



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Faculdade de Engenharia e Ciências
Câmpus de Rosana

LUCAS DO NASCIMENTO LAURINDO

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MICROGERAÇÃO DE ENERGIA
FOTOVOLTAICA COM RASTREAMENTO SOLAR

Rosana

2023

LUCAS DO NASCIMENTO LAURINDO

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MICROGERAÇÃO DE ENERGIA
FOTOVOLTAICA COM RASTREAMENTO SOLAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Energia da Faculdade de Engenharia e Ciências - Câmpus de Rosana, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. José Francisco Resende da Silva

Rosana

2023

L385d

Laurindo, Lucas do Nascimento

Desenvolvimento de um sistema de microgeração de energia fotovoltaica com rastreamento solar / Lucas do Nascimento Laurindo.

-- Rosana, 2023

48 p. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Energia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana

Orientador: Prof Dr. José Francisco Resende da Silva

1. Energia solar. 2. Geração de energia. 3. Rastreador solar. 4. Aplicação Arduino. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

LUCAS DO NASCIMENTO LAURINDO

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MICROGERAÇÃO DE ENERGIA
FOTOVOLTAICA COM RASTREAMENTO SOLAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Energia da Faculdade de Engenharia e Ciências - Câmpus de Rosana, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Energia.

Rosana, 13/novembro/2023.

Componentes da Banca Examinadora:

Presidente e Orientador: Prof. Dr. José Francisco Resende da Silva, Câmpus de Rosana, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Membro Titular: Prof. Dr. Kleber Rocha de Oliveira, Câmpus de Rosana, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Membro Titular: Prof. Dr. Lucas Teles de Faria, Câmpus de Rosana, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que me ajudaram e apoiaram ao longo da minha trajetória acadêmica, em especial aos meus pais e irmãos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, e a minha família por todo o suporte que de deram ao longo dessa caminhada na vida universitária. Aos professores pela formação acadêmica e profissional que me proporcionaram, em especial ao meu orientador, professor José Francisco Resende que me aceitou ser seu orientando, pela orientação, paciência, dedicação e pelas conversas desde sempre, aprendi muito e sou muito grato por ter tido a oportunidade de trabalhar com o senhor.

Quero agradecer aos meus amigos que fiz durante a faculdade e que levarei para a vida toda, Bruna e Henry, por cada momento incrível que compartilhamos, nos trabalhos, estudos, nas buscas de estágio, enfim quero deixar meus sinceros agradecimentos e muito obrigado por fazerem parte desse momento. A minha amiga Fernanda que sempre me ajudou em vários momentos da minha graduação, seja com ensinamentos ou uma conversa. E aos amigos que sempre me incentivaram e apoiaram durante essa jornada e a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

“Se queremos progredir, não
devemos repetir a história, mas fazer
uma história nova”.

Gandhi

RESUMO

A geração de energia elétrica a partir da energia solar é uma proposta viável para contribuir na resolução de parte dos problemas de energia no mundo. O desempenho dos painéis fotovoltaicos na geração de energia pode ser influenciado pela sua orientação em relação ao Sol, se o sistema está voltado de maneira que recebe de forma proporcional, ao longo do dia, a mesma quantidade de irradiação solar e para isso existem os rastreadores solares tendo o seu objetivo de otimizar essa captação de luz solar direta, aumentando a eficiência da produção de energia das placas solares. Com base nisso o projeto em questão visa desenvolver um rastreador solar microcontrolado por um Arduino, acompanhado de LDR, para posicionar um sistema fotovoltaico ao longo do dia. A localização do rastreador solar e local onde foi realizado o experimento foi baseada no município de Álvares Machado, no Estado de São Paulo. Foi realizado uma comparação na geração de energia elétrica entre os sistemas propostos com rastreamento solar e um painel fotovoltaico fixo, os resultados comprovam a utilidade dos sistemas propostos e o aumento na geração de energia produzidas pelo painel solar.

Palavras-chave: Energia solar; Geração de energia; Rastreador solar; Aplicação Arduino.

ABSTRACT

The generation of electricity from solar energy is a viable proposal to contribute to the resolution of part of the world's energy problems. The performance of photovoltaic panels in the generation of energy can be influenced by their orientation in relation to the Sun, if the system is geared in such a way that it receives proportionally, throughout the day, the same amount of solar irradiation and for this there are solar trackers with their objective of optimizing this capture of direct sunlight. increasing the efficiency of the energy production of the solar panels. Based on this, the project in question aims to develop a solar tracker microcontroller by an Arduino, accompanied by LDR, to position a photovoltaic system throughout the day. The location of the solar tracker and the place where the experiment was carried out was based on the municipality of Álvares Machado, in the State of São Paulo. A comparison was made in the generation of electricity between the proposed systems with solar tracking and a fixed photovoltaic panel, the results prove the usefulness of the proposed systems and the increase in the generation of energy produced by the solar panel.

Keywords: Solar energy; Power generation; Solar tracker; Arduino.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Célula fotovoltaica	14
Figura 2 – Comparativo Sistemas Off Grid e On Grid	15
Figura 3 – Ângulos Solares	16
Figura 4 – Variação da altura do sol ao longo do ano	17
Figura 5 – Cálculo no plano inclinado da cidade de Álvares Machado	18
Figura 6 – Rastreamento Solar	18
Figura 7 – Placa Arduino Mega 2560	22
Figura 8 – LDR	23
Figura 9 – Servomotor MG996R	23
Figura 10 – Curvas da placa fotovoltaica: (a) Curva VI	24
(b) Potência máxima	25
Figura 11 – Tipos de estruturas móveis	26
Figura 12 – Estrutura móvel do experimento	26
Figura 13 – Regulador de Tensão MT3608	27
Figura 14 – Controlador de Carga TP4056 V2	28
Figura 15 – Sensor INA219	29
Figura 16 – Sistema de eixo Fixo completo	30
Figura 17 – Esquemático do sistema de eixo Fixo	30
Figura 18 – Sistema de eixo duplo e eixo único completo	31
Figura 19 – Esquemático do sistema de eixo único	32
Figura 20 – Esquemático do sistema de eixo duplo	32
Figura 21 – Potência gerada pelo Sistema Solar Fixo	33
Figura 22 – Potência gerada pelo Sistema Solar de Eixo Único	34
Figura 23 – Potência gerada pelo Sistema Solar de Eixo Duplo	35
Figura 24 – Comparativo de potência gerada	36
Figura 25 – Comparativo do nível de carga da bateria em cada sistema	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Medição de tensão, corrente e potência da placa fotovoltaica	24
Tabela 2 – Parâmetros da placa fotovoltaica	25
Tabela 3 – Relação tensão e carga do arranjo de baterias	28
Tabela 4 – Dados obtidos durante o experimento	33
Tabela 5 – Dados obtidos durante o experimento do Sistema de Eixo Único	34
Tabela 6 – Dados obtidos durante o experimento do Sistema de Eixo Duplo	35

LISTA DE SÍMBOLOS

BEN	Balanço Energético Nacional
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Sálvio Brito
θ_z	Ângulo zenital
δ	Declinação
ω	Ângulo horário
φ	Latitude
α	Ângulo alfa
ψ	Ângulo psi
S	Sul
O	Oeste
° ' "	Graus, Minutos e Segundos
°C	Grau Celsius
LED	Light Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz)
IDE	Integrated Development Environment (Ambiente de Desenvolvimento Integrado)
IoT	Internet of Things (Internet das Coisas)
LDR	Light Dependant Resistor (Resistor Dependente de Luz)
CC	Corrente Contínua
PWM	Pulse Width Modulator (Modulador de Largura de Pulso)
Ω	Ohm
V	Volt (Tensão)
A	Ampere
mA	Miliampere
W	Watts
MW	Mega Watts
P _{max}	Potência Máxima
V _{ac}	Tensão Circuito Aberto
I _{sc}	Corrente Curto-Circuito
V _{mp}	Tensão de Potência Máxima
I _{mp}	Corrente de Potência Máxima
mm	Milímetro
cm	Centímetro
LiPo	Lithium-Polymer (Polímero de Lítio)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Energia Solar no Brasil.....	12
1.2 Placas Solares e Sistema Fotovoltaico	14
1.3 Posicionamento Solar ao longo do ano	16
1.4 Rastreamento Solar	18
1.4.1 Sistema Fixo.....	18
1.4.2 Sistema de Eixo Único.....	19
1.4.3 Sistema de Eixo Duplo	19
1.5 Objetivos.....	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 Uso de rastreadores solares na geração de energia solar	21
3 METODOLOGIA	22
3.1 Arduino	22
3.2 LDR – Light Dependant Resistor	22
3.3 Servomotores.....	23
3.4 Painel Fotovoltaico	23
3.5 Estrutura Móvel.....	25
3.6 Regulador de Tensão e Controlador de Carga	27
3.7 Bateria.....	28
3.8 Medições.....	28
3.9 Testes dos sistemas	29
4 RESULTADOS.....	33
4.1 Sistema Solar de Eixo Fixo	33
4.2 Sistema Solar de Rastreamento de Eixo Único.....	34
4.3 Sistema Solar de Rastreamento de Eixo Duplo.....	35
4.4 Comparação entre os Sistemas Solares.....	36
4.5 Nível de Carga das Baterias.....	37
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS.....	39
APÊNDICE A – CÓDIGO DO SISTEMA DE EIXO ÚNICO.....	41
APÊNDICE B – CÓDIGO DO SISTEMA DE EIXO DUPLO.....	43
APÊNDICE C – CÓDIGO DO SISTEMA FIXO	46

1 INTRODUÇÃO

1.1 Energia Solar no Brasil

Com a escassez de recursos energéticos, mudanças no clima e altos índices de poluição, surgem discussões sobre a procura de fontes alternativas ou renováveis na produção de energia, desta forma foram desenvolvidas técnicas mais ecológicas, sendo algumas delas a biomassa, eólica, solar, hidroelétricas, biogás, onde elas atendem as áreas periféricas ao sistema de transmissão.

