Brasil à frente na utilização de energias sustentáveis. Desta forma, é possível observar que o país já possui a cultura de aproveitar um recurso natural disponível em seu território (água em abundância presente em rios), de modo que a incidência solar, também presente em grande escala, possa ser explorada ainda mais.

Figura 8 – Comparação Brasil x Mundo



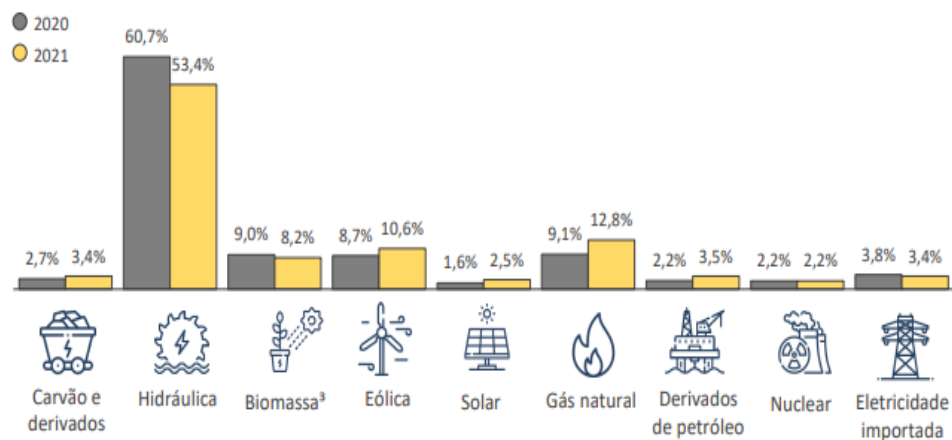
Fonte: EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2022.

O Proinfa (Programa de incentivo às fontes alternativas) tem como diretiva principal, incentivar e aumentar a participação de fontes renováveis na produção de energia elétrica no Brasil, entretanto, a energia solar não está no foco principal entre as demais fontes (eólica, PCHs e biomassa) (CCEE, 2022). Portanto, pode-se estimar que caso os incentivos à utilização da energia solar sejam colocados no foco de programas similares a esse, o aumento será crescente por motivos mais fundamentais do que os apresentados atualmente.

A energia solar no Brasil se demonstra promissora conforme o BEN (Balanço Energético Nacional), que indica uma evolução e crescente utilização nesse tipo de eletricidade com base no relatório síntese 2022 (ano base 2021). A matriz elétrica brasileira em 2021 apresentou mudanças, conforme é mostrado na Figura 9, devido à crise hídrica ocorrida ao longo deste mesmo ano. A escassez de chuvas em 2021 ocasionou a redução dos níveis de reservatório nas principais hidrelétricas do país que por consequência, precisou ofertar outros tipos de fontes, como o carvão vapor (+47,2%), gás natural (+46,2%), eólica (+26,7%) e solar fotovoltaica (+55,9%) (BEN, 2022).

Em 2020, a oferta total de energia estava em 653,5 (TWh), com uma oferta de energia hidráulica de 396,4 (TWh), enquanto em 2021 a oferta total aumentou para 679,2 (TWh) em função do uso de outras fontes (correspondente a 3,9%) e a oferta hidráulica reduziu para 362,8 (TWh) (correspondente a 8,5%). Nota-se que a variação na capacidade de geração de energia na principal fonte brasileira, demonstra que a dependência em uma única forma de gerar eletricidade em grande escala não é o ideal para determinados países com o porte populacional igual ao Brasil (BEN, 2022).

Figura 9 - Matriz elétrica brasileira (2020 e 2021)



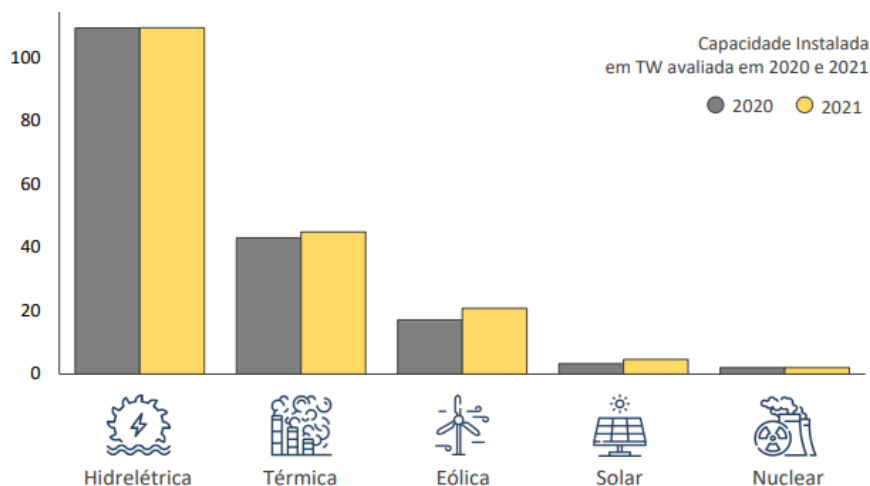
Fonte: BEN 2022, Relatório síntese, ano base 2021.

A partir de cenários similares a esse, destaca-se que o emprego de diversas fontes de geração energética é sumariamente importante, pois é possível amenizar impactos negativos provenientes de adversidades nas fontes já consolidadas, uma vez que a oferta de energia tende a aumentar conforme a demanda em cenários de escassez, como ocorreu na crise hídrica instalada.

Portanto, ter os meios necessários para suprir essa nova demanda estimula os avanços em questão de pesquisa, métodos e emprego das formas de geração menos utilizadas, mas que se provaram eficazes a ponto de evoluir na matriz energética nacional.

Contudo, a crescente expansão prevista no uso de fontes renováveis é uma realidade no âmbito nacional, que teve um aumento de 3,9% na capacidade instalada em comparação com o ano de 2020, destacando a energia eólica e solar conforme apresenta a Figura 10 (BEN, 2022).

Figura 10 - Capacidade instalada 2020 e 2021



Fonte: BEN 2022, Relatório síntese, ano base 2021.

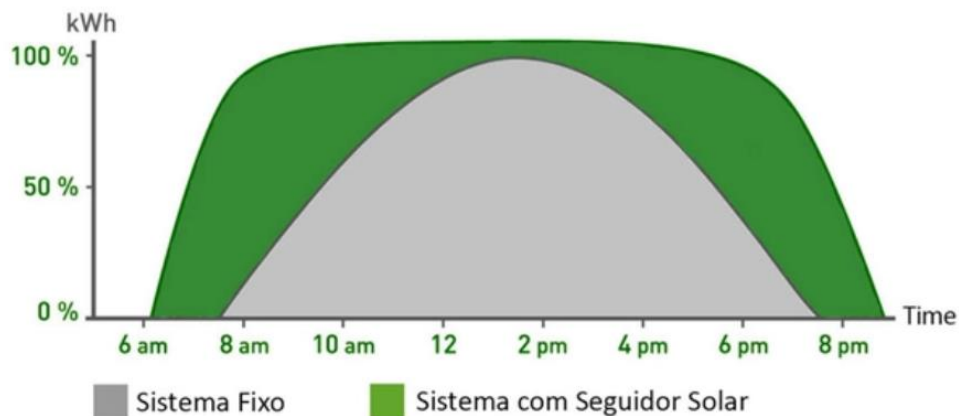
## 2.4 O rastreador solar

Em decorrência do aumento na utilização de painéis solares, a necessidade de encontrar e desenvolver métodos de captação de forma eficiente é crescente.

A utilização de um rastreador solar efetuando a movimentação vertical (ao longo do dia) e a movimentação horizontal (conforme ocorre o deslocamento do período de equinócio para solstício) de um painel solar, é uma técnica para aproveitar a variação do posicionamento do Sol para gerar mais energia elétrica

De acordo com a empresa Valldoreix, o uso de rastreadores é cada vez mais comum em usinas fotovoltaicas, pois é comprovado os benefícios que este tipo de sistema possui em comparação a um sistema fixo, conforme demonstrado na Figura 11.

Figura 11 - Comparação entre o sistema fixo e móvel



Fonte: Adaptado, VALLDOREIX GREENPOWER, 2015.

Rastreadores de um eixo podem gerar até 30% a mais de eletricidade, e o de dois conseguem chegar a 40% a mais, entretanto, esses valores podem variar a partir de 20% de acordo com a estação do ano, mas ainda assim se demonstra mais eficiente que a captação fixa (Seguidor solar - tracker: vantagens e desvantagens, 2023).

## 2.5 Componentes de um sistema solar fotovoltaico convencional

Um sistema solar fotovoltaico funcional e completo, necessita de alguns componentes básicos, porém fundamentais, citados a seguir (Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes, 2022).

- Painel Solar – responsável por gerar efetivamente a energia elétrica através do efeito fotovoltaico e o sistema pode ser composto por apenas um ou diversos painéis.
- Controle de carga – necessário para prolongar a vida útil da bateria, pois evita sobrecargas e descargas exageradas.
- Bateria – armazena de forma conveniente toda a energia captada e convertida pelo painel a fim de utilizá-la posteriormente.

- Inversor – responsável por converter a tensão elétrica gerada e armazenada na bateria, de corrente contínua para corrente alternada, aumentando o nível da tensão.

Na sequência, esses principais dispositivos que compõem um sistema fotovoltaico convencional serão brevemente detalhados.

### **2.5.1 Painel solar**

Os painéis solares são formados por um conjunto de células fotovoltaicas, que a partir da absorção da luz do sol, geram eletricidade. Os elétrons são excitados através da energia solar e com isso, se movimentam, gerando a diferença de potencial no material. Essa conversão é realizada sem gerar resíduos e sem a necessidade de uma manutenção. Esse componente é o responsável direto por gerar efetivamente a energia elétrica através do efeito fotovoltaico, onde o sistema pode ser composto por apenas um ou por vários em conjunto.

Há diversos tipos de painéis solares com diferentes características, mas tipicamente, um painel convencional pode ter em torno de  $1\text{m}^2$ , pesando mais de 10kg e constituído por 36 células fotovoltaicas, que podem gerar 17V em corrente contínua e uma potência de até 140W. A depender do material utilizado, os modelos podem variar de 5 a 300W, de acordo com a tecnologia empregada. Contudo, ao utilizar diversos painéis de forma conjunta, é possível ajustar a tensão e potência final desejada (Painel Solar Fotovoltaico. 2023).

#### **2.5.1.1 Tecnologias**

Atualmente, os tipos de painéis solares comumente utilizados são os de material monocristalino, policristalino e filme fino, no entanto, existem outras tecnologias com suas respectivas particularidades que são pertinentes a depender do tipo de projeto.



- **Monocristalino**

A tecnologia para a confecção do painel monocristalino apresentado na Figura 12, é uma das mais antigas utilizadas e que possui a maior eficiência, isso porque o nível de pureza do silício é elevado e formado por apenas um cristal, porém obtido através de processos complexos. Contudo, a técnica Czochralski empregada, auxilia na obtenção de uma eficiência média entre 15% e 22%, reduzindo o espaço necessário para gerar a mesma quantidade de energia que outros painéis necessitam, tendo uma durabilidade de mais de 30 anos, entretanto, durante o processo de fabricação, parte do silício não é aproveitado.

Em comparação ao painel policristalino, o monocristalino consegue ter uma performance melhor em situações de pouca luminosidade, que demonstra ser uma grande vantagem, mas que tende a ser mais caro (Tipos de painel solar fotovoltaico, 2023).

Figura 12 – Painel monocristalino



Fonte: Portal solar, Tipos de painel solar fotovoltaico, 2023

- **Policristalino**

O painel policristalino apresentado na Figura 13 se diferencia do monocristalino principalmente por sua menor eficiência e ao fato de ser constituído por diversos cristais de silício ao invés de apenas um, necessitando de uma área maior para ter uma conversão similar de energia solar em elétrica.

Este tipo de painel é obtido através de técnicas de fundição e a quantidade de material residual é menor que a do monocristalino. Sua eficiência se encontra entre 14% e 20%, devido a pureza do material não ser extremamente elevada. A comercialização geralmente ocorre com um custo menor e a sua durabilidade também é maior que 30 anos (Tipos de painel solar fotovoltaico, 2023).

Figura 13 – Painel policristalino



Fonte: Portal solar, Tipos de painel solar fotovoltaico, 2023

- **Filme fino**

Também conhecido como células fotovoltaicas de película fina (TFPV), este tipo de painel presente na Figura 14 apresenta como característica principal o seu baixo custo e menor eficiência. O processo de fabricação consiste em depositar o material fotovoltaico (silício amorfo, telureto de cádmio, cobre, índio e gálio seleneto, células solares fotovoltaicas orgânicas OPV) diretamente em uma superfície de vidro ou metal.

Devido à baixa eficiência, que varia entre 7% e 13%, para se obter uma performance adequada, geralmente é necessário dispor de uma área maior como forma de compensação, porém a produção em grandes quantidades se torna mais simples em relação as cristalinas por conta da baixa complexidade de confecção.

As aplicações para este painel são maiores devido a sua flexibilidade e menos impactos no rendimento por conta de obstruções por sombreamento ou temperatura, mas possuem uma durabilidade inferior as demais (Tipos de painel solar fotovoltaico, 2023).

Figura 14 – Painel filme fino



Fonte: Portal solar, Tipos de painel solar fotovoltaico, 2023

### 2.5.1.2 Eficiência do painel solar

O potencial de conversão da energia solar em energia elétrica por metro quadrado é a eficiência que cada tipo de painel solar possui, onde uma porcentagem de toda a luz incidida no painel conseguirá ser convertida para consumo.

Geralmente, a eficiência informada por um fabricante se refere a um teste padrão efetuado em laboratório através de diversas condições padronizadas e reconhecidas internacionalmente pela sigla STC (*Standard Test Conditions*).

As condições de teste se baseiam na temperatura da célula, que precisa estar em 25°C, irradiação solar 1000 W/m<sup>2</sup>, próxima a média que é incidente na superfície terrestre e a massa de ar (AM) em 1,5 G, referente ao percurso que a luz precisa realizar através da atmosfera até atingir o solo (SILVA, Pedro Rodrigues et al, 2019).

### **2.5.2 Controlador de carga**

Os controladores de carga são dispositivos eletrônicos fundamentais na geração de energia elétrica através de um painel solar fotovoltaico e armazenamento em baterias. O processo de controle ocorre através da regulação e monitoramento da tensão e corrente que é gerada pelo painel, servindo para impedir que ocorra sobrecargas e descargas excessivas na bateria, garantindo a eficiência, otimização da carga e aumento da vida útil dela (Controlador de carga, 2023).