A energia solar é uma das fontes de energia renovável que mais crescem, sendo gerado pelo aproveitamento da energia do sol usando painéis solares que convertem a luz solar em eletricidade, que pode ser usada para alimentar casas, empresas e comunidades inteiras. A energia solar é uma fonte de energia limpa, sustentável e renovável, e não produz emissões nocivas de gases de efeito estufa nem contribui para as mudanças climáticas.

O Brasil é um país com enormes potencialidades em termos de produção de energia solar, graças ao seu clima tropical e a quantidade de radiação solar que recebe durante o ano sendo que a energia solar que vem ganhando cada vez mais espaço na matriz energética do país, e hoje é possível encontrar usinas solares em diversas regiões do território nacional, sendo a produção de energia solar uma alternativa viável e sustentável em relação às fontes de energia fósseis para complementar ou reduzir o uso de energias fósseis, que geram muita poluição e tem altos valores de produção.

A produção de energia solar no Brasil vem ganhando cada vez mais importância como uma alternativa viável às fontes de energia fósseis, que são responsáveis por grande parte das emissões de gases de efeito estufa, sendo uma fonte de energia limpa, renovável e que pode ser produzida em escala local, o que torna a geração de energia solar uma opção atraente para as comunidades e regiões que ainda não têm acesso à energia elétrica. Além disso, a produção de energia solar no Brasil tem sido fortemente incentivada por políticas públicas, como leilões de energia e linhas de financiamento para projetos de geração de energia solar. Essas medidas têm contribuído para o aumento da participação da energia solar na matriz energética do país, e para a popularização do uso dessa fonte de energia. De acordo com dados do BEN, em 2023 o Brasil contava com aproximadamente 17.006 MW de capacidade instalada de geração de energia solar fotovoltaica, o que corresponde a cerca de 3,9% da capacidade total de geração de energia do país. Esse número tem crescido a cada ano, e a tendência é que esse crescimento continue, uma vez que a energia solar é uma fonte de energia limpa, renovável e cada vez mais acessível.

Os avanços tecnológicos na área de energia solar também têm contribuído para a popularização, e existindo cada vez mais painéis solares mais eficientes e de baixo custo, o que torna a instalação de sistemas solares cada vez mais viável para as pessoas assim como os programas de financiamento e incentivo à produção de energia solar, que têm contribuído para o crescimento dessa fonte de energia no país. No entanto, ainda existem desafios a serem superados no que diz respeito à produção de energia solar no Brasil, onde uma das principais barreiras é a falta de investimentos em infraestrutura, especialmente na área de transporte e distribuição de energia. É importante destacar que a produção de energia solar também tem impactos positivos na economia local, uma vez que a geração de energia solar é feita com mão de obra local e componentes produzidos no país. Isso pode estimular o desenvolvimento de cadeias produtivas locais e aumentar a geração de empregos na área. Apesar desses desafios, a tendência é que a produção de energia solar continue a crescer no Brasil, uma vez que a demanda por fontes de energia limpa e renováveis tem aumentado cada vez mais.

O uso da energia solar não se limita apenas à geração de energia elétrica, mas também pode ser utilizado em aplicações como aquecimento de água, climatização de ambientes e alimentação de sistemas de iluminação. Essas aplicações têm se popularizado cada vez mais, especialmente em comunidades rurais e em regiões remotas, onde a falta de acesso à energia elétrica é um problema comum. Outra vantagem da energia solar é a sua flexibilidade, uma vez que os sistemas solares podem ser instalados em diversos tipos de imóveis, desde casas e apartamentos até empresas e fazendas onde os sistemas solares podem ser dimensionados de acordo com as necessidades de cada cliente, o que significa que é possível produzir a quantidade exata de energia que se precisa ou um excedente para que possa ser armazenado em baterias ou ser revendida.

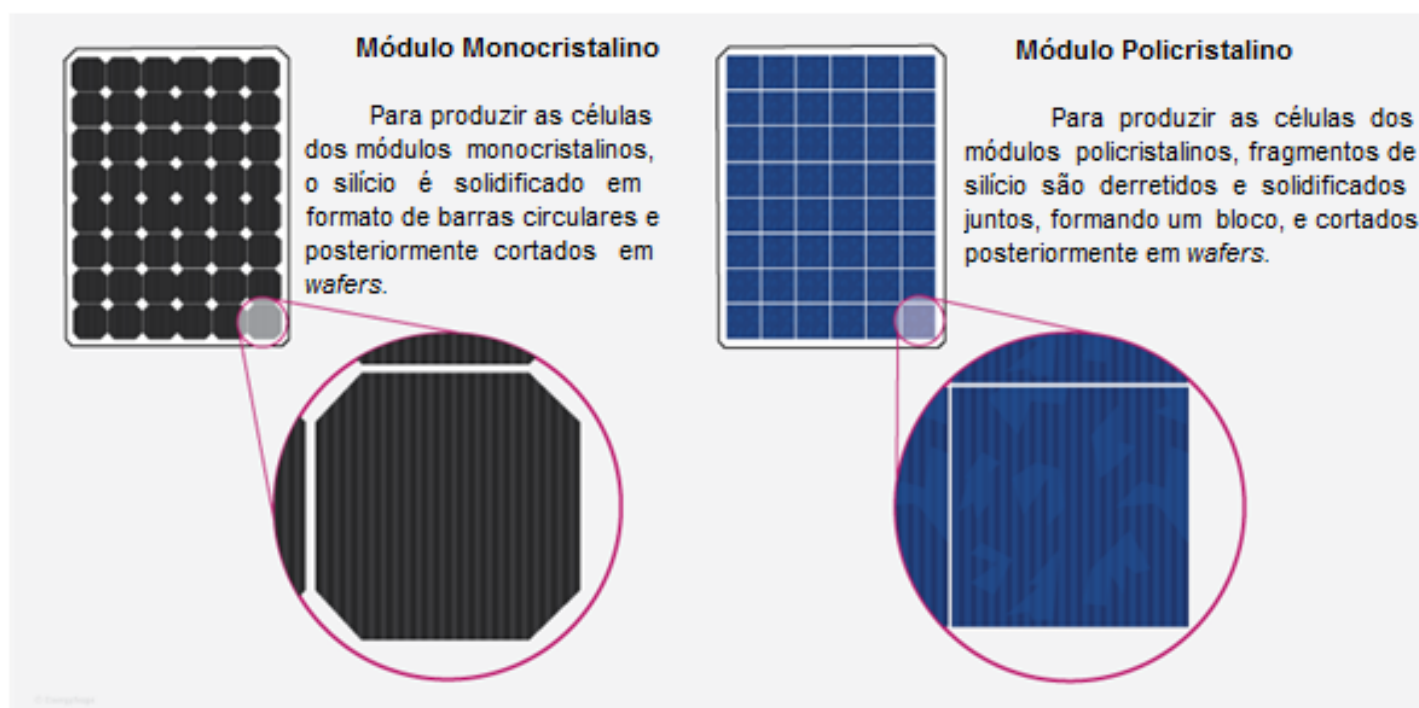
Ainda, é importante destacar que a energia solar pode ser combinada com outras fontes de energia, como baterias, geradores a combustível fóssil e outros tipos de fontes renováveis, o que aumenta a sua versatilidade e aumenta a confiabilidade da sua produção. Por fim, é importante destacar que a energia solar é uma fonte de energia segura e estável, uma vez que não depende de recursos naturais escassos ou de fatores climáticos adversos para sua produção, sendo que os sistemas solares são simples de instalar e de manter, o que torna a produção de energia solar uma opção atraente para muitas pessoas e empresas.

1.2 Placas Solares e Sistema Fotovoltaico

Os painéis solares são compostos por várias células fotovoltaicas interconectadas, como ilustrado na Figura 1, que são dispositivos que convertem a luz solar em energia elétrica, sendo compostas por materiais semicondutores que quando a luz solar atinge uma célula fotovoltaica, os elétrons são liberados e geram uma corrente elétrica podendo ser usada diretamente para alimentar dispositivos elétricos ou armazenada em baterias para uso posterior.