A fim de que o processo seja cada vez mais eficiente e confiável, alguns controladores possuem recursos adicionais, como o monitoramento remoto, proteção contra inversão de polaridade, detecção de baixa tensão e indicação de falha do sistema. Tais funcionalidades garantem que os usuários consigam gerenciar o sistema por completo.

Existem diversos tipos de controladores de carga, sendo o de MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) e PWM (*Pulse Width Modulation*) os mais comuns utilizados atualmente. Ambos possuem diferenças entre si tanto para aplicações quanto em nível de complexidade, o que também gera diferenças de preço relacionado a cada dispositivo (Controlador de carga, 2023).

### **2.5.3 Armazenamento de energia – Bateria**

O armazenamento de energia é uma parte importante de todo o sistema, pois as baterias utilizadas serão responsáveis por suprir a demanda energética da carga quando não houver incidência solar, em períodos noturnos, chuvosos e de forte nebulosidade. As baterias podem ser utilizadas em conjunto ou de forma individual a depender da necessidade do projeto. Diversos aspectos são levados em consideração no momento de escolha, por exemplo, tamanho, número de células, desempenho, vida útil, manutenção e custo.

O tempo em que a bateria suportará a exigência da carga, é determinado pela necessidade do sistema, de modo que esse parâmetro pode ser variável conforme a

aplicação determinada, influenciando diretamente na quantidade de corrente necessária a ser fornecida por ela.

Alguns aspectos fundamentais da bateria se referem a (ALVES, 2008):

Capacidade da bateria e determinação da taxa funcional-hora: a capacidade da bateria e sua taxa funcional-hora de descarga são determinadas pela aplicação específica da carga, dias de reserva da bateria e as características da bateria.

Determinação do número de células ligadas em série da bateria: os limites de tensão do sistema (janela de tensão) determinam o número de células em série.

Determinação da capacidade da célula e do tamanho da bateria: uma vez encontrada a capacidade e números de células, a seleção final da célula pode ser feita e o tamanho da bateria pode ser calculado.

Características da bateria: o desempenho do sistema, vida útil, manutenção e custo são influenciados pelo tipo de bateria selecionada para aplicações fotovoltaicas.

#### **2.5.4 Inversor**

Este componente é responsável por converter a tensão elétrica gerada e armazenada na bateria, de corrente contínua para corrente alternada, aumentando o nível da tensão e definindo a frequência igual a gerada pela rede elétrica convencional. Todos os eletrodomésticos presentes em uma residência, por exemplo, estão preparados para funcionar com uma corrente alternada em uma frequência específica, de forma que surge a necessidade de adicionar um inversor ao sistema a fim de utilizar a energia armazenada.

Geralmente, os inversores são instalados próximos ao quadro de luz, pois precisam manter uma comunicação constante com os painéis e com a rede elétrica. O inversor pode receber tensões entre 50 e 1000 volts em corrente contínua e na saída, disponibilizar tensões alternadas que variam entre 110V e 220V em 60 Hz. Ele funciona como uma ponte de transistores que chaveiam o circuito a fim de se comportar como um sinal variado. No intuito de que o sinal gerado seja consistente e igual ao da rede elétrica, são utilizados filtros capacitivos e indutivos em sua composição. A eficiência de um inversor

é medida em porcentagem, indicando o quanto ele converte de corrente contínua em corrente alternada, onde o mínimo aceitável é de 94% (Como funciona um inversor solar?, 2021).

## **2.6 Componentes de um rastreador solar**

Além dos componentes primordiais citados anteriormente que são necessários para efetuar a captação e armazenamento da energia solar de forma efetiva, um rastreador solar possui componentes adicionais que são responsáveis por efetuar a movimentação do painel a partir da luminosidade aferida e lógicas de controle que podem ser processadas por um microcontrolador. Tais componentes podem variar conforme o tipo do rastreador pretendido e sua classificação.

### **2.6.1 Classificação dos rastreadores solares**

Atualmente, existem diversos tipos de rastreadores solares, onde cada sistema possui um conjunto específico de características que o torna distinto dos demais em diversos sentidos como complexidade construtiva, eficiência e custo. Um rastreador solar pode ser ativo ou passivo, dispor de apenas um eixo de movimentação ou dois, ter uma estratégia de controle de forma temporal ou por sensoriamento e ser de malha aberta ou fechada (ANDRADE, 2018).

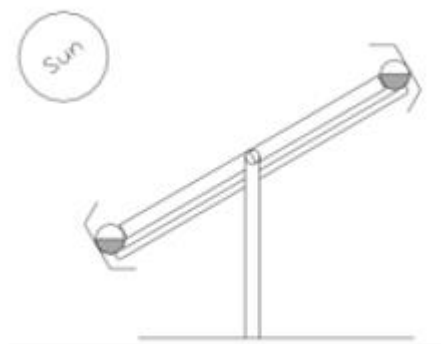
Os sistemas passivos geralmente não possuem um sistema elétrico na busca pelo rastreamento e sim, uma construção mecânica que efetua a movimentação do painel de acordo com a incidência solar, o que garante algumas vantagens em relação a complexidade, mas desvantagens no sentido de eficiência em comparação aos sistemas ativos, que por sua vez dotam de uma maior complexidade construtiva, mas que possuem um desempenho superior devido as técnicas de movimentação que geralmente se baseiam em sensoriamento e acionamento de motores. Exemplos de sistemas passivos demonstrados na Figura 15 são os que possuem um líquido expansível que evapora dentro de um tubo de acordo com a iluminação desigual do Sol e sistemas que utilizam a

deformação de tensores para realizar a movimentação, conforme o coeficiente de dilatação de dois metais distintos que estão presentes na estrutura.

Figura 15 - Rastreadores passivos



Tensores bimetálicos



Transferência de líquido por evaporação

Fonte: CLASSIFICAÇÃO DE RASTREADORES SOLARES: UMA BREVE REVISÃO, 2018.

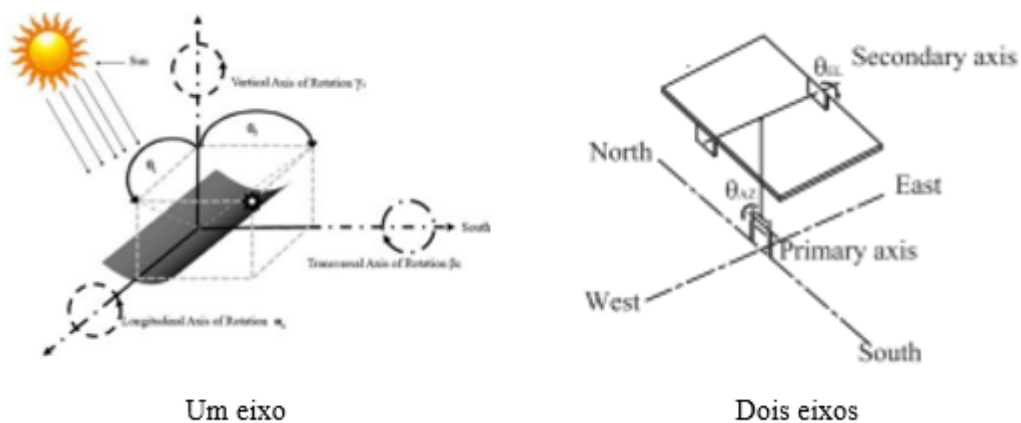
Os sistemas ativos possuem uma resposta mais rápida de ajuste, pois os sensores estão em comunicação com um sistema de processamento que executa os comandos de acionamento do motor no instante em que a iluminação sofre alguma alteração dentro dos parâmetros estabelecidos. Sistemas que utilizam o rastreamento baseado na análise temporal, tendem a não sofrer alterações em seu comportamento a partir de uma perturbação, por exemplo, nuvens, mas precisam de um estudo aprofundado referente ao posicionamento do Sol no céu terrestre e cálculos de movimentação, onde sua eficiência não é alta.

A lógica de controle em malha fechada permite que os erros do sistema sejam corrigidos e as perturbações, compensadas, a ponto de melhorar a precisão do rastreamento como um todo, mas a complexidade e o custo são proporcionais a essas vantagens. O controle em malha aberta precisa de um estudo inicial para que a calibração seja efetuada com êxito conforme a lógica do rastreamento, mas dispõe de um custo menor e de uma construção mais simples.

Nota-se que os sistemas que possuem dois eixos de rotação estarão em constante emparelhamento com o Sol, mesmo nas épocas de solstício, onde o Sol ilumina de forma

desigual os hemisférios terrestres, tornando essa estratégia, previamente pertinente e superior em questão de eficiência que a de apenas um eixo, pois possibilita a captação da energia solar em qualquer época do ano, independente do hemisfério em que o dispositivo está localizado. A Figura 16 apresenta os sistemas ativos de um e dois eixos respectivamente (ANDRADE, 2018).

Figura 16 - Rastreadores ativos



Fonte: CLASSIFICAÇÃO DE RASTREADORES SOLARES: UMA BREVE REVISÃO, 2018.

De forma geral, os rastreadores podem ser divididos em ativos ou passivos com as demais características compondo a sua estrutura integralmente. Contudo, é possível observar que quanto mais eficiente for o rastreador solar, mais complexo e custoso ele tenderá a ser, pois as características e técnicas de construção de um rastreador ativo ou passivo, são opostas entre si, favorecendo certos atributos e desfavorecendo outros. Portanto, cabe as particularidades de cada projeto determinar qual conjunto de características seria a ideal para compor o seu rastreador solar.

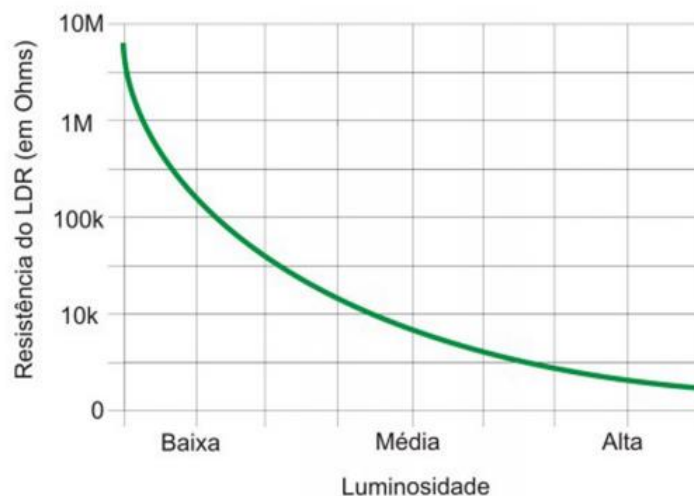
A seguir, os principais componentes empregados no rastreador desenvolvido neste trabalho serão detalhados, sendo eles: Sensor LDR, Servo Motor e o Microcontrolador (Arduino).



## 2.6.2 Sensor LDR

O LDR (*Light Dependent Resistor*) é um componente de dois terminais que altera a sua resistência conforme a variação da intensidade luminosa incidente sobre ele. Geralmente ele possui uma alta resistência e pode ser constituído por Sulfeto de Cádmio (CdS) ou o Sulfeto de Chumbo (PbS), que são materiais semicondutores. Esses materiais possuem poucos elétrons livres quando colocados em um ambiente escuro, e liberam elétrons quando há incidência de luz sobre eles, de modo que quando a iluminação chega até a sua parte plana, os fótons excitam os elétrons e com isso, é gerada uma corrente nos terminais do sensor, ocasionando a redução da resistência proporcionalmente a quantidade de iluminação incidente. A curva característica do LDR é indicada na Figura 17.

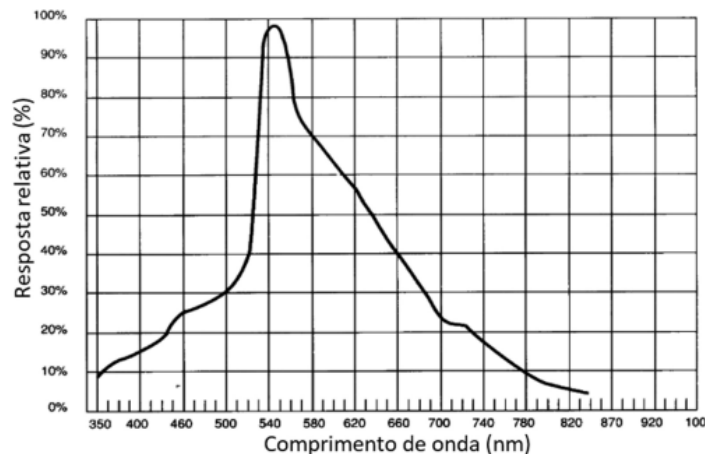
Figura 17 - Curva característica do LDR



Fonte: Aprimorando e validando um fotogate de baixo custo, 2018.

A resistência de um LDR típico também depende do comprimento da onda de radiação que o atinge, onde sua resposta de atuação é maior na faixa entre 530nm e 580nm, respondendo melhor as variações nessa faixa, conforme a Figura 18.

Figura 18 - Resposta espectral



Fonte: Aprimorando e validando um fotogate de baixo custo, 2018.

Esse componente é muito utilizado em circuitos elétricos que necessitam de um sensor de luz, que devido ao seu baixo custo e facilidade de utilização, é encontrado amplamente em medidores de luz, detectores de incêndio, controladores de iluminação, entre outros.

De acordo com (A. Makwana; D. Lad, 2017), a organização de quatro sensores deste tipo em uma estrutura na forma de cruz, indica que os raios solares não perpendiculares causam um sombreamento nos sensores não atingidos, onde a diferença de iluminação entre os sensores é maior e o torna mais preciso na busca pelo posicionamento mais eficiente.

### 2.6.3 Servo Motor

O servo motor é um dispositivo eletromecânico, cujo objetivo é movimentar outros objetos de forma precisa e controlada, podendo estabelecer certos posicionamentos com a garantia da velocidade determinada, de modo que a distância e a angulação pretendida, sejam sempre alcançadas.

Esse dispositivo é um motor elétrico que pode ser de corrente contínua ou alternada, onde possui em seu sistema, um sensor que informa a posição atual a fim de que ocorra o controle preciso das variáveis que estão presentes no processo para a nova posição,

logo, com base nessa realimentação da informação de sua posição atual (*feedback*), é realizado o controle da velocidade e a posição final do motor através de um codificador ou sensor de velocidade anexado.

Uma característica principal deste equipamento, é a capacidade de proporcionar um torque alto, constante, precisão e sincronizado, cuja habilidade de controle na rotação pode atingir faixas de 4.500 a mais de 6.000 rpm, sem perder a sua força. Ele é muito utilizado em sistemas de coordenadas, braços robóticos, drones, aeromodelos de helicópteros e aviões e em diversas vertentes da área de automação industrial e outros ramos.

O fato de ser um dispositivo totalmente controlado e de não possuir uma rotação livre igual a outros motores, justifica o nome dado a esse motor, pois ele é integrado ao processo de forma que esteja sempre apto a servir a sua função estabelecida.

A partir das características iniciais apresentadas, é possível destacar algumas condições de vantagem e desvantagem na utilização desse dispositivo (CRAVO, 2022).

### **2.6.3.1 Vantagens e desvantagens**

O servo motor possui um alto nível de controle e definição de ângulo, atendendo os comandos de forma satisfatória. Sendo essa a sua principal vantagem em relação a outros componentes, também é interessante destacar que a ausência de vibração nas ações é a razão da precisão gerada neste dispositivo, pois a sua estabilidade é essencial para um bom desempenho, garantindo a qualidade e a confiança em sua utilização, ainda mais se o sistema em que foi integrado necessitar de movimentos sutis.

O servo motor tende a garantir um grande pico de torque em situações de muito esforço, sendo um componente muito eficaz devido a sua força garantida, de modo que a sua fácil manutenção, seja responsável por manter uma linha de produção em constante funcionamento, pois ele também não necessita de reparos corretivos.

Contudo, além de ter uma alta velocidade e torque, ele também possui uma resposta dinâmica considerável a ponto de ser ideal para a redução da inércia em alguns processos de produção. Tais vantagens tornam esse dispositivo demasiadamente importante na

indústria, podendo ser aplicado em inúmeros projetos que demandam a movimentação de objetos em eixos.

Entretanto, o servo motor também possui algumas desvantagens a serem consideradas, pois elas podem impactar no projeto final a ser efetuado. Inicialmente, a necessidade de ter outros dispositivos eletrônicos dedicados ao seu funcionamento, por exemplo, um *drive*, ocasiona o aumento do custo total do dispositivo, que precisa ser definido satisfatoriamente, uma vez que diversos modelos possuem diversas especificações. A exemplo da tensão de alimentação necessária, em determinados casos ela pode vir a não ser suficiente se for fornecida por apenas um microcontrolador, pois além de não disponibilizar potência o suficiente, poderá gerar trepidações no movimento e perda da força, inviabilizando o seu uso.

Outro ponto a ser considerado na escolha do servo motor, é o seu tamanho. Os componentes adicionais (reduzidores e freios) tornam o dispositivo maior, dificultando o seu uso em determinados projetos que precisam de uma dimensão menor.

Essa tecnologia ainda é considerada recente e avançada em relação a alguns padrões, onde por consequência, acaba tendo um custo maior para aquisição e implementação, mas há dispositivos mais básicos e relativamente mais frágeis que possuem um valor menor para instalação, no entanto, são mais limitados em força e aplicação.

A depender do motor utilizado, ele pode ter uma configuração complexa, sendo necessário regular constantemente o seu sistema de controle, mas os componentes mais básicos podem ser programados através de microcontroladores comumente utilizados, de forma simples e objetiva (CRAVO, 2022).

### **2.6.3.2 Funcionamento**

O funcionamento do motor ocorre em malha fechada, onde um dispositivo interno disponibiliza a informação da posição atual em que se encontra o motor, através de um sinal de controle, efetuando o ajuste do movimento conforme a instrução recebida.

O comando recebido é através de um sinal de modulação por largura de pulso, conhecido como PWM que é o responsável pelo motor efetuar o movimento giratório (CRAVO, 2022).

#### 2.6.4 Microcontrolador (Arduino)

O microcontrolador é fundamental em um sistema solar móvel, pois todo o processamento das informações, leituras das variáveis e ações de controle, irão partir deste dispositivo.

O Arduino pode ser utilizado em níveis básicos, como porta de entrada para as pessoas que estão ingressando no mundo da programação, mas também podem ser utilizadas em nível de desenvolvimento na indústria (sendo uma unidade principal de processamento) e amplamente utilizada para fins educacionais por conta de ser um recurso completo para acionamento de equipamentos em tempo real e captação de informações através de sensores.

A programação do Arduino pode ser efetuada de modo *offline* e *online*, de forma prática e simples, onde as ferramentas geralmente utilizadas são: Arduino IDE, Arduino CLI, Editor Web e IoT Cloud (dependendo da placa utilizada) (ARDUINO, 2023).

Atualmente no mercado, existem diversos tipos de Arduino com diferentes características que visam aplicações conforme o nível de complexidade existente no projeto, onde os fatores relacionados a escolha do microcontrolador estão de acordo com o custo, tamanho, suporte *wireless*, capacidade de processamento e quantidade de pinos de entrada e saída.

Geralmente, os tipos de Arduino são distinguidos por suas respectivas famílias (ARDUINO, Arduino.cc, 2023):

- Clássica: Placas comumente utilizadas (por exemplo, Leonardo, UNO R3, YUN) cujo nível de processamento e pinos de entrada/saída estão em faixas médias;
- Mega: Placas com maiores dimensões, porém com mais recursos e pinos de entrada/saída;

- MKR: Alterna entre protocolos de comunicação sem fio com alterações mínimas de *software*;
- Nano: Placas com pequenas dimensões, mas que possuem processamento e recursos suficientes para atender determinados projetos;
- Nicla: Placas com dimensões pequenas e que possuem sensores embutidos em sua estrutura;
- Opta: Micro CLP com recursos de IOT industrial;
- Portenta: Módulos de nível industrial, com grande poder computacional.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada para avaliação da proposta baseia-se na confecção de um sistema móvel de rastreamento solar em dois eixos. Para atingir este objetivo, a correta escolha dos materiais, da técnica de controle e outros detalhes construtivos são de fundamental importância.

Inicialmente, por conta de projetos similares existentes, estima-se implementar as melhores técnicas atuais, no sentido de simplificar o funcionamento do protótipo, englobando os aspectos mais essenciais de confecção e não deixando de lado as características de eficiência.

Portanto, os critérios para o desenvolvimento do protótipo consideram a utilização de componentes de fácil obtenção e implementação, visando o baixo custo final do projeto.

Em relação a classificação do rastreador, comparado a outros sistemas, o desenvolvimento reúne as características que apresentam a tendência em possuir maior eficiência, destacando-se o modo de operação em dois eixos e rastreamento solar através de sensores, conforme citado no Capítulo 2.6.1.

#### 3.1 Características do rastreador solar

O protótipo teve a sua estrutura baseada no material MDF (*Medium Density Fiberboard*), que possui algumas características que chamam atenção e são pertinentes ao projeto.

Esse material não sofre com a variação de temperatura, que seria um dos principais efeitos gerados na estrutura por conta da exposição ao Sol. Ele pode ser cortado em diversos sentidos, que demonstra ser uma ótima característica, pois diversos cortes serão necessários, incluindo a base móvel que é circular. Tal material é ecologicamente sustentável, estando de acordo com uma das maiores vertentes do uso da energia solar (HENN, 2022).

As dimensões da estrutura e dos dispositivos foram baseadas em função do tamanho do painel solar, tendo em vista que este, sendo o componente principal, precisaria ser estimado previamente com base em sua capacidade de conversão de energia.

Portanto, estimou-se também o servo motor a ser utilizado, que precisaria sustentar o peso estrutural, estando apto a realizar os movimentos programados de forma conveniente.

### **3.2 Local de confecção**

A confecção do protótipo foi iniciada nas dependências da empresa Lag Lar, que disponibilizou os recursos necessários, incluindo o espaço para a montagem e os testes, além das ferramentas e demais itens.

### **3.3 Dispositivos e especificações**

Os componentes que compõe o rastreador solar serão detalhados a seguir, de modo que cada um foi escolhido de acordo com a necessidade que envolve um sistema funcional de baixo custo.

#### **3.3.1 Painel Solar**

O painel solar Resun RSM010-P fabricado pela NeoSolar foi determinado com base no seu valor de potência e custo, onde o mesmo pode ser aplicado em diversos projetos, conforme indica o fabricante (Painel Solar Fotovoltaico 10W - Resun RSM010-P, 2022):

- Sistemas de iluminação e sinalização;
- Sistemas de radares e sensores;
- Sistemas de iluminação de estradas e rodovias;
- Eletrificação rural;
- Segurança e monitoramento;



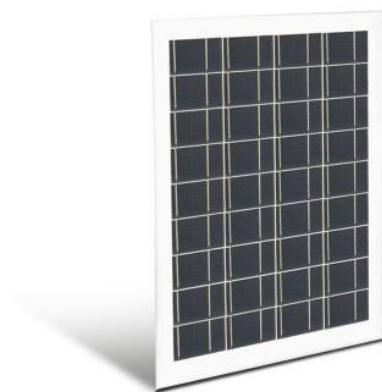
- Sistemas emergenciais;
- Sistemas de telecomunicações;
- Bombeamento solar.

O painel Resun RSM010-P possui as seguintes características:

- Potência máxima: 10W;
- Tensão de máxima potência: 18,20V;
- Tensão em circuito aberto: 21,60V;
- Corrente de máxima potência: 0,55A;
- Corrente de curto-circuito: 0,61A;
- Eficiência: 11,9%;
- Dimensões: 24 x 35 x 1,7 cm.

O painel apresentado na Figura 19 é constituído por silício policristalino, que são estruturas semicondutoras e possui 36 células no total, que em conjunto, formam todo o painel solar.

Figura 19 - Painel solar utilizado



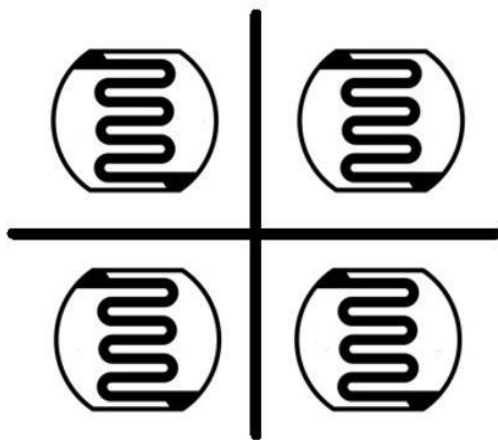
Fonte: NeoSolar

### 3.3.2 Sensor LDR

O posicionamento do painel é definido pelos sensores utilizados, com base na iluminação identificada por eles.

No sistema ser efetuado, será utilizado 4 sensores LDR de 5 mm na parte superior do painel solar, onde existem barreiras entre cada um, formando uma cruz conforme apresentado na Figura 20.

Figura 20 - Configuração da posição dos sensores



Fonte: Autores, 2022.

A partir dessa configuração, a diferença de iluminação que surgirá entre os sensores será responsável pelo acionamento dos motores, que por sua vez são utilizados para executar a ação de movimentação dos eixos.

### 3.3.3 Servo motor

O servo motor a ser utilizado é do modelo MG995, apresentado na Figura 21 e conforme o *datasheet* do fabricante, possui as seguintes características:

- Peso: 55g;
- Dimensão: 40,7 x 19,7 x 42,9 mm (aproximado);
- Torque: 8,5 kgf.cm (4,8V), 10 kgf.cm (6V);

- Ângulo de rotação: 180° (rotação contínua);
- Engrenagens de metal;
- Velocidade de operação: 0,2 s/60° (4,8 V), 0,16 s/60° (6 V);
- Tensão de operação: 4,8V a 7,2V;
- *Design* de rolamento de esferas duplo estável e à prova de choque;
- Faixa de temperatura: 0 °C ~ 55 °C.

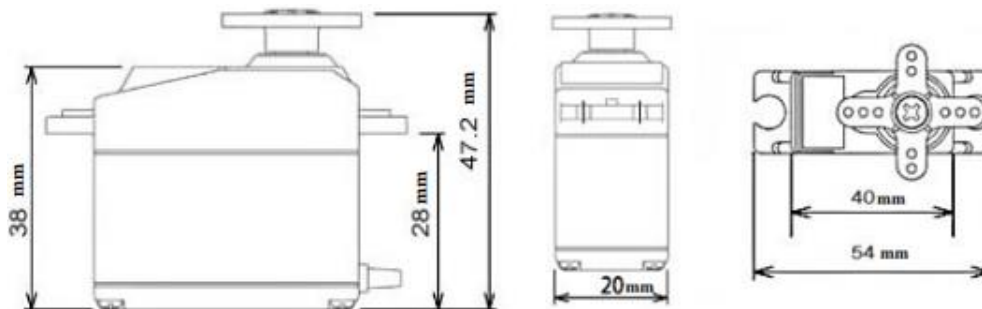
Figura 21 - Servo motor



Fonte: Eletrogate.com

A determinação de tal modelo leva em consideração o seu torque, devido ao peso que ele precisará suportar e a sua velocidade de operação, que tende a ser determinante na precisão do movimento do painel. As dimensões do dispositivo, apresentada na Figura 22, também são importantes, pois quanto mais proporcional ele for em relação a estrutura, melhor desempenho ele tenderá a ter.