As células fotovoltaicas são feitas principalmente de silício, um semicondutor amplamente utilizado na fabricação de placas solares devido às suas propriedades elétricas, sendo abundante na crosta terrestre, o que o torna um material mais acessível e sustentável para essa aplicação. Existem duas categorias principais de silício usadas em células solares o monocristalino que são feitas de um único cristal de silício de alta pureza, sua aparência é geralmente uma cor escura, e essa pureza resulta em uma eficiência muito alta, sendo superior a 20%, o que significa que elas podem converter uma grande quantidade de luz solar em eletricidade. E o policristalino são fabricadas a partir de lingotes de silício fundido e moldados em blocos, sua aparência é caracterizada com um padrão de cristais múltiplos e uma tonalidade azulada. Embora sejam menos eficientes em comparação com as células monocristalinas, geralmente com uma eficiência de cerca de 15-18%, elas são mais econômicas de produzir.

Figura 1 – Célula fotovoltaica.

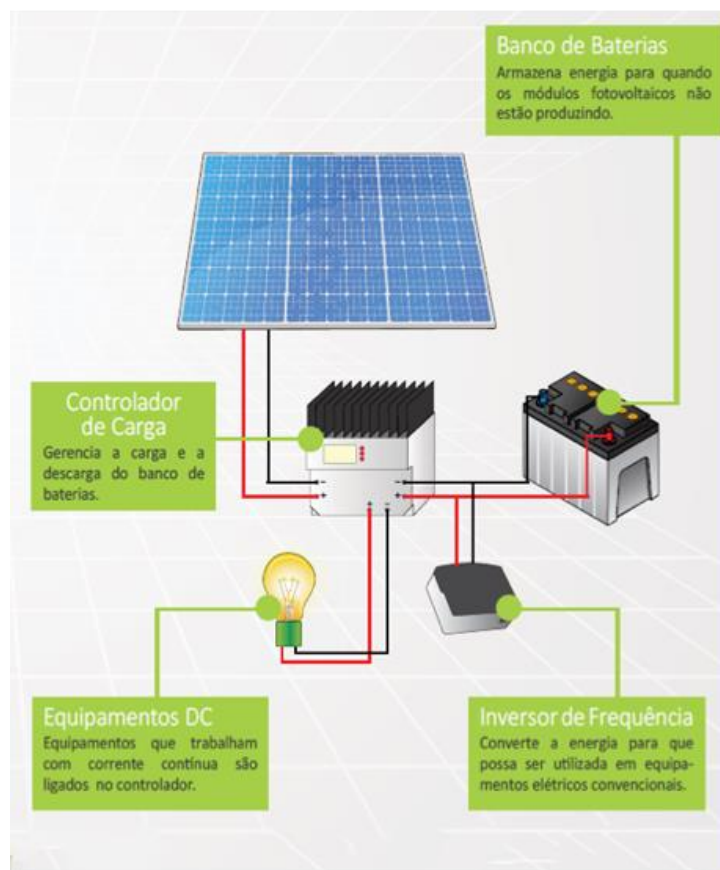


Fonte: Energysage, 2017

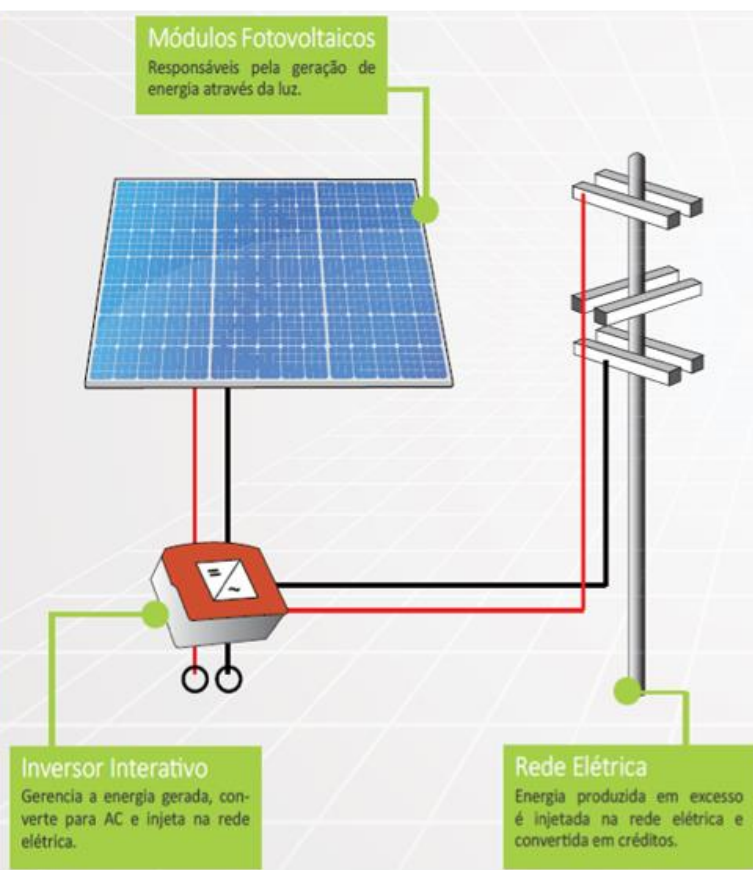
Os sistemas fotovoltaicos são uma das principais tecnologias para geração de energia solar, e consistem em um conjunto de componentes que captam a luz do sol e a transformam em eletricidade, sendo considerado sistemas como o Sistema Isolado (off-grid) ou autônomos são sistemas que não estão conectados à rede elétrica convencional. Esses sistemas precisam de baterias para armazenar a energia produzida durante o dia para ser utilizada à noite ou em dias nublados, e o Sistema conectado à rede (on-grid) são sistemas que estão conectados à rede elétrica convencional. Esses sistemas produzem energia durante o dia e enviam o excedente para a rede, recebendo créditos que podem ser usados para compensar o consumo de energia durante a noite ou em dias nublados. Como pode ser vista na Figura 2 a diferença entre os sistemas descritos, vale lembrar que um sistema fotovoltaico completo para um sistema isolado consiste os seguintes componentes: painéis fotovoltaicos, controlador de carga, baterias e inversor, já no conectado à rede tem só a presença dos painéis e inversor com o acréscimo do uso da rede de distribuição de energia elétrica, além de ser adicionados outros componentes nos sistemas como fusíveis, disjuntores e para-raios.

Figura 2 – Comparativo Sistemas Off Grid e On Grid.

Sistema autônomo (Off Grid)



Sistema conectado a rede elétrica (On Grid)



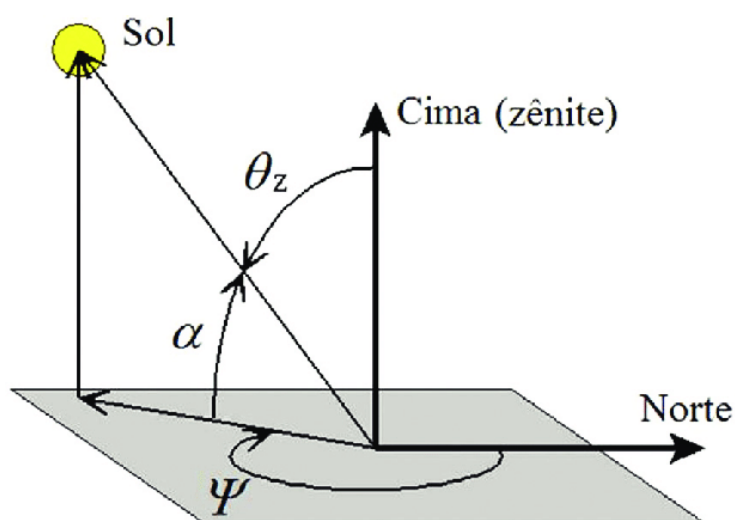
1.3 Posicionamento Solar ao longo do ano

O sol desempenha um papel central na vida na Terra, fornecendo energia, luz, calor e para entender seu comportamento e aproveitar seus benefícios em diversas áreas, é essencial compreender o posicionamento solar, como ilustrado na Figura 3. O posicionamento solar refere-se à localização angular do sol em relação a um ponto específico na Terra em um determinado momento, sendo um conceito fundamental para as aplicações como a energia solar, navegação, agricultura e climatologia.

Os ângulos da radiação solar são importantes para entender a posição do Sol em relação a um determinado local e como isso afeta a quantidade e qualidade da radiação solar que atinge a superfície terrestre e a sua relação muda ao longo do ano como resultado da inclinação axial da Terra e sua órbita anual em torno do Sol, afetando assim a eficiência dos sistemas de energia. A inclinação axial da Terra é de aproximadamente $23,5^\circ$, o que significa que o ângulo do Sol em relação à superfície da Terra muda em um máximo de 47° ao longo do ano.