Figura 22 - Dimensões do servo motor



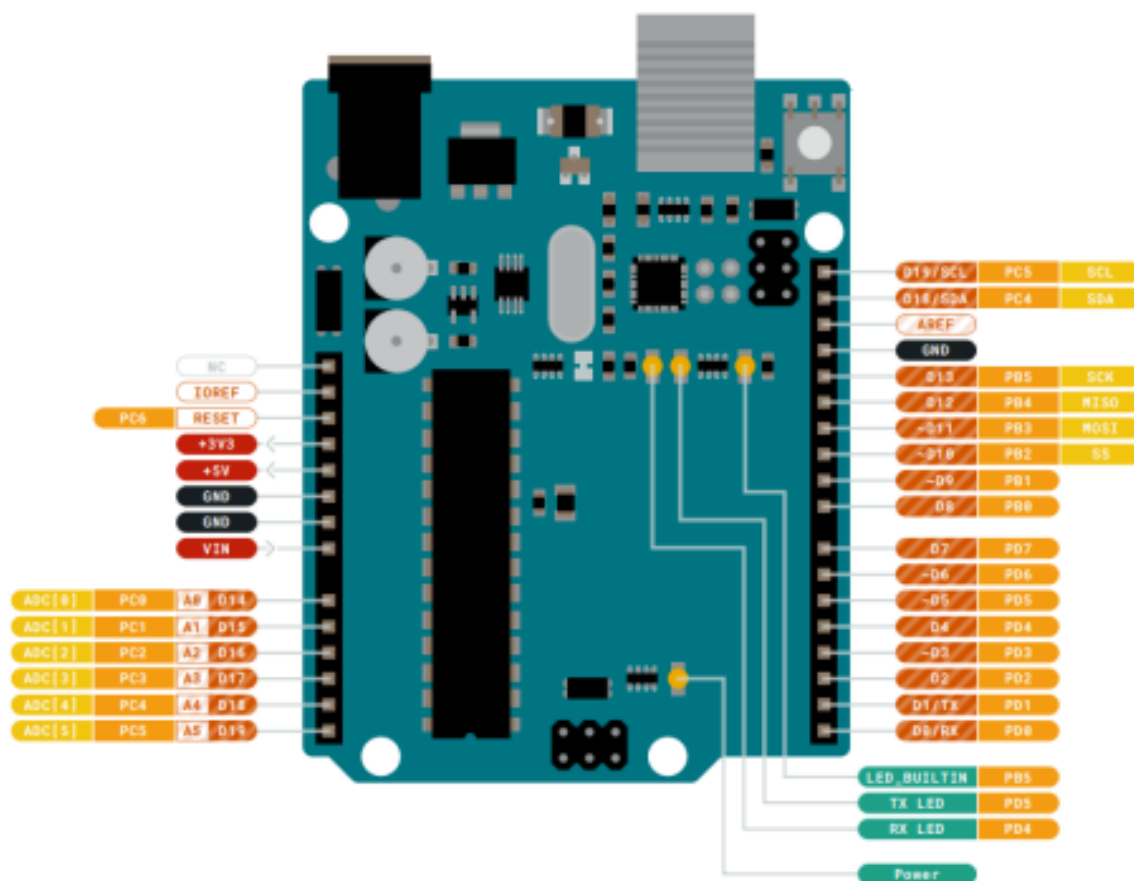
Fonte: Datasheet

### 3.3.4 Microcontrolador (Arduino UNO R3)

O Arduino UNO R3 é uma placa microcontroladora clássica, no sentido de ser comumente utilizada. Sua arquitetura é baseada no ATmega328P, que é um *chip* microcontrolador desenvolvido pela Atmel, cujo objetivo é ser um dispositivo de fácil acesso e utilização, onde os recursos para efetuar a sua programação não são extremamente complexos e ele possui as características necessárias para a elaboração de um projeto completo e funcional.

Conforme a Figura 23, esse dispositivo possui 14 pinos digitais de entrada/saída (de 0 a 13), onde os pinos 3, 5, 6, 9, 10 e 11 possuem suporte para PWM (modulação por largura de pulso, indicada pelo símbolo “~” ao lado do pino), 6 entradas analógicas (A0 até A5) que podem ser utilizadas para efetuar medições de valores como temperatura ou a própria tensão recebida. Ele também possui um oscilador cerâmico de 16 MHz, uma conexão USB, um conector de energia, um botão de reset e um conector ICSP (*In-Circuit Serial Programming*).

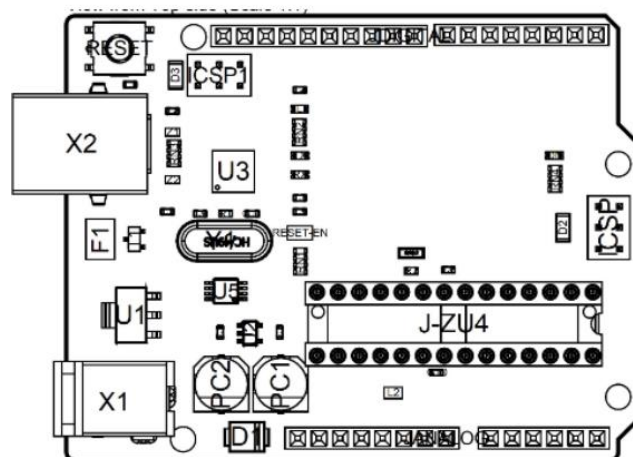
Figura 23 - Pinos Arduino UNO R3



Fonte: Datasheet - Arduino® UNO R3 - SKU: A000066

A placa possui seus próprios componentes para funcionamento, não sendo necessário ter um circuito externo para iniciar a utilização do módulo. A Figura 24 mostra a visão superior da placa com a indicação dos principais componentes presentes e a Tabela 1 descreve cada ponto indicado.

Figura 24 – Topologia da placa (vista superior)



Fonte: Datasheet - Arduino® UNO R3 - SKU: A000066

Tabela 1 - Componentes presentes na placa UNO R3

Referência	Descrição	Referência	Descrição
X1	Conector de alimentação 2,1 x 5,5 mm	U1	Regulador SPX1117M3-L-5
X2	Conector USB B	U3	Módulo ATMEGA16U2
PC1	EEE-1EA470WP 25V SMD Capacitor	U5	LMV358LIST-A.9 IC
PC2	EEE-1EA470WP 25V SMD Capacitor	F1	Chip Capacitor, alta densidade
D1	Retificador CGRA4007-G	ICSP	<i>Pin header connector (through hole 6)</i>
J-ZU4	Módulo ATMEGA328P	ICSP1	<i>Pin header connector (through hole 6)</i>
Y1	Oscilador ECS-160-20-4X-DU		

Fonte: Adaptado, Datasheet - Arduino® UNO R3 - SKU: A000066

### 3.3.5 Módulo Bluetooth

A comunicação via Bluetooth existe desde 1994 e é mundialmente conhecida por ser uma conexão sem fio entre dispositivos que pode ser utilizada de forma simples. Este tipo de comunicação está presente em *smartphones*, *tablets*, *headsets*, *notebook* e outros.

Cada vez mais, o Arduino é utilizado em projetos com necessidade de comunicação sem fio e o Bluetooth se demonstra a melhor opção de implementação. Os módulos HC-05 e o HC-06 são os principais utilizados junto com o Arduino, de forma que são simples de controlar, baratos e facilmente encontrado no mercado.

O módulo Bluetooth HC-05 pode trabalhar em modo mestre (realiza e aceita pareamento com outros dispositivos) e modo escravo (apenas aceita pareamento). Já o módulo HC-06 pode trabalhar apenas em modo escravo (VIDAL, 2017). Como característica principal, o alcance de cada módulo é de aproximadamente 10 metros e dissipam uma potência máxima de 2,5 mW.

Dentre as aplicações desses dois módulos estão (VIDAL, 2017):

- Transmissão de dados de sensores;
- Comunicação entre duas placas Arduino para troca de dados;
- Transmissão de dados para atuadores;
- Comunicação do Arduino com Smartphone e outros dispositivos móveis.

O módulo escolhido para a criação do aplicativo e comunicação do smartphone com o Arduino, é o HC-05, apresentado na Figura 25, devido as características de pareamento.

Figura 25 - Módulo HC-05



Fonte: Eletrogate.com

### 3.4 Etapas de construção

O posicionamento dos materiais e dispositivos são primordiais na execução da montagem. Dessa forma, faz-se necessário a idealização da estrutura pretendida como ponto de partida para as etapas de construção. Com o auxílio de um *software* gratuito e simples (Paint 3D), foi possível criar uma imagem demonstrativa referente a dois tipos de estruturas, apresentadas nas Figuras 26 e 27.

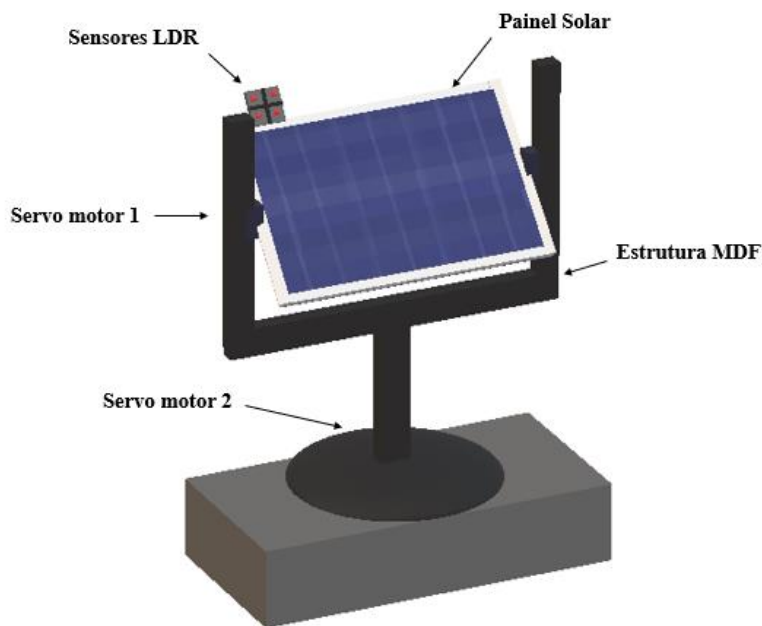
Figura 26 - Protótipo idealizado 1



Fonte: Autores, 2023.



Figura 27 - Protótipo idealizado 2



Fonte: Autores, 2023.

Ao ter a estrutura projetada com base no painel solar, as dimensões da base superior onde ela seria fixada, foi estimada em 35x24 cm. As etapas que se seguem após a ideia de como será a estrutura se referem ao corte das madeiras, montagem efetiva de cada estrutura, junto com a fixação dos componentes e ligação elétrica dos motores, sensores e resistores.

A partir da montagem inicial referente as duas propostas, será decidida qual tem os aspectos físicos mais relevantes, como tamanho, peso, e se executa a movimentação de forma satisfatória. Assim que o protótipo estiver funcionando de acordo com o esperado, inicia-se a etapa de coleta dos valores de tensão a fim de identificar a eficiência.

### 3.5 Coleta de dados

O método pretendido para aferir a tensão do painel durante o seu funcionamento, se trata da implementação de um circuito simples, baseado em um divisor de tensão ligado a um dos pinos analógicos do Arduino, de forma que através da programação e da leitura deste canal analógico, é possível medir o valor de tensão gerado pelo painel.

Portanto, inicialmente é necessário determinar os valores dos resistores e realizar a conversão do valor apurado pelo canal analógico para o valor de tensão medido.

O pino analógico pode receber um valor máximo de 5V e a tensão máxima gerada pelo painel em malha aberta, de acordo com o fabricante, é de 21,60V. Desta forma, os resistores precisam disponibilizar uma queda de tensão máxima de 5V para leitura no canal analógico, que irá interpretar esse valor sendo o máximo (1023).

Neste caso, o cálculo pode ser efetuado ao determinar o  $R_1$  como um valor conhecido e encontrar o valor de  $R_2$  através da Equação 1.

$$V_{out} = \frac{V_{in} * R_2}{R_1 + R_2} \quad [1]$$

Onde:

$V_{out}$  = Tensão de saída

$V_{in}$  = Tensão de entrada

$R_1$  = Resistência conhecida

Ao isolar  $R_2$ , o valor é encontrado através da Equação 2.

$$R_2 = \frac{V_{out} * R_1}{V_{in} - V_{out}} \quad [2]$$

Entretanto, o valor medido pela função `analogRead( )` é em bits, variando de 0 a 1023, de modo que é indispensável converter essa medição para um valor equivalente a tensão gerada pelo painel.

Para realizar a conversão, é essencial efetuar uma operação matemática, conforme demonstra a Equação 3.

$$V_{med} = \left[ V_A * \left( \frac{V_{ref}}{1023} \right) \right] * C \quad [3]$$

Onde:

$V_{med}$  = Tensão real gerada pelo painel

$V_A$  = Tensão lida no canal analógico

$V_{ref}$  = Tensão de referência

$C$  = Constante determinada pela relação entre  $V_{in} / V_{out}$

Ao definir que o valor de referência a ser medido é 5V (valor máximo na entrada do pino analógico) e ao efetuar a divisão deste valor por 1023, conclui-se que cada bit equivale a 4,9mV. Portanto, ao multiplicar 4,9mV pelo valor em bits lido no canal analógico, será encontrada uma tensão de 0 até 5V.

Desta forma, como 5V é o máximo apurado e 21,6V é o máximo gerado pelo painel, a constante  $C$  é igual 4,32 ( $21,6V / 5V$ ), bastando multiplicar o valor de  $V_{out}$  por 4,32 para identificar a real tensão gerada.

Com base nesse equacionamento, é possível efetuar a medição da tensão e disponibilizar os valores em uma interface, através da conversão executada na própria programação.

Para coletar os valores de tensão de ambos os sistemas, será necessário utilizar mais de um dia, pois apenas um painel solar está disponível para efetuar as medições, de forma que é esperado algumas variações na eficiência devido a apuração dos dois sistemas não serem efetuadas no mesmo dia.

Referente a captação da energia solar no sistema fixo, o painel será virado para o norte, com uma inclinação de aproximadamente 23° (latitude), conforme é demonstrado que nesta configuração, a eficiência é melhor para a localidade (Sudeste) em que ele ficará exposto ao Sol.

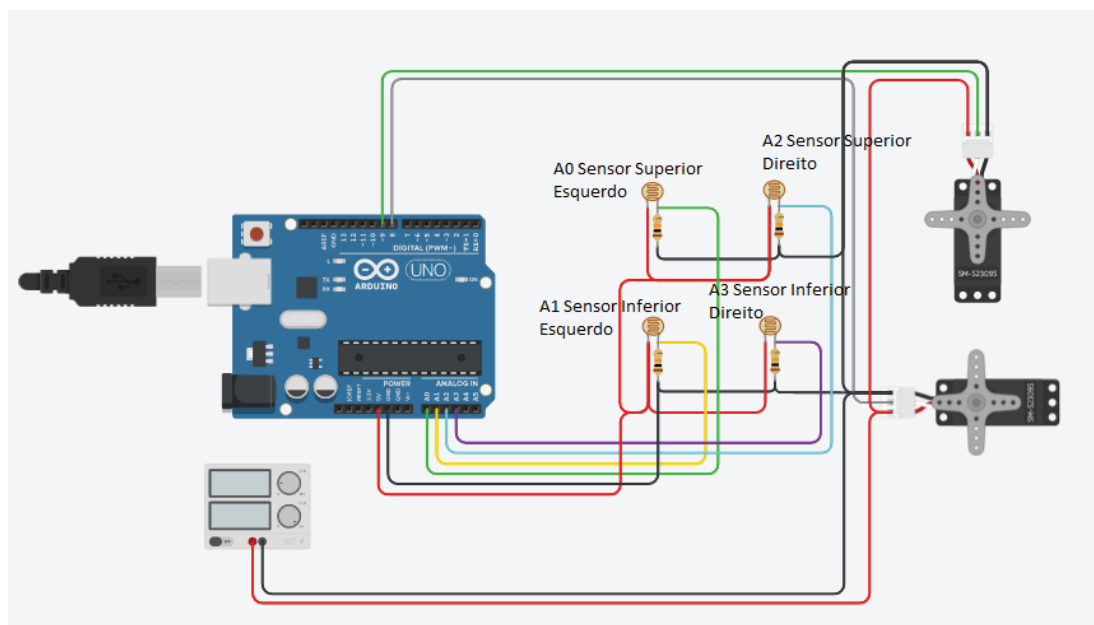
### 3.6 Simulação

Com base no microcontrolador empregado, a programação utilizada é a linguagem C++, amplamente utilizada na área de tecnologia e de fácil utilização perante a base fornecida ao longo dos estudos obtidos durante a graduação.

Primordialmente, o código precisa ser testado e para isso, simulações são pertinentes nesse sentido, pois disponibilizam formas de associar o *software* com o

*hardware* desenvolvido. A simulação presente na Figura 28, efetuada no Tinkercad, apresenta o esquema elétrico em que o microcontrolador Arduino está integrado a dois servos motores e quatro sensores LDR em série com resistores de  $10k\Omega$  respectivamente, no intuito de testar o funcionamento inicial.

Figura 28 – Simulação de acionamento dos motores

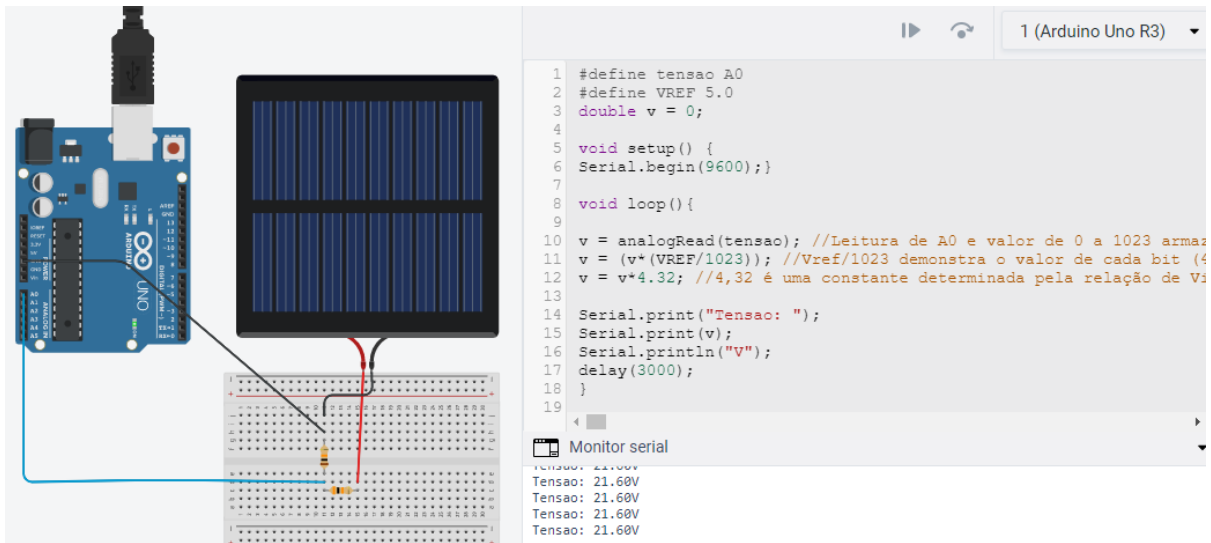


Fonte: Autores, 2022.

Desta forma, é possível obter a base do projeto a fim de atingir os objetivos e resultados esperados. Tal simulação se demonstra ser de extrema importância no quesito de aperfeiçoamento da programação desenvolvida, sendo possível eliminar erros e efetuar testes de forma rápida.

Além da simulação do circuito com a movimentação dos servos motores, também foi simulado o esquema de apuração do valor gerado pelo painel solar, presente na Figura 29, onde foram determinados os valores de  $R_1$ ,  $R_2$  e  $V_{ref}$ , de modo que a leitura da tensão é mostrada diretamente no monitor serial.

Figura 29 - Simulação da medição de tensão

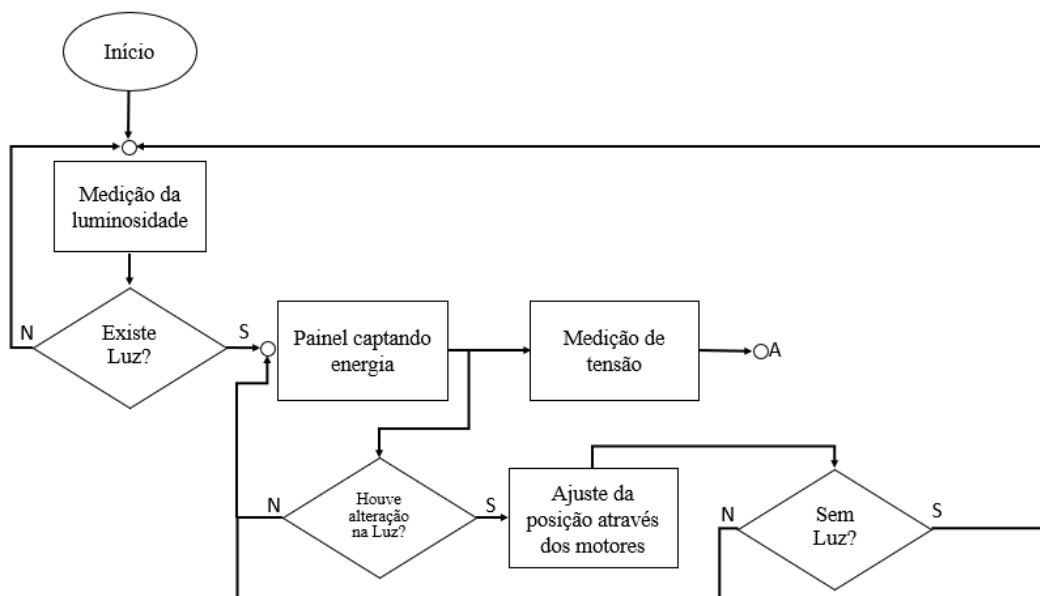


Fonte: Autores, 2023.

### 3.7 Fluxograma

O fluxograma apresentado nas Figuras 30, 31 e 32, retratam o esquema geral de funcionamento do protótipo.

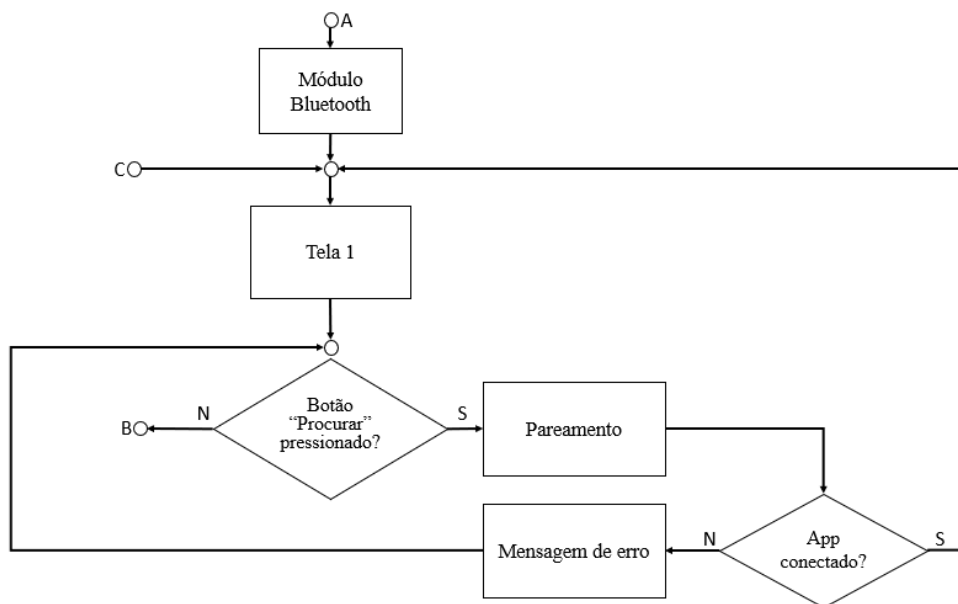
Figura 30 – Fluxograma (Painel solar)



Fonte: Autores, 2023.

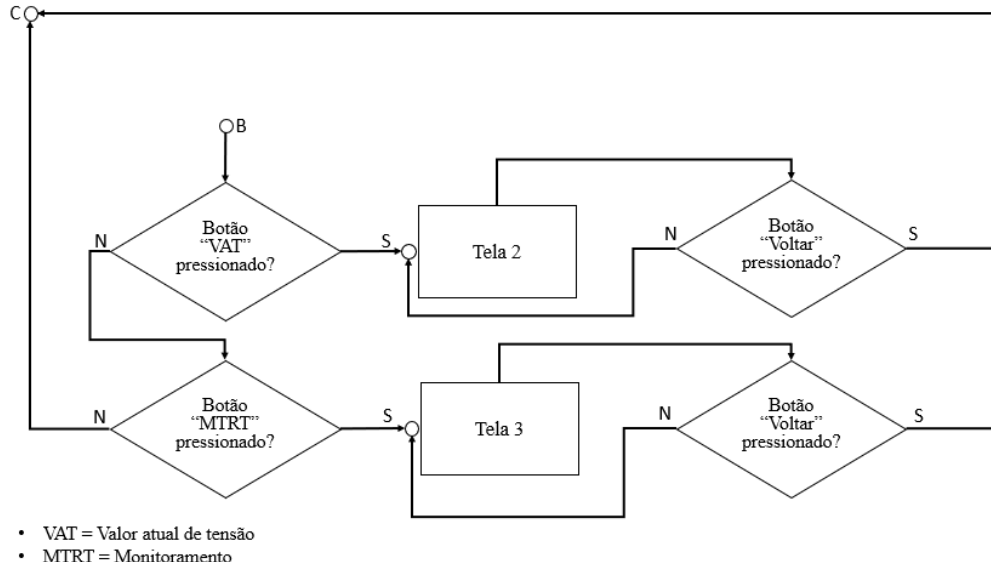
Inicialmente, o fluxograma demonstra que é efetuada a medição da luminosidade através dos quatro sensores que reportam ao microcontrolador o modo em que a incidência solar está sendo recebida. Desta forma, a geração de energia através do painel é aferida e o valor de tensão é informado ao aplicativo. Posteriormente é analisado se a incidência solar percebida pelos sensores teve alguma alteração e caso tenha ocorrido alguma variação, os servos motores são acionados no intuito de corrigir a posição do sistema e com isso, manter a captação. No cenário em que a luz não está mais presente, o sistema volta para o momento inicial de medição da luminosidade.

Figura 31 - Fluxograma (Comunicação) 1



Fonte: Autores, 2023.

Figura 32 - Fluxograma (Comunicação) 2



Fonte: Autores, 2023.

O fluxograma presente nas Figuras 31 e 32 são exclusivas da comunicação com o aplicativo, de forma que após o microcontrolador se comunicar com o módulo Bluetooth, o aplicativo está apto a ser pareado para receber as informações do painel. Portanto, é apresentada uma tela inicial com 3 botões em que o usuário precisa clicar em “procurar” a fim de selecionar o módulo e prosseguir com a utilização da aplicação. Após o pareamento, é possível interagir com as telas 2 e 3 de forma que é possível clicar no botão “voltar” para regressar à primeira tela.

### 3.8 Funcionamento do protótipo

Quando o sistema é iniciado, os sensores efetuam a captação da luz presente no ambiente e ajustam a posição do painel através do acionamento dos servos motores, e o valor de tensão gerado é disponibilizado na tela 2 do aplicativo, por meio do pareamento com o módulo Bluetooth.

Os sensores funcionam em pares, de forma que na programação foram criadas algumas variáveis que recebem os valores medidos por cada um e posteriormente, é tirada uma média do valor aferido entre os sensores que fazem o par superior, inferior, lateral esquerda e lateral direita, conforme demonstra a Figura 33.

Figura 33 – Médias dos sensores

```
int avt = (lt + rt) / 2; // valor médio cima.
int avd = (ld + rd) / 2; // valor médio baixo.
int avl = (lt + ld) / 2; // valor médio esquerdo.
int avr = (rt + rd) / 2; // valor médio direito.
```

Fonte: Autores, 2023.

Após o armazenamento das médias em uma nova variável, é realizada a diferença entre o valor médio superior e inferior e esse novo valor também é armazenado em uma nova variável, que é identificada como a movimentação vertical. Na sequência, ocorre o mesmo com os valores médios da lateral esquerda e direita, que serão responsáveis pelo movimento horizontal, conforme apresenta a Figura 34.

Figura 34 – Diferença entre as médias

```
int dvert = avt - avd; // verifica a diferença de cima e baixo.
int dhoriz = avl - avr; // verifica a diferença da esquerda e direita.
```

Fonte: Autores, 2023.

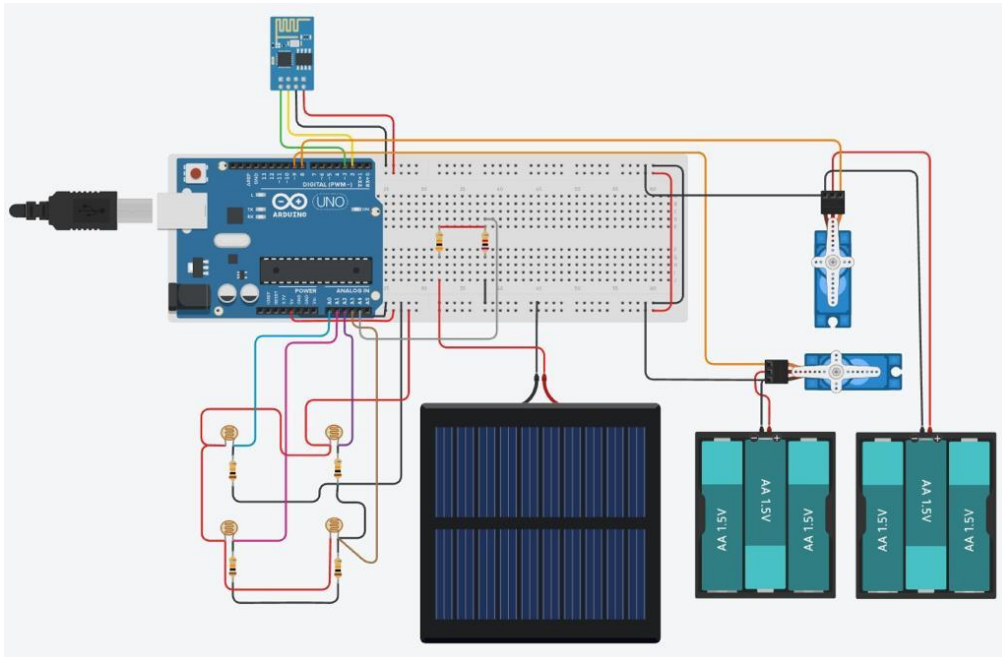
Desta forma, cada variação de luminosidade irá afetar de forma diferente os pares, pois devido a estrutura em formato de cruz separando os sensores, ao decorrer da variação no ângulo dos raios solares, essa estrutura irá ocasionar um sombreamento nos outros sensores, ocasionando uma grande diferença entre as médias dos pares (responsáveis pelo movimento vertical ou horizontal) e com isso, o sistema consegue se localizar.