Os principais ângulos são o ângulo azimute que é o ângulo formado entre o norte verdadeiro e a projeção da direção do Sol no plano horizontal; a altitude solar sendo formado entre o Sol e o horizonte, medido a partir do ponto de observação; o ângulo zenital formado entre a vertical e a direção do Sol; o ângulo horário que se dá entre o plano meridiano do local e o plano meridiano do Sol, medido a partir do meio-dia solar; o azimute solar é formado entre o norte verdadeiro e a direção do Sol, medido no plano horizontal; o ângulo de inclinação se dá entre a superfície de um painel solar e o plano horizontal. Vale ressaltar que a latitude geográfica do local também é importante para determinar a posição do Sol em relação ao horizonte.

Figura 3 – Ângulos Solares.

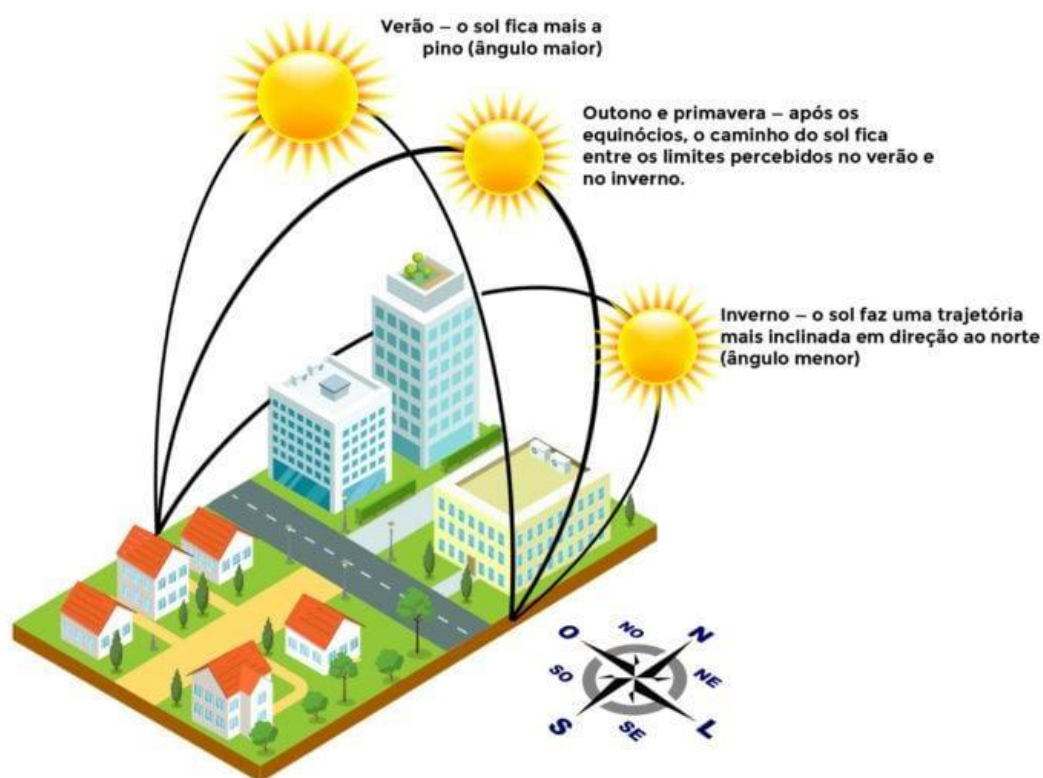


Fonte: Campos, 2014.

O ângulo zenital ou ângulo de vértice no observador, formado pelas semirretas definidas pela direção do Sol e a vertical, com a simbologia o θ_z e δ é a declinação, ω é o ângulo horário e φ é a latitude, onde a mesma é fixa para determinado local, variando de $-90^\circ \leq \theta_z \leq 90^\circ$ com valores positivos no hemisfério norte e negativos no hemisfério sul, e ainda é possível observar que os ângulos alfa (α) e o ângulo psi (ψ), onde o primeiro representa a altitude solar e o segundo o azimute.

Durante os meses de verão, o sol está em um ângulo alto em relação à superfície da Terra, e fornece a radiação solar mais direta e intensa, durante os meses de inverno, o sol está em um ângulo baixo em relação à superfície da Terra, e fornece radiação solar menos direta e intensa. Essas mudanças no ângulo do sol são particularmente perceptíveis em altas latitudes, onde a diferença na radiação solar entre o verão e o inverno pode ser significativa.

Figura 4 – Variação da altura do sol ao longo do ano.



Fonte: <https://www.ryazbek.com.br/blog/>, 2023.

Com base nessas informações e algumas colhidas no site da CRESESB, que disponibiliza dados referentes a média diária de irradiação solar mensal, como ilustrado na Figura 5, para cada localidade que deseja saber, com base nas coordenadas geográficas da cidade de Álvares Machado, no estado de São Paulo, local onde foram realizados os

experimentos a latitude 22° 04' 46" S e a longitude 51° 28' 19" O. Para o sistema fixo adotou-se que a posição na qual a placa fotovoltaica estaria inclinada seria igual à da latitude da cidade, ou seja, um ângulo de 22°.

Figura 5 – Cálculo no plano inclinado da cidade de Álvares Machado.

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Álvares Machado
Município: Álvares Machado, SP - BRASIL
Latitude: 22,101° S
Longitude: 51,449° O
Distância do ponto de ref. (22,078889° S; 51,471944° O): 3,4 km

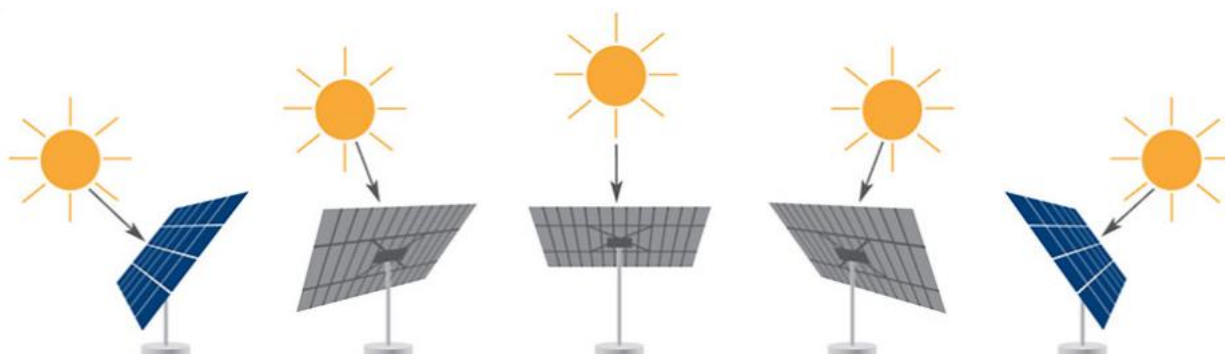
#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	5,99	6,01	5,47	4,82	3,93	3,59	3,83	4,77	4,87	5,57	6,11	6,48	5,12	2,88
✓	Ângulo igual a latitude	22° N	5,42	5,74	5,63	5,46	4,83	4,62	4,84	5,64	5,18	5,44	5,59	5,75	5,34	1,13
✓	Maior média anual	20° N	5,49	5,79	5,64	5,43	4,77	4,55	4,77	5,58	5,18	5,47	5,66	5,84	5,35	1,29
✓	Maior mínimo mensal	33° N	4,95	5,38	5,48	5,55	5,07	4,94	5,14	5,83	5,12	5,16	5,14	5,20	5,25	,89

Fonte: <https://www.cresesb.cepel.br>, 2023.

1.4 Rastreamento Solar

Um sistema de rastreamento solar permite que os painéis solares façam o acompanhamento do sol, ou seja, alterando a posição dos módulos fotovoltaicos ao longo do dia, aumentando assim a sua incidência solar captada e a produção de energia, como ilustrado na Figura 6. O funcionamento dos rastreadores varia conforme o modelo utilizado, num geral o controlador dos motores posiciona os módulos fotovoltaicos de acordo com a posição do Sol com o passar do tempo, fazendo com que diminua o ângulo de incidência dos raios solares com os painéis fotovoltaicos.

Figura 6 – Rastreamento Solar.



Fonte: Solar Motors.

1.4.1 Sistema Fixo

Um sistema fotovoltaico de eixo fixo é um tipo de sistema de energia solar que consiste em painéis fotovoltaicos que são montados em uma estrutura fixa, o que faz com que não ajusta a sua orientação para seguir o movimento do sol pelo céu, sendo normalmente montados em um telhado ou no chão e são projetados para capturar o máximo de luz solar possível para um local específico, tendo sua orientação e o ângulo de inclinação dos painéis são determinados com base na latitude do local, na época do ano e na hora do dia, para maximizar a quantidade

de luz solar que os painéis recebem. Os sistemas fotovoltaicos de eixo fixo são relativamente simples de instalar e manter, e são adequados para aplicações residenciais ou comerciais de pequena escala, como residências ou pequenas empresas, sendo adequados para regiões com altos níveis de luz solar direta, onde a diferença de radiação solar entre o verão e o inverno é menos significativa.