O Arduino UNO R3 é responsável por toda a lógica de acionamento do sistema, enquanto a alimentação utilizada é externa, sendo disponibilizada por uma bateria composta por lítio de 4,5V para cada servo motor e uma bateria comum de 9V para ligar o Arduino.

O circuito elétrico funcional está apresentado na Figura 35 e a Figura 36 representa o diagrama multifilar, que demonstra as ligações elétricas efetuadas com cada componente. O esquema elétrico foi reproduzido da mesma maneira na versão prática, com os componentes e configurações citadas.

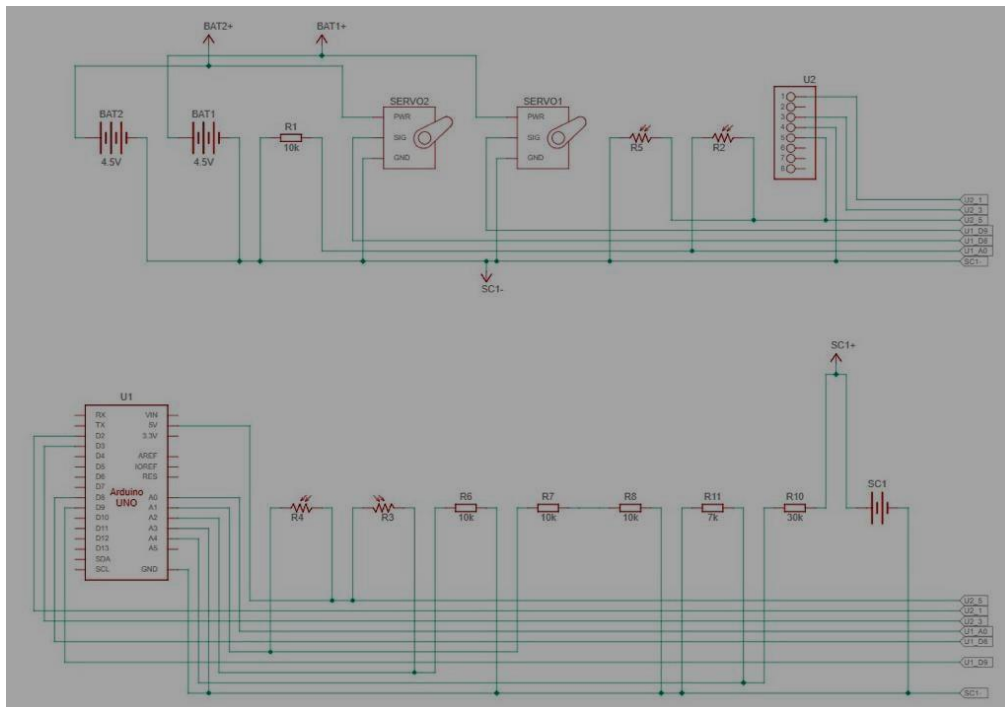


Figura 35 - Circuito completo funcional



Fonte: Autores, 2023.

Figura 36 - Diagrama multifilar



Fonte: Autores, 2023.

### 3.9 Aspectos gerais

Durante a execução dos testes de funcionamento do protótipo na primeira versão, foi notada uma deficiência mecânica na sustentação do peso e na movimentação por parte do servo motor 1, responsável pelo movimento vertical do painel. O servo motor 2, localizado na base da estrutura, não teve complicações em seu funcionamento.

A partir disso, foi necessário prosseguir com a elaboração da segunda versão da estrutura, onde os aspectos físicos foram alterados, de forma que o painel antes na vertical, passou a estar na horizontal, com uma estrutura em formato de garfo o sustentando. Com isso, a movimentação do sistema se tornou mais satisfatória, uma vez que o motor conseguiu atuar de forma livre, sem travamentos.

Na Figura 37, constam as duas versões do protótipo, sendo a segunda, mantida como a versão definitiva.

Figura 37 - Versões do protótipo



Versão 1



Versão 2

Fonte: Autores, 2023.

### 3.10 Desenvolvimento do aplicativo

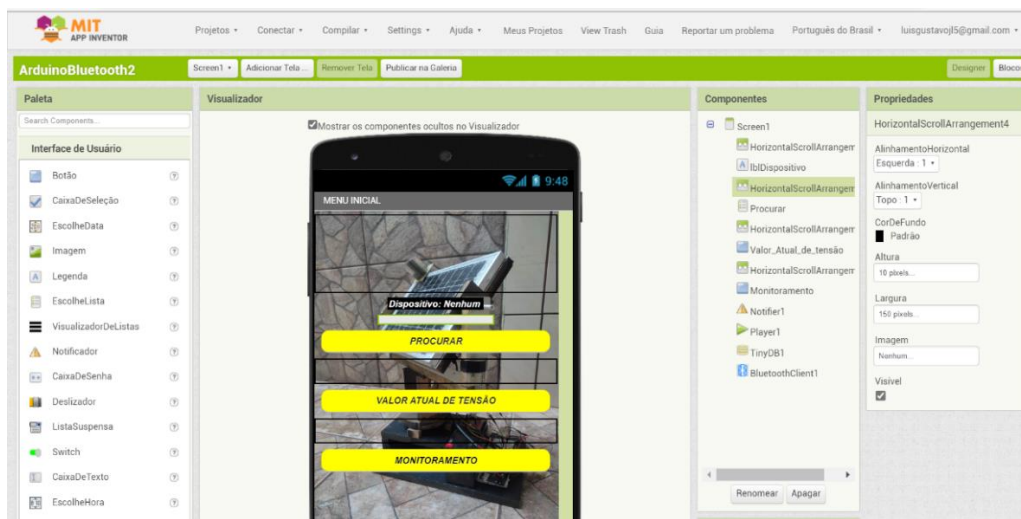
O objetivo do aplicativo é o de receber os parâmetros da captura de tensão, a fim de demonstrar em tempo real o quanto de energia está sendo fornecida pelo painel. Tal interface se enquadra na interface homem máquina pretendida.

A plataforma escolhida para o desenvolvimento do aplicativo é o App Inventor, por ser um *software* gratuito e de fácil manuseio. A comunicação entre a plataforma e o protótipo é efetuada através do módulo Bluetooth HC-05.

O desenvolvimento se baseia na criação de 3 telas, onde a inicial irá demonstrar as opções disponíveis em que um usuário pode escolher para visualizar certas informações e um botão para efetuar a comunicação do *smartphone* com o módulo presente no Arduino.

A segunda tela disponibilizará o valor de tensão fornecido pelo painel solar e a última, irá mostrar os parâmetros do sistema móvel graficamente, munido dos valores de tensão obtidos previamente, e uma imagem ilustrativa referente aos períodos solares em que o painel será mais eficiente a depender do hemisfério em que o sistema ficará localizado. A Figura 38 demonstra o *software* utilizado para desenvolvimento da aplicação e a tela inicial.

Figura 38 - Software APP INVENTOR



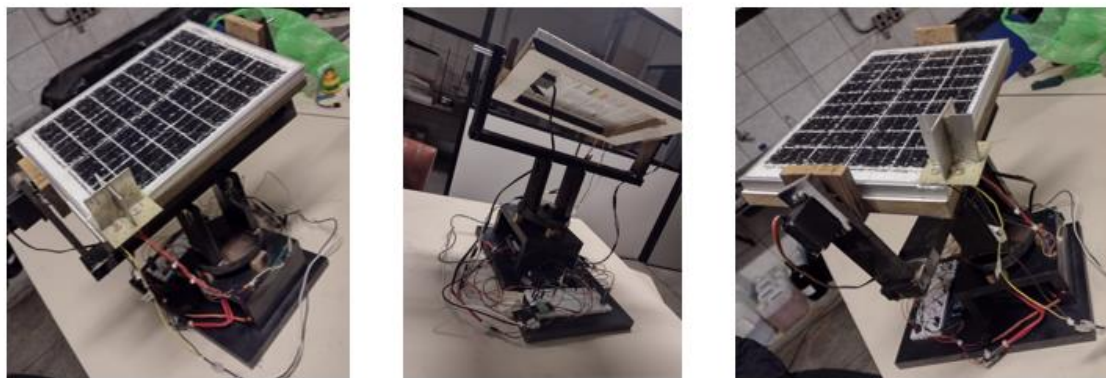
Fonte: Autores, 2023.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme apresentado na proposta inicial do projeto, um dos objetivos principais e fundamentais do protótipo, seria a movimentação do painel solar no sentido horizontal e vertical e o desenvolvimento de um aplicativo para visualizar os valores de tensão fornecidos pelo painel. Para atingir este resultado, foi seguida a metodologia citada anteriormente e os resultados serão apresentados neste capítulo.

A Figura 39 demonstra o protótipo finalizado, de modo que na sequência da execução do protótipo, foram efetuados os testes iniciais de movimentação e foi possível começar a executar a coleta dos dados de tensão do sistema fixo e móvel.

Figura 39 - Rastreador finalizado



Fonte: Autores, 2023.

### 4.1 Comparação entre o sistema fixo e móvel

A partir da simulação efetuada previamente e da técnica estimada de coleta, foi efetuada a apuração dos valores de tensão gerado por cada sistema.

Conforme a Equação 1, os seguintes parâmetros foram determinados:

$$V_{\text{out}} = 5\text{V}$$

$$V_{\text{in}} = 25\text{V}$$

$$R_1 = 30\text{k}\Omega$$

Ao isolar  $R_2$ , o valor encontrado é de  $7.5k\Omega$ .

Para realizar a conversão do valor através da Equação 2, manteve-se o valor de referência como 5V e a constante C, ficou em 5, pois considerou-se que a tensão máxima de entrada seria em torno de 25V, como margem de segurança para a medição final a fim de não disponibilizar no canal analógico, uma tensão superior a 5V, pois isso acarretaria problemas irreversíveis no microcontrolador.

Portanto, os valores de tensão apurados através da captação do painel solar, foram tratados na programação e disponibilizados em uma tabela no intuito de gerar o gráfico comparativo entre os dois modos de operação (móvel e fixo). Vale ressaltar que o painel adquirido disponibiliza na prática, tensões acima de 23V, valor esse que foi medido com um multímetro e através do microcontrolador.

As Tabelas 2 e 3 demonstram os valores obtidos e na sequência, a Figura 40 apresenta o gráfico comparativo de eficiência entre os modos de operação nos dias. Vale citar que o gráfico foi executado com base nos valores médios de cada tipo de sistema, em porcentagem.

Os dias de medição foram:

- 22/04/2023 – Fixo
- 07/05/2023 – Fixo
- 23/04/2023 – Móvel
- 01/05/2023 – Móvel

Tabela 2 - Valores do sistema fixo (22/04/2023 e 07/05/2023)

	Fixo (V) - 22/04	%	Fixo (V) - 07/05	%	Média (V)	Média (%)
06:00:00	1,50	5,99%	0,65	2,60%	1,07	4,30%
06:30:00	5,86	23,46%	4,21	16,84%	5,04	20,15%
07:00:00	9,68	38,70%	8,33	33,32%	9,00	36,01%
07:30:00	16,39	65,56%	8,46	33,84%	12,43	49,70%
08:00:00	19,26	77,03%	13,27	53,08%	16,26	65,06%
08:30:00	20,69	82,74%	14,93	59,72%	17,81	71,23%
09:00:00	22,18	88,74%	17,91	71,64%	20,05	80,19%
09:30:00	20,89	83,54%	17,28	69,12%	19,08	76,33%
10:00:00	21,94	87,74%	18,79	75,16%	20,36	81,45%
10:30:00	21,66	86,66%	19,70	78,80%	20,68	82,73%
11:00:00	23,58	94,31%	19,90	79,60%	21,74	86,95%
11:30:00	23,58	94,31%	19,90	79,60%	21,74	86,95%
12:00:00	20,89	83,54%	20,90	83,60%	20,89	83,57%
12:30:00	23,24	92,96%	21,20	84,80%	22,22	88,88%
13:00:00	22,97	91,88%	20,94	83,76%	21,96	87,82%
13:30:00	20,95	83,78%	19,90	79,60%	20,42	81,69%
14:00:00	20,90	83,59%	18,70	74,80%	19,80	79,20%
14:30:00	21,45	85,81%	19,10	76,40%	20,28	81,10%
15:00:00	18,00	71,98%	17,32	69,28%	17,66	70,63%
15:30:00	16,47	65,89%	17,51	70,04%	16,99	67,97%
16:00:00	12,63	50,50%	15,27	61,08%	13,95	55,79%
16:30:00	10,95	43,80%	10,60	42,40%	10,78	43,10%
17:00:00	8,71	34,83%	7,02	28,08%	7,86	31,46%
17:30:00	5,44	21,76%	3,04	12,16%	4,24	16,96%
18:00:00	0,32	1,27%	0,31	1,24%	0,31	1,26%
<b>Média final do fixo</b>					<b>15,30</b>	<b>61,22%</b>

Fonte: Autores, 2023.

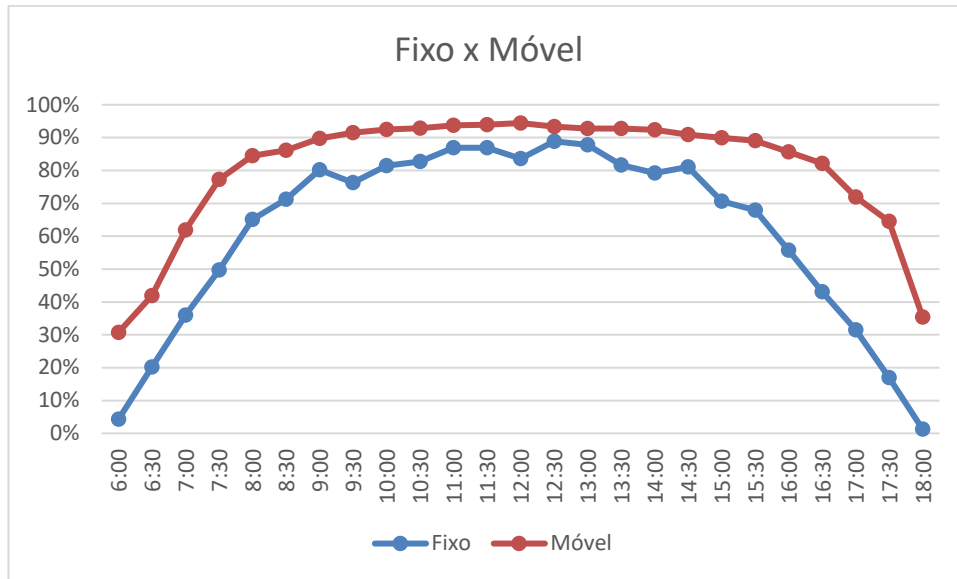
Tabela 3 - Valores do sistema móvel (23/04/2023 e 01/05/2023)

Horário	Móvel (V) - 23/04	%	Móvel (V) - 01/05	%	Média (V)	Média (%)
06:00:00	10,15	40,59%	5,22	20,88%	7,68	30,74%
06:30:00	12,04	48,14%	8,90	35,60%	10,47	41,87%
07:00:00	16,76	67,02%	14,20	56,80%	15,48	61,91%
07:30:00	18,29	73,16%	20,33	81,32%	19,31	77,24%
08:00:00	21,12	84,49%	21,12	84,48%	21,12	84,48%
08:30:00	21,83	87,32%	21,23	84,92%	21,53	86,12%
09:00:00	22,42	89,68%	22,43	89,72%	22,43	89,70%
09:30:00	22,77	91,10%	22,96	91,84%	22,87	91,47%
10:00:00	23,13	92,51%	23,09	92,36%	23,11	92,44%
10:30:00	23,25	92,98%	23,17	92,68%	23,21	92,83%
11:00:00	23,48	93,93%	23,41	93,64%	23,45	93,78%
11:30:00	23,48	93,93%	23,48	93,92%	23,48	93,92%
12:00:00	23,61	94,44%	23,61	94,44%	23,61	94,44%
12:30:00	23,46	93,83%	23,24	92,96%	23,35	93,40%
13:00:00	23,43	93,74%	22,97	91,88%	23,20	92,81%
13:30:00	23,48	93,93%	22,92	91,68%	23,20	92,80%
14:00:00	23,25	92,98%	22,92	91,68%	23,08	92,33%
14:30:00	22,54	90,15%	22,92	91,68%	22,73	90,92%
15:00:00	22,18	88,74%	22,78	91,12%	22,48	89,93%
15:30:00	21,83	87,32%	22,68	90,72%	22,26	89,02%
16:00:00	21,48	85,90%	21,36	85,44%	21,42	85,67%
16:30:00	20,53	82,13%	20,54	82,16%	20,54	82,14%
17:00:00	19,47	77,88%	16,50	66,00%	17,99	71,94%
17:30:00	17,46	69,86%	14,80	59,20%	16,13	64,53%
18:00:00	12,63	50,50%	5,07	20,28%	8,85	35,39%
<b>Média final do móvel</b>					<b>20,12</b>	<b>80,47%</b>

Fonte: Autores, 2023.

Cada valor em porcentagem foi relacionado com a tensão máxima considerada (25V), a partir disso, os valores foram calculados conforme uma regra de 3.

Figura 40 - Gráfico Fixo x Móvel



Fonte: Autores, 2023.

De acordo com a bibliografia, o gráfico atingido possui similaridades com o gráfico ideal, de forma que em uma análise comparativa, é possível identificar que o sistema móvel tem uma eficiência superior, pois permanece por mais tempo recebendo iluminação do Sol ao longo do dia.

#### 4.1.1 Eficiência do sistema

Nota-se que o sistema móvel é superior em questão de eficiência do que o sistema fixo, de forma que através da Equação 4 ( $V_m$  é igual a tensão média), é possível determinar quantitativamente a diferença de eficiência entre os dois sistemas.

$$Eficiência = \frac{V_m(móvel) - V_m(fixo)}{V_m(móvel)} * 100 \quad [4]$$

⋮

$$Eficiência = \frac{20,12 - 15,30}{20,12} * 100 = 23,96\%$$



Com base nas medições efetuadas nos respectivos dias, o sistema móvel tem uma eficiência de 23,96% maior que o sistema fixo.

#### 4.2 Versão final do aplicativo

O aplicativo desenvolvido tem uma função crucial no funcionamento do protótipo, pois ele informa em tempo real o valor de tensão gerado pelo painel solar. Conforme citado anteriormente, ele possui 3 telas, de modo que cada uma possui uma função própria.

Na tela inicial, apresentada na Figura 41, existem 3 botões que geram uma ação e a imagem de fundo é uma foto real do protótipo. O primeiro botão chamado “procurar”, é responsável por conectar o smartphone com o módulo Bluetooth. O botão “valor atual de tensão”, direciona o usuário para uma tela em que é mostrada a tensão gerada pelo painel, conforme a Figura 42. Por fim, o botão “monitoramento”, apresenta algumas informações sobre o rastreador solar, conforme demonstra a Figura 43.

Figura 41 – Tela 1 (Menu inicial)



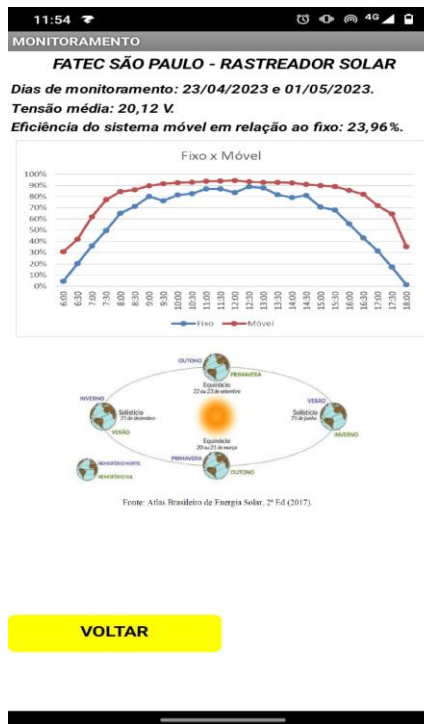
Fonte: Autores, 2023.

Figura 42 – Tela 2 (Valor atual de tensão)



Fonte: Autores, 2023.

Figura 43 – Tela 3 (Monitoramento)

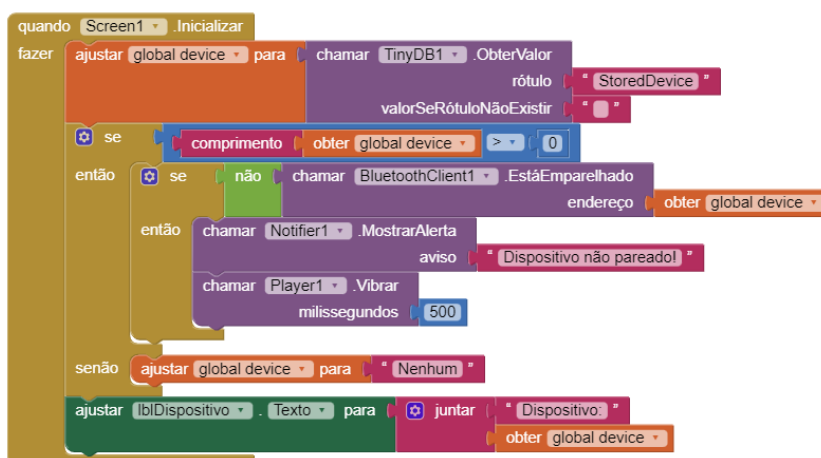


Fonte: Autores, 2023.

### 4.2.1 Programação do aplicativo

A programação do aplicativo é efetuada diretamente na plataforma utilizada e a linguagem é em blocos, tendendo a ser mais simples de executar. As Figuras 44 e 45 apresentam a programação da tela inicial.

Figura 44 – Programação da primeira tela (1)



Fonte: Autores, 2023.

Figura 45 - Programação da primeira tela (2)



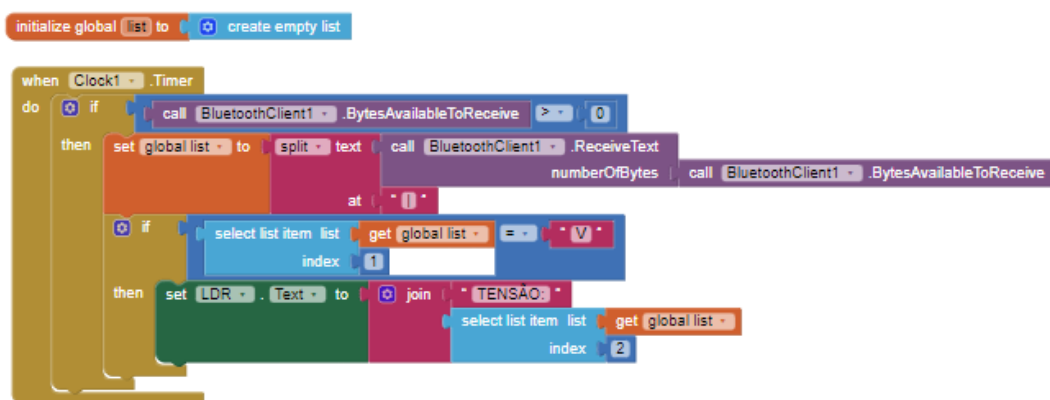
Fonte: Autores, 2023.

O bloco screen 1 tem a função de realizar a conectividade do módulo Bluetooth com a programação do Arduino através das variáveis criadas internamente no APP inventor.

Além desse primeiro bloco, existem as funções chamadas “inicializar”, “valor atual de tensão”, “monitoramento” e “procurar”. A primeira função cria uma variável global chamada *device*, que interage com os demais blocos das outras telas. As demais funções estão ligadas aos botões da primeira tela e vale destacar que a função procurar disponibiliza os dispositivos disponíveis para parear com o módulo Bluetooth.

Referente a segunda tela, os blocos estão relacionados ao recebimento do valor de tensão lido pelo Arduino, de forma que essa informação fica disponível para visualização na tela. A Figura 46 demonstra o bloco da programação responsável pelo recebimento dessa informação.

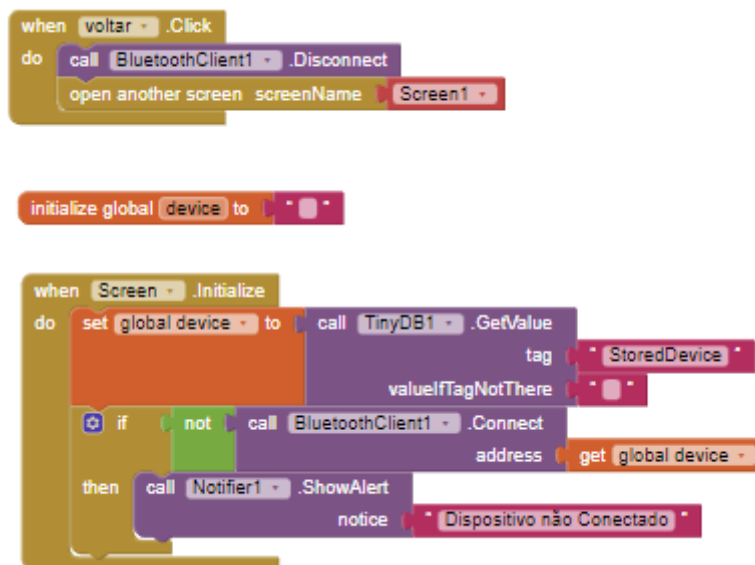
Figura 46 - Programação da segunda tela (1)



Fonte: Autores, 2023.

A Figura 47 indica a programação referente ao comportamento da segunda tela e a função “voltar”, gera a ação de retornar para a primeira tela, caso este botão seja pressionado.

Figura 47 - Programação da segunda tela (2)



Fonte: Autores, 2023.

Por fim, a tela 3 apenas apresenta algumas informações sobre o rastreador solar e tem a opção de voltar para a primeira tela, de modo que a sua programação é mais simples, conforme demonstra a Figura 48.

Figura 48 - Programação da terceira tela



Fonte: Autores, 2023.

### 4.3 Relação de componentes e custo

Na Tabela 4, é demonstrada a relação dos componentes utilizados, seus respectivos valores e o total gasto no projeto.

Tabela 4 - Componentes e custo

<b>Materiais</b>	<b>Qtd.</b>	<b>Valor unitário</b>	<b>Valor final</b>
LDR 5mm	4	R\$ 2,00	R\$ 8,00
Servo motor MG995	2	R\$ 45,07	R\$ 90,14
Painel solar (10W)	1	R\$ 100,00	R\$ 100,00
Placas de MDF	3	R\$ 10,00	R\$ 30,00
Resistores 10k $\Omega$	7	R\$ 0,05	R\$ 0,35
Resistor 6,8k $\Omega$	1	R\$ 0,14	R\$ 0,14
Resistor 1k $\Omega$	1	R\$ 0,05	R\$ 0,05
Arduino UNO R3	1	R\$ 45,00	R\$ 45,00
Módulo Bluetooth	1	R\$ 31,90	R\$ 31,90
Cabos/Acessórios		R\$ 10,00	R\$ 10,00
Bateria 9V	1	R\$ 12,53	R\$ 12,53
Bateria 4,5V	2	-	-
<b>Total</b>			<b>R\$ 328,11</b>

Fonte: Autores, 2023.

## 5. CONCLUSÕES

Conforme as etapas de execução do protótipo, foi estabelecida que uma das maiores dificuldades apresentadas foi encontrar e adaptar o servo motor, de forma que ele conseguisse exercer a sua função, mantendo a eficiência e disponibilizando os movimentos pretendidos, pois nos testes iniciais, houve intempéries acerca do funcionamento do componente, acarretando mudanças na estrutura física.

A versão obtida atualmente, é funcional e serve de base para novos projetos e estudos relacionados a mecânica de movimentação, no intuito de que aprimoramentos serão necessários a fim de estabelecer o meio viável para atingir os resultados pretendidos, por exemplo alterando o servo motor para um mais potente e até mesmo utilizar materiais para a estrutura que suportem mais umidade e tenham um peso adequado de acordo com o painel utilizado.

O protótipo executa os movimentos de direcionamento do painel solar de acordo com a luminosidade, atuando conforme a programação. Os sensores captam assertivamente a luz incidida e efetua o acionamento dos motores, completando a lógica do funcionamento esperado. A comunicação com o aplicativo está adequada para os parâmetros desejados, de forma que é possível interagir com a interface e identificar os valores de tensão gerados pelo painel de forma simples.