Uma das principais vantagens dos sistemas fotovoltaicos de eixo fixo é o seu baixo custo em comparação com outros tipos de sistemas de energia solar, além disso, esse sistema são tipicamente mais duráveis do que outros tipos de sistemas de energia solar, pois não estão expostos ao mesmo nível de estresse mecânico associado aos rastreadores solares. Os sistemas fotovoltaicos de eixo fixo podem fornecer uma fonte confiável e consistente de energia, especialmente em regiões com altos níveis de luz solar direta. Eles também são uma boa escolha para locais onde a disponibilidade de luz solar é relativamente constante durante todo o ano, já que os painéis não precisam se mover para acompanhar o movimento do sol.

1.4.2 Sistema de Eixo Único

Um rastreador solar de eixo único, também chamado de rastreador azimutal, é um dispositivo usado em sistemas de energia solar para orientar painéis fotovoltaicos em direção ao sol, funcionando de forma que os painéis fotovoltaicos girem em torno de um único eixo, normalmente alinhado com a direção Norte-Sul, para garantir que os painéis recebam a quantidade máxima de luz solar possível ao longo do dia, seguindo o movimento do sol de leste a oeste e ajusta o ângulo dos painéis de acordo. Os rastreadores solares de eixo único são o tipo mais simples e econômico de rastreador solar, sendo frequentemente usados em sistemas de energia solar residenciais e comerciais de pequena escala, e são adequados para regiões com altos níveis de luz solar direta. Os rastreadores solares de eixo único normalmente consistem.

A principal vantagem dos rastreadores solares de eixo único é que eles são relativamente simples e econômicos em comparação com outros tipos de rastreadores solares, como os rastreadores de eixo duplo. Eles também são fáceis de instalar e manter, tornando-os uma escolha popular para sistemas de energia solar residenciais e comerciais de pequena escala. Podendo aumentar a sua eficiência dos sistemas de energia solar em até 25% em comparação com os painéis fotovoltaicos fixos. Este aumento da eficiência resulta em uma maior taxa de geração de energia e um aumento correspondente na economia de energia. Além disso, os rastreadores solares de eixo único podem fornecer uma fonte de energia mais consistente e confiável, especialmente durante períodos de baixa intensidade solar.

1.4.3 Sistema de Eixo Duplo

Um rastreador solar de eixo duplo é um dispositivo usado em sistemas de energia solar para otimizar a quantidade de luz solar que os painéis fotovoltaicos recebem, funcionando de forma que os painéis girem em torno de dois eixos, permitindo que os painéis sigam o sol vertical e horizontalmente. Este tipo de rastreador fornece um nível mais alto de eficiência em comparação com os rastreadores de eixo único, e é particularmente adequado para regiões com baixos níveis de luz solar direta ou variações sazonais na intensidade da luz solar pois permitem que os painéis sigam o sol com mais precisão, mesmo quando o sol está em ângulos baixos. Os rastreadores solares de eixo duplo consistem em dois motores, dois sistemas de engrenagens e um sistema de controle que rastreia o movimento do sol e ajusta a posição dos painéis de acordo. O sistema de controle pode ser manual, automatizado ou programável, dependendo dos requisitos específicos do sistema de energia solar, como por exemplo os microcontroladores programáveis, como o Arduino, que são frequentemente usados para controlar rastreadores solares de eixo duplo, fornecendo um alto nível de controle e precisão.

A principal vantagem dos rastreadores solares de eixo duplo é que eles fornecem um nível mais alto de eficiência em comparação com os rastreadores de eixo único e esse aumento da eficiência resulta em uma taxa mais alta de geração de energia, o que pode levar a economias significativas de energia ao longo do tempo. Além disso, os rastreadores solares de eixo duplo podem fornecer uma fonte de energia mais consistente e confiável, especialmente durante períodos de baixa intensidade solar. Isso pode ser especialmente importante para sistemas de energia solar comerciais ou de serviços públicos de grande escala, onde a geração de energia consistente e confiável é fundamental para o sucesso geral do projeto.

1.5 Objetivos

Esse trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema de rastreamento solar, sendo de um eixo único e eixo duplo, utilizando o Arduino como microcontrolador para que possa posicionar as placas fotovoltaicas perpendicularmente aos raios solares durante todo o dia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Uso de rastreadores solares na geração de energia solar

A crescente utilização de sistemas fotovoltaicos para geração de energia elétrica, faz com que surja diversos estudos sobre como aproveitar ao máximo a conversão dos raios solares em energia elétrica, para isso existem os rastreadores solares que o seu objetivo é justamente otimizar essa captação de luz solar direta, aumentando a eficiência da produção de energia das placas solares, já que os mesmos têm o seu melhor aproveitamento com os raios solares que incidem de forma direta, embora consigam captar também a luz difusa que chega ao solo, como em dias chuvosos e nublados, por exemplo.

O desempenho dos painéis fotovoltaicos pode ser aprimorado ao utilizar um rastreador solar, que tem como objetivo manter as células solares perpendiculares aos feixes de luz da radiação solar durante todo o dia. Um rastreador solar altamente eficiente permite que a célula fotovoltaica seja acionada na direção do Sol, compensando as variações no ângulo de latitude diariamente e o deslocamento latitudinal do Sol durante as estações do ano, bem como as modificações do ângulo de azimute (Mousazadeh, H.; Keyhani, A.; Javadi, A.; Mobili, H.; Abrinia, K.; Sharifi, A. A, 2009).

O rastreador solar é um dispositivo que acompanha a trajetória do Sol durante o dia, modificando a posição dos painéis fotovoltaicos de forma a maximizar a incidência solar sobre sua superfície. Isso resulta em um aumento de até 45% na geração de energia, em comparação com sistemas fixos (Ortiz et al. 2018).

O uso de um sistema de rastreamento solar pode aumentar em cerca de 40% as receitas geradas por um sistema de geração fotovoltaica de energia, apesar de incrementar em cerca de 20% o preço total do sistema, isso faz com que a quantidade de energia solar incidente nos painéis fotovoltaicos seja maior, o que pode ser comprovado por estudos que mostram um aumento na potência do sistema, e todos os sistemas com algum tipo de rastreamento apresentam um baixo custo de manutenção (SHAYANI, 2006).

3 METODOLOGIA

3.1 Arduino

O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware e software fáceis de usar, sendo projetado para tornar mais simples para iniciantes e amadores para construir projetos eletrônicos interativos. As placas Arduino, como ilustrado na Figura 7, consistem em um microcontrolador, pinos de entrada/saída e vários outros componentes, como LEDs, sensores e botões.

Figura 7 – Placa Arduino Mega 2560.



Fonte: <https://storearduino.cc>, 2023.

A plataforma Arduino é baseada na linguagem de programação C e C++, e o ambiente IDE fornece uma interface intuitiva para escrever, carregar e depurar código. A plataforma Arduino é altamente versátil e pode ser usada para uma ampla gama de projetos, desde simples animações de LED até projetos mais complexos, como robôs, sistemas de automação residencial e dispositivos de IoT. Também é relativamente de baixo custo, tornando-o acessível a amadores e estudantes.

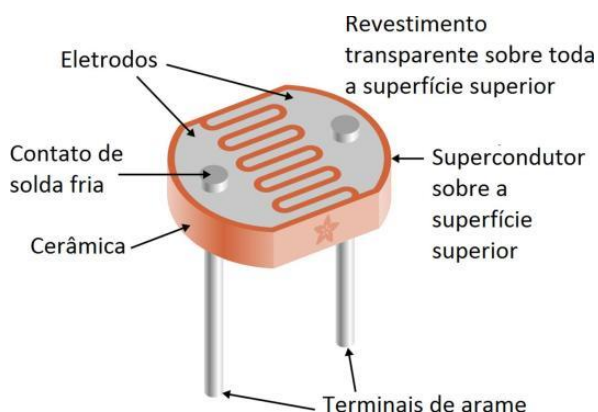
3.2 LDR – Light Dependant Resistor

Um LDR, ilustrado na Figura 8, é um tipo de resistor que muda sua resistência com base na quantidade de luz que recebe, sendo comumente usados em várias aplicações, como detecção de luz, medição de intensidade de luz, e como um interruptor ativado por luz.

O LDR consiste em um pequeno pedaço plano de material que é sensível à luz, tipicamente feito de sulfeto de cádmio. A resistência do material muda de acordo com a quantidade de luz que recebe, na escuridão, a resistência do LDR é alta, enquanto na luz brilhante, a resistência é baixa. Essa mudança na resistência pode ser usada para detectar

mudanças nos níveis de luz ou para controlar outros componentes com base na quantidade de luz.

Figura 8 – LDR.



Fonte: <https://www.usinainfo.com.br>, 2023.