Alguns pontos de melhoria podem ser citados e recomenda-se empregar recursos adicionais para que o projeto seja ainda mais completo. Estima-se que o protótipo seja mais eficiente caso tenha uma técnica de liga e desliga acionada por um temporizador, no intuito de não manter o sistema ligado a todo momento e que o rastreamento seja mais preciso caso os sensores sejam aferidos várias vezes e uma média dessa medição seja efetuada a fim de mitigar os erros ocasionados pelas variações de resistência decorrente de sua construção.

Referente a coleta de dados, a fim de comprovar de uma forma mais efetiva a real eficiência entre os dois sistemas, a coleta dos valores em mais dias e com dois painéis (um fixo e outro móvel) é o ideal, pois nota-se que o valor de 23,96% pode ser maior ao considerar as condições climáticas do mesmo dia para os dois sistemas.

## 6. PROJETOS FUTUROS

Com base na execução da versão atual do protótipo, alguns projetos futuros são estimados, por exemplo o armazenamento da energia em uma bateria, efetuando um controle de carga, no sentido de que essa energia captada possa ser utilizada por algum outro circuito.

Adição de novas funcionalidades ao aplicativo, a exemplo de um gráfico em tempo real relativo ao quanto de energia está sendo captada, armazenamento dos dados a fim de efetuar uma comparação por período (dia, semana e mês) e outras telas informativas sobre a carga e descarga da bateria empregada.

Em questão de maior autonomia, é possível empregar um módulo RTC (*Real Time Clock*), para que o sistema possa efetuar a sua movimentação também com base na hora do dia, tornando-o mais eficiente caso ocorra algum imprevisto com a captação da luminosidade através dos sensores.

Por fim, a medição dos valores de tensão do painel pode ser substituída por outro circuito limitador, por exemplo, um diodo zener, uma resistência variável (varistor) ou até mesmo um módulo comercial para Arduino, pois desta forma, aumenta a segurança dos valores medidos no canal analógico, sem correr o risco de uma sobretensão danificar o microcontrolador.



## 7. REFERÊNCIAS

A. Makwana; D. Lad. Dual axis solar tracking system using 5-LDR sensor. **International Journal of Current Engineering and Technology**, Vasad, Gujarat, India, v. 7, n. 5, p. 1750-1753, sept, 2017.

ALVES, Alceu Ferreira. Desenvolvimento de um sistema de posicionamento automático para painéis fotovoltaicos. 2008. 158 f. Doutorado em Agronomia – Universidade estadual paulista, Faculdade de ciências agrônômicas, Botucatu, 2008.

ANDRADE, Cid Marcos Gonçalves; DA SILVA SOUZA, Anacreone; DA ROCHA QUEIROZ, Juliano. CLASSIFICAÇÃO DE RASTREADORES SOLARES: UMA BREVE REVISÃO. In: SIMPROC, 3, 2018, Curitiba: ACADEMIA, Accelerating the world's research. 2018. 152-159.

ARDUINO. Arduino.cc, 2023. Arduino Hardware. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/hardware>>. Acesso em 15/04/2023.

ARDUINO. Docs Arduino, 2023. Overview - Arduino® Uno R3, datasheet A000066, Modified: 30/12/2022, 13 p. Disponível em <<https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>>. Acesso em 15/04/2023.

BEN, Balanço energético nacional. BEN Relatório Síntese 2022, ano base 2021. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022> >. Acesso em 31/10/2022.

CCEE, Proinfa, Programa de incentivo a fontes alternativas, 2022. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/mercado/proinfa>>. Acesso em: 06/09/2022.

Como funciona um inversor solar? Usisol, 16 de março de 2021. Disponível em: < <https://blog.usisolenergia.com.br/como-funciona-um-inversor-solar/> >. Acesso em: 12/02/2023.

CRAVO, Edilson. O que é um Servo Motor, como funciona e quais as vantagens? Kalatec Automação. Disponível em: < <https://blog.kalatec.com.br/o-que-e-servo-motor/> >. Acesso em: 02/11/2022.

Datasheet MG995. High Speed Servo Actuator, (fabricante não classificado). Disponível em: <<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132435/ETC2/MG995.html>>.

Empresa de Pesquisa Energética. <https://www.epe.gov.br/>, 2022. Matriz Energética e Elétrica. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica> >. Acesso em: 28/10/2022.

FGV. Dados - Matriz Energética, 2020. Matriz Energética Mundial (BP Statistical Review 2020), Matriz Energética Brasileira (BP Statistical Review 2020). Disponível em: < <https://fgvenergia.fgv.br/dados-matriz-energetica> >. Acesso em: 27/10/2022.

HENN, MDF ou MDP: entenda as diferenças entre esses materiais. 22, setembro de 2022. Disponível em: < <https://henn.com.br/pt/blog/post/mdf-ou-mdp>>. Acesso em 09/11/2022.

INTELBRAS, Diferenças entre os sistemas on grid e off grid de energia solar. 08, agosto de 2022 (publicado originalmente em 31/03/2020). Disponível em: < <https://blog.intelbras.com.br/diferencas-entre-os-sistemas-on-grid-e-off-grid-de-energia-solar/> >. Acesso em: 09/09/2022.

JESPERSEN, James; FITZ-RANDOLPH, Jane. From Sundials to Atomic Clocks:.. US Department of Commerce, Technology Administration, National Institute of Standards and Technology, 1999.

KOMP, Richard J. Practical photovoltaics: electricity from solar cells. Ann Arbor, MI: aatec publications, 1995.

MACÊDO, Josué Antunes de; PEDROSO, Luciano Soares; COSTA, Giovanni Armando da. Aprimorando e validando um fotogate de baixo custo. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 40, 2018.

MARTINS, Fernando Ramos et al. Atlas brasileiro de energia solar 2. 2017.

Controlador de carga – energia solar. NeoSolar, 2023. Disponível em: < <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/controlador-de-carga-solar/> >. Acesso em 04/03/2023.

Painel Solar Fotovoltaico 10W - Resun RSM010-P. NeoSolar, 2022. Disponível em: < <https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-10w-resun-rsm010-p.html> >. Acesso em 22/09/2022.

Painel Solar Fotovoltaico. NeoSolar, 2023. Disponível em: < <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/painel-solar-fotovoltaico/>>. Acesso em 03/01/2023.

Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes. NeoSolar, 2022. Disponível em: < <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes> >. Acesso em 10/11/2022.

NREL. National Renewable Energy Laboratory: Solar Resource Glossary. 2022. Disponível em: < <https://www.nrel.gov/grid/solar-resource/solar-glossary.html> >. Acesso em: 13/09/2022.

PEIXOTO, Roberto. Calendário astronômico de 2023: confira quando haverá eclipses, chuvas de meteoro e superluas. G1, 04, janeiro de 2023. Disponível em: < <https://g1.globo.com/ciencia/noticia/2023/01/04/calendario-astronomico-de-2023-confira-quando-havera-eclipses-chuvas-de-meteoro-e-superluas.ghtml> >. Acesso em: 25/05/2023.

Tipos de Painel Solar Fotovoltaico. Portal solar, 2023. Disponível em: < <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em 13/01/2023.

SILVA, Pedro Rodrigues et al. TRAÇADOR DE CURVAS IxV DE UM PAINEL FOTOVOLTAICO PARA AVALIAÇÕES DE DESEMPENHO EM CONDIÇÕES REAIS DE OPERAÇÃO. In: Congresso Brasileiro de Automática-CBA. 2019.

The Benefits of Solar Trackers. Valldoreix greenpower, 15, julho de 2015. Disponível em: < <http://www.valldoreix-gp.com/the-benefits-of-solar-trackers/>>. Acesso em: 22/05/20223

VIDAL, Victor. Módulos Bluetooth HC05 e HC06 para Comunicação com Dispositivos Móveis com Arduino. Blog eletrogate, 22 de junho de 2017, atualizado em 25 de agosto de 2022. Disponível em: < <https://blog.eletrogate.com/modulos-bluetooth-hc05-e-hc06-para-comunicacao-com-dispositivos-moveis-com-arduino/>>. Acesso em: 27/05/2023.

VILLALVA, Marcelo. Como determinar o ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos? Canal solar, 11 de julho de 2020. Disponível em: < <https://canalsolar.com.br/como-determinar-o-angulo-de-inclinacao-dos-modulos-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 15/04/2023

Seguidor solar - tracker: vantagens e desvantagens. Portal solar, 2023. Disponível em: < <https://www.portalsolar.com.br/seguidor-solar-tracker-vantagens-e-desvantagens>>. Acesso em: 22/05/2023.

## APÊNDICE A: Programação em C++

```

/*****
* NOME DO PROJETO: RASTREADOR SOLAR PARA EFICIÊNCIA DE PAINÉIS SOLARES
*****/
* AUTORES:
André de Paula conforto
Júnior Campos de Oliveira
Luís Gustavo da Silva Garrido
*****/
* HISTÓRICO DE REVISÕES:
20/09/2022 | 09/11/2023 | 14/04/2023
13/05/2023 | 20/05/2023 | 02/06/2023
*****/
* DESCRIÇÃO: O projeto tem como objetivo rastrear a luz solar durante o
período de incidência diária e anual, executando os movimentos verticais
e horizontais
*****/
* CONFIGURAÇÕES:
Microcontrolador: Arduino UNO R3
Módulo Bluetooth: HC-05
Servo motor: MG995
Painel: Resun RSM010-P
*****/

#include<Servo.h> // Biblioteca do servo Motor.
#include <SoftwareSerial.h> // Biblioteca do software serial.
#define V A4 // Variável Criada para o pino analógico A4.
#define VREF 5.0 // Variável VREF criada para fixar o 5V.

double Tensão = 0; // Variável de precisão dupla.
Servo horizontal;
int servoh = 90; // ângulo 90º de movimentação do servo motor.
int servohLimitHigh = 180; // ângulo 180º de movimentação do servo motor.
int servohLimitLow = 0; // ângulo de movimento em 0º
Servo vertical;
int servov = 45; // ângulo 45º de movimentação do servo motor.
int servovLimitHigh = 180; // ângulo 180º de movimentação do servo motor.
int servovLimitLow = 0; // ângulo de movimento em 0º
int valor; // Variável valor criada.
char xx = 0; // variável xx do tipo inteira.
SoftwareSerial Bluetooth(2,3); // pinos digitais correspondentes a ligação
do Módulo Bluetooth.

void setup () {

```

```

    pinMode(V,INPUT);// pino Analógico para leitura da tensão em tempo
    real.
    horizontal.attach(9); // serve para anexar os níveis que precisa
    mandar os sinais
    vertical.attach(10); //serve para anexar os níveis que precisa
    mandar os sinais
    horizontal.write(90); //grava no arquivo indicado
    vertical.write(45); //grava no arquivo indicado
    Bluetooth.begin(9600);// Configuração do módulo Bluetooth com o
    Arduino.
    Serial.begin(9600); // Configuração para Inicialização do Arduino.
    delay(3000); // Intervalo de Tempo.
}

```

```

void loop() {

    Tensão = analogRead(V); // Variável Tensão criada para guardar os
    dados fornecidos pelo painel solar no pino A4.
    Tensão = (Tensão*(VREF/1023));// Valor da Variável multiplicada
    pelo máximo de bits para assim realizar a conversão para tensão.
    Tensão = Tensão *5; // Valor da Variável multiplicada por 5 para
    assim dar um valor inteiro de tensão.
    Serial.println(Tensão);// Variável será repassada para o módulo
    Bluetooth via serial.println.
    Bluetooth.print("V|");// Bluetooth irá ler a variável criada no app
    inventor no caso "V".
    Bluetooth.print(Tensão);// Na Variável "V" será aplicado os valores
    de "Tensão".

    int dtime = 10; int tol = 50; // Valor determinado para cada
    Variável.
    int lt = analogRead(0); // canto superior esquerdo.
    int rt = analogRead(1); // canto superior direito.
    int ld = analogRead(2); // canto inferior esquerdo.
    int rd = analogRead(3); // canto inferior direito.

    int avt = (lt + rt) / 2; // valor médio cima.
    int avd = (ld + rd) / 2; // valor médio baixo.
    int avl = (lt + ld) / 2; // valor médio esquerdo.
    int avr = (rt + rd) / 2; // valor médio direito.

    int dvert = avt - avd; // verifique a diferença de cima e para
    baixo.
}

```

```

    int dhoriz = avl - avr; // verifique a diferença da esquerda e
    direita.

    if (-1*tol > dvert || dvert > tol) //verificando a condição.
    {
        if (avt<avd) //compara se avd e maior que o avt.
        {
            servov = servov + 1; //servo incrementa 1, modificando seu
            ângulo de posicionamento.
            if (servov > servovLimitHigh) //comparação o valor da
            variável servov e maior que servovLimitHigh.
            {
                servov = servovLimitHigh; //armazena o valor da variável
            em servov.
            }
            vertical.write(servov);
            delay(20); // Intervalo de Tempo.
        }
        else if (avt>avd) //verifica o estado da variável.
        {
            servov = servov-1; //servo decrementa 1, modificando o
            posicionamento do seu ângulo.
            if (servov < servovLimitLow) // testa a condição: compara a
            variável servov se e menor que servovLimitLow.
            {
                servov = servovLimitLow; // armazena na variável servov
            a condição que está a servovLimitLow.
            }
            vertical.write(servov);
            delay(20); // Intervalo de Tempo.
        }
        else if (avt==avd) // verifica o estado da variável.
        {
        }
    }
    if (-1*tol > dhoriz || dhoriz > tol) //verificando a condição.
    {
        if (avl>avr) //compara se avl e maior que o avr.
        {
            servoh = servoh - 1; //servo decrementa 1, modificando seu
            ângulo de posicionamento.
            if (servoh > servohLimitHigh) //comparação o valor da
            variável servov e maior que servovLimitHigh.
            {
                servoh = servohLimitHigh; //armazena o valor da variável em
            servov.
        }
    }
}

```

```
    }
    horizontal.write(servoh);
    delay(20); // Intervalo de Tempo.
  }

  else if (avl<avr) //verifica o estado da variável.
  {
    servoh = servoh + 1; //servo incrementa 1, modificando seu
    ângulo de posicionamento.
    if (servoh < servohLimitLow) //comparação o valor da variável
    servov e menor que servovLimitHigh.
    {
      servoh = servohLimitLow; //armazena o valor da variável em
    servov.
    }
    horizontal.write(servoh);
    delay(20); // Intervalo de Tempo.
  }
  else if (avl==avr) // verifica o estado da variável.

  delay(100); // Intervalo de Tempo.

  }
}
}
```