3.3 Servomotores

Para o sistema em questão optou-se para utilizar um par de servomotores, o modelo escolhido foi o Servomotor MG996R da Tower Pro com posição de rotação de 180° e torque de 11 kgf.cm, como ilustrado na Figura 9. O servomotor consiste em três componentes principais sendo um motor DC, um conjunto de engrenagens e um circuito de controle. O motor CC fornece a força rotacional que aciona o conjunto de engrenagens, o que reduz a velocidade do motor e aumenta o torque. O circuito de controle, que tem à presença de um PWM, monitora a posição do eixo do motor e o compara com a posição desejada, ajustando a velocidade e a direção do motor conforme necessário para trazer o eixo para a posição desejada.

Figura 9 – Servomotor MG996R.



Fonte: <https://www.usinainfo.com.br>, 2023.

3.4 PAINEL FOTOVOLTAICO

As placas fotovoltaicas fornecidas tinham uma especificação conhecida fornecida pelo próprio fornecedor de onde foram adquiridas, dentre as suas características a tensão do painel é de 7 V com uma corrente de 1 A totalizando uma potência de 7 W, sendo um painel de monocristalino. Com isso é interessante fazer a relação VI antes de sua utilização para encontrar a potência de máxima da placa, parâmetro indispensável para o desenvolvimento do sistema, as medidas realizadas para a verificação podem ser encontradas na Tabela 1. A curva VI e a curva de máxima potência pode ser observadas no Figura 10 (a) e (b) respectivamente.

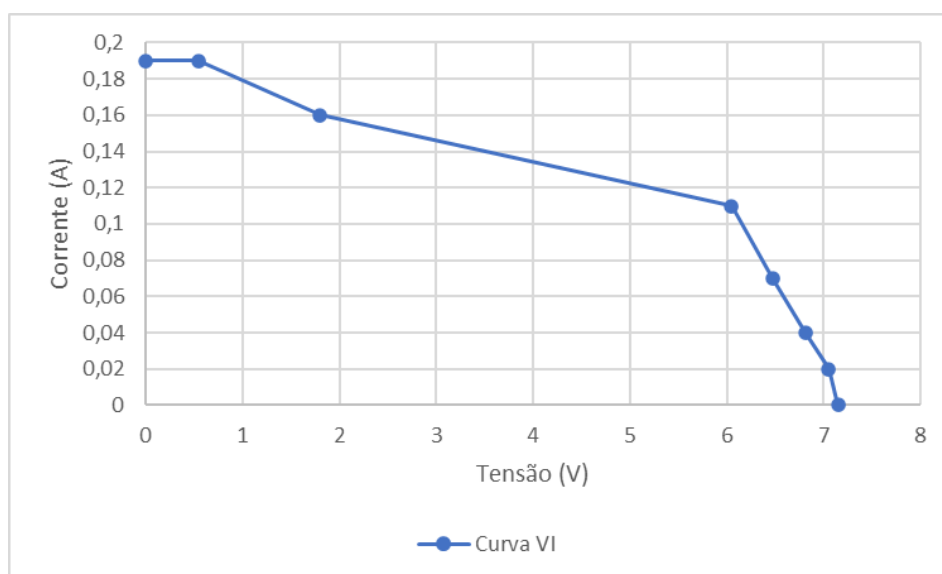
Tabela 1 – Medição de tensão, corrente e potência da placa fotovoltaica.

Resistência (Ω)	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)
∞	7,15	0	0
470	7,05	0,02	0,1880
220	6,81	0,04	0,3520
100	6,47	0,07	0,4900
56	6,05	0,11	0,6776
10	1,8	0,19	0,2560
3,3	0,54	0,16	0,1191
0	0	0,16	0

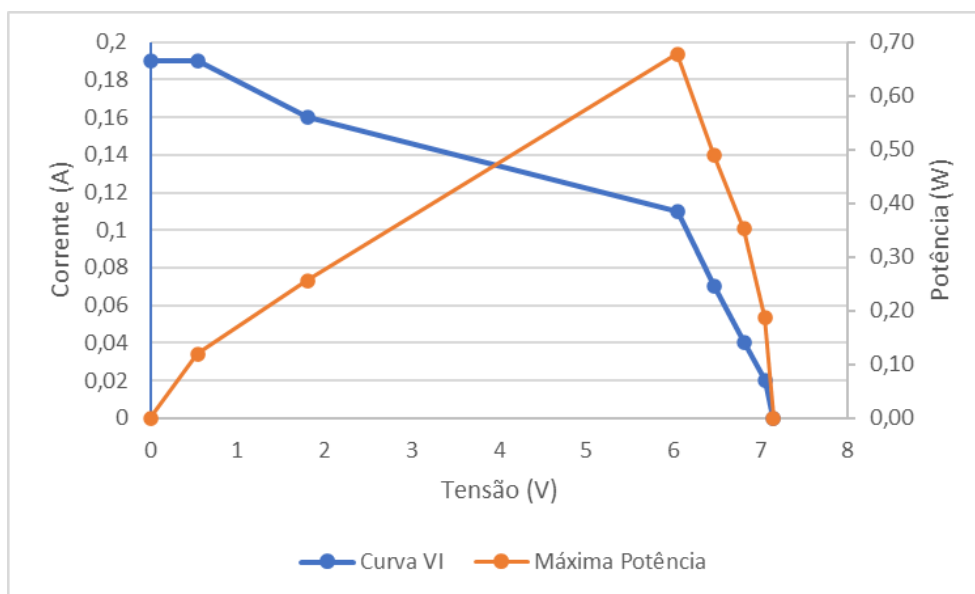
Fonte: Produção do próprio autor.

Vale ressaltar que as resistências utilizadas foram para coletar os dados com mais precisão de tensão e corrente para estar realizando a figura da curva VI, para isso utilizou-se resistências de baixos valores e foi aumentando gradualmente até se chegar na resistência infinita ou quando temos a tensão de circuito aberto.

Figura 10 – Curvas da placa fotovoltaica:



(a) Curva VI;



(b) Potência máxima.

Após obter a curva VI e os dados da Tabela 1, os parâmetros da placa fotovoltaica estão dispostos na Tabela 2 definindo todos os parâmetros da placa fotovoltaica.

Tabela 2 – Parâmetros da placa fotovoltaica.

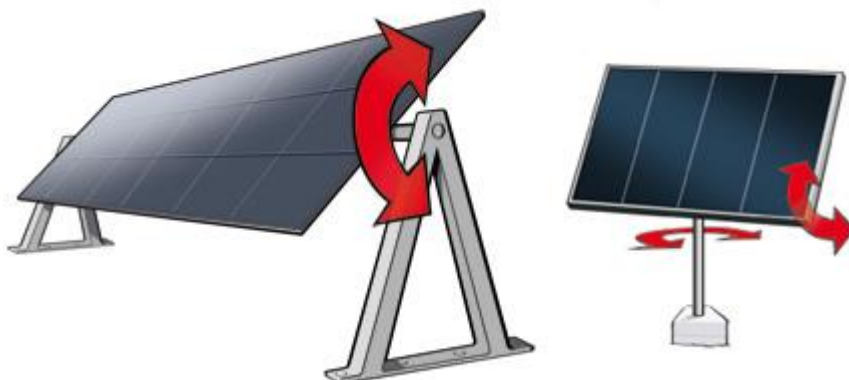
Potência Máxima (P_{max})	0,67 W
Tensão Circuito Aberto (V_{ac})	7,15 V
Corrente Curto-Circuito (I_{sc})	0,16 A
Tensão de Potência Máxima (V_{mp})	6,05 V
Corrente de Potência Máxima (I_{mp})	0,11 A
Dimensões	271 x 177 x 3 mm

Fonte: Produção do próprio autor.

3.5 Estrutura Móvel

Para realizar a construção da estrutura móvel, teve como ideia de se fazer parecido com a estrutura da Figura 11, porém ao ver que poderia ser feito uma estrutura que contemplaria o movimento de norte-sul igual ao de um sistema de eixo único, e que poderia facilmente desligar um dos motores presentes para que fosse rearranjado em um novo sistema de rastreamento sem a necessidade de criar uma estrutura a parte para tal sistema de rastreamento.

Figura 11 – Tipos de estruturas móveis.



Fonte: <https://energes.com.br/blog/>, 2023.

Com isso a Figura 12 mostra a versão final da estrutura móvel adotada para realização dos experimentos, feita a partir de peças em acrílico com os seguintes tamanhos: duas colunas de 20x5 cm, uma viga de 28x5 cm, outras duas colunas de 10x5 cm, uma viga de 8x5 cm, vale ressaltar que as duas colunas e a viga maiores formam a parte de cima do rastreador, enquanto as peças menores a parte inferior do rastreador, o apoio da placa fotovoltaica foi feita com duas peças de 17x3 cm, com uma das peças sendo acoplada diretamente no eixo do motor vertical e a outra peça num pedaços de barra circular para fazer o movimento livre do rastreador.

Figura 12 – Estrutura móvel do experimento.



Fonte: Produção do próprio autor.

3.6 Regulador de Tensão e Controlador de Carga

Primeiramente pensou-se em utilizar um regulador de tensão ajustável para que todos os componentes presentes no sistema com rastreamento utilizasse a mesma tensão e que não variasse durante o período em que estivesse funcionando. Neste caso, o regulador de tensão escolhido foi o MT3608, ilustrado na Figura 13, com tensão de entrada de 2 V a 24 V e oferece em sua saída uma tensão de 2 V a 28 V que podem ser ajustadas conforme sua necessidade, por meio de um trimpot.

Figura 13 – Regulador de Tensão MT3608.



Fonte: <https://www.usinainfo.com.br>, 2023.

O controlador de carga escolhido para o projeto foi baseado na quantidade de carga que seria armazenada, foi escolhido o controlador de carga TP4056 V2, ilustrado na Figura 14, que permite as baterias de LiPo sejam recarregadas diretamente no compartimento onde se encontram, sem necessitar removê-las. O controlador de carga conta com LEDs indicadores de carga, sendo um LED vermelho indicando o processo de carregando e um LED azul indicando que a carga está completa, além de permitir a utilização de imediato da energia em pinos auxiliares presentes.

Figura 14 – Controlador de Carga TP4056 V2.



Fonte: <https://www.usinainfo.com.br>, 2023.

3.7 Bateria

Primeiramente pensou-se em usar uma bateria do tipo LiPo de 4,2 V de 2000 mAh, mas seria necessário fazer um conjunto de 3 baterias arranjadas em paralelo para armazenar a maior quantidade de energia possível ao longo do período de funcionamento do experimento.

O nível de carga desse conjunto de bateria pode ser estimado pela medida de sua tensão, esta informação é necessária para que o mini controlador de carga utilizado no sistema realize o controle de carga impedindo que sobrecarga ou a descarga excessiva do arranjo de baterias. Assim foi possível realizar um teste de depleção do arranjo de baterias, onde este arranjo foi descarregado por corrente constante, tendo o acompanhamento do tempo decorrido e da tensão, para assim obter uma aproximação da relação do nível de carga com a tensão da bateria.

Tabela 3 – Relação tensão e carga do arranjo de baterias.

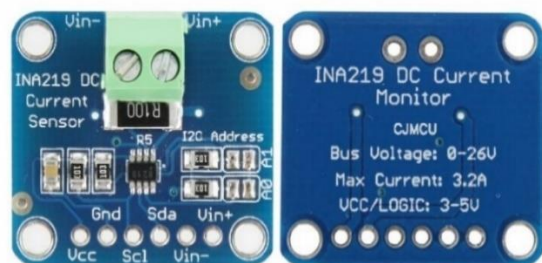
Carga (%)	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Tensão (V)	4,2	3,8	3,6	3,4	3,2	2,9	2,6	2,4	2,2	1,7	1,3

Fonte: Produção do próprio autor.

3.8 Medições

Durante os ensaios foram feitas algumas medições como a tensão e corrente fornecida pelo painel fotovoltaico, o nível de carga das baterias. Para isso foi pensado em utilizar o Sensor INA219 da Adafruit, um sensor bidirecional capaz de medir correntes de até 3,2 A com uma resolução de 0,8 mA e a faixa de medição da tensão é de 0 a 26 V, também pode medir a potência dissipada por uma carga. Como ilustrado na Figura 15.

Figura 15 – Sensor INA219.



Fonte: <https://www.usinainfo.com.br>, 2023.

3.9 Testes dos sistemas

Com todos os sistemas prontos, realizou-se os testes deles para verificar se estavam tudo funcionando desde motores, código fonte e medição, foi proposto um período de 12 horas (das 06h até às 18h) para realização do experimento onde seria averiguado cada valor de tensão, corrente e nível de carga da bateria em um intervalo de 1h e fazendo os registros desses valores para posteriormente fazer as análises.

O experimento ocorreu num intervalo de dois dias, no primeiro dia foi para a realização do sistema fixo e o sistema de eixo duplo, e no segundo dia apenas para o sistema de eixo único, ambos os dias eram bem ensolarados e sem nuvens, com uma temperatura média de 30 °C.

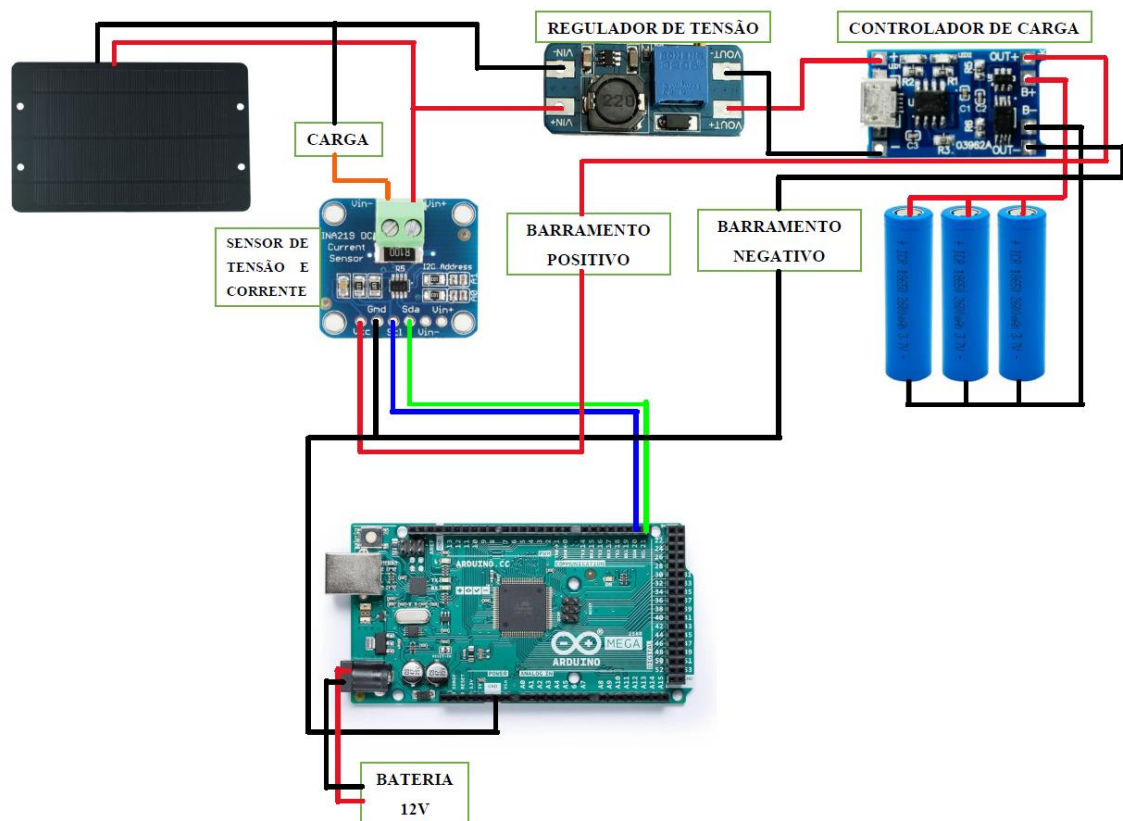
Para o sistema fixo foi proposto uma estrutura feita a partir de uma madeira e fazendo um corte inclinado com a referência do ângulo de 22° como mencionado anteriormente, e ilustrado na Figura 16. Para medição foi adotado seguinte esquemático representado na Figura 17.

Figura 16 – Sistema de eixo Fixo completo.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 17 – Esquemático do sistema de eixo Fixo.



Fonte: Produção do próprio autor.

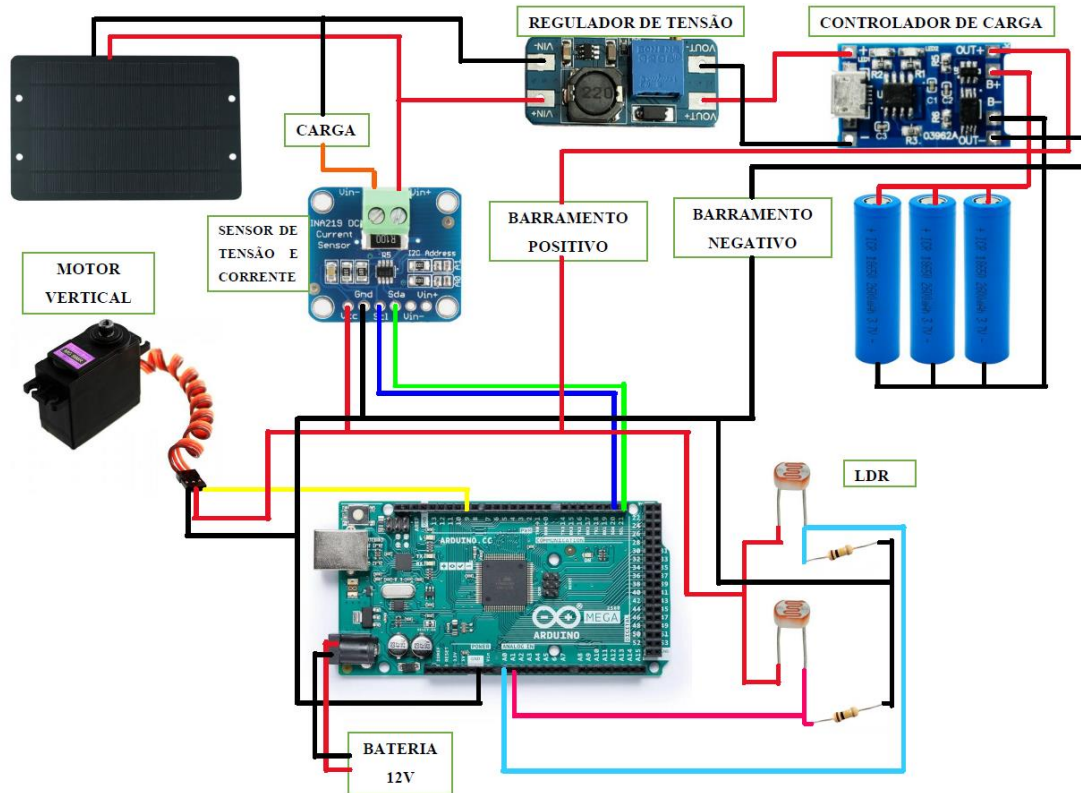
Para os sistemas de eixo único e eixo duplo, como mencionado anteriormente as características da sua estrutura pode ser vista por completo na Figura 18, e os seguintes esquemáticos, respectivamente, podem ser observados nas Figuras 19 e 20.

Figura 18 – Sistema de eixo duplo e eixo único completo.



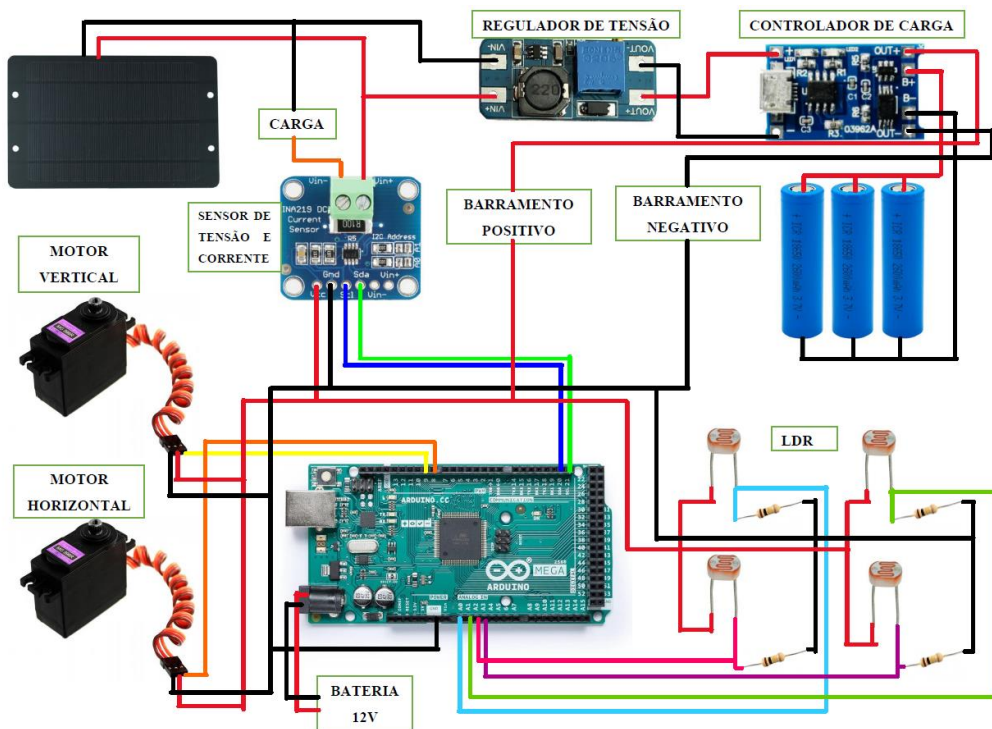
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 19 – Esquemático do sistema de eixo único.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 20 – Esquemático do sistema de eixo duplo.



Fonte: Produção do próprio autor.

4 RESULTADOS

4.1 Sistema Solar de Eixo Fixo

O teste foi realizado conforme mencionando anteriormente, utilizando um sistema fotovoltaico de fixo por um período de 12 horas em um dia ensolarado e sem nuvens, com uma temperatura média de 30 °C, como não utiliza um sistema de rastreamento, o posicionamento foi fixado na posição de maior incidência solar. A Tabela 4 e o Figura 21 apresentam os dados obtidos durante o experimento.

Tabela 4 – Dados obtidos durante o experimento.

Horário	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)
06:00	3,80	0,10	0,38
07:00	4,50	0,15	0,68
08:00	5,99	0,20	1,20
09:00	6,21	0,25	1,55
10:00	7,35	0,37	2,72
11:00	7,59	0,44	3,34
12:00	7,64	0,61	4,66
13:00	7,75	0,72	5,58
14:00	7,59	0,58	4,40
15:00	6,48	0,43	2,79
16:00	6,30	0,36	2,27
17:00	5,19	0,28	1,45
18:00	4,00	0,16	0,64

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 21 – Potência gerada pelo Sistema Solar Fixo.



Fonte: Produção do próprio autor.

4.2 Sistema Solar de Rastreamento de Eixo Único

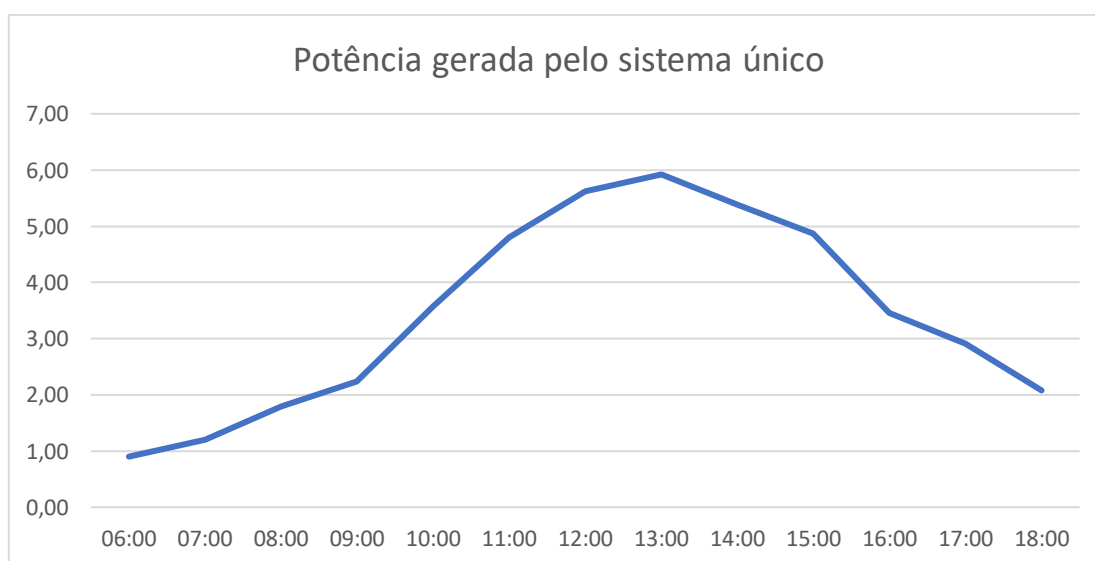
O teste para o sistema de eixo único foi realizado num dia posterior ao teste dos sistemas fixo e eixo duplo, o dia em questão teve as características climáticas bem similares com o teste realizado anteriormente. Para o sistema fixo utilizou-se a mesma estrutura do sistema de eixo duplo, porém foi desligado o motor da base que gira na horizontal e o sistema de 4 LDRs foi reduzido para apenas o uso de 2 LDRs, sendo o motor na vertical responsável para a movimentação do sistema. A Tabela 5 e o Figura 22 apresentam os dados obtidos durante o experimento.

Tabela 5 – Dados obtidos durante o experimento do Sistema de Eixo Único.

Horário	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)
06:00	4,50	0,20	0,90
07:00	5,00	0,24	1,20
08:00	6,18	0,29	1,79
09:00	6,40	0,35	2,24
10:00	7,14	0,50	3,57
11:00	7,62	0,63	4,80
12:00	7,70	0,73	5,62
13:00	7,90	0,75	5,92
14:00	7,59	0,71	5,39
15:00	7,62	0,64	4,87
16:00	6,40	0,54	3,46
17:00	6,19	0,47	2,91
18:00	5,20	0,40	2,08

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 22 – Potência gerada pelo Sistema Solar de Eixo Único.



Fonte: Produção do próprio autor.

4.3 Sistema Solar de Rastreamento de Eixo Duplo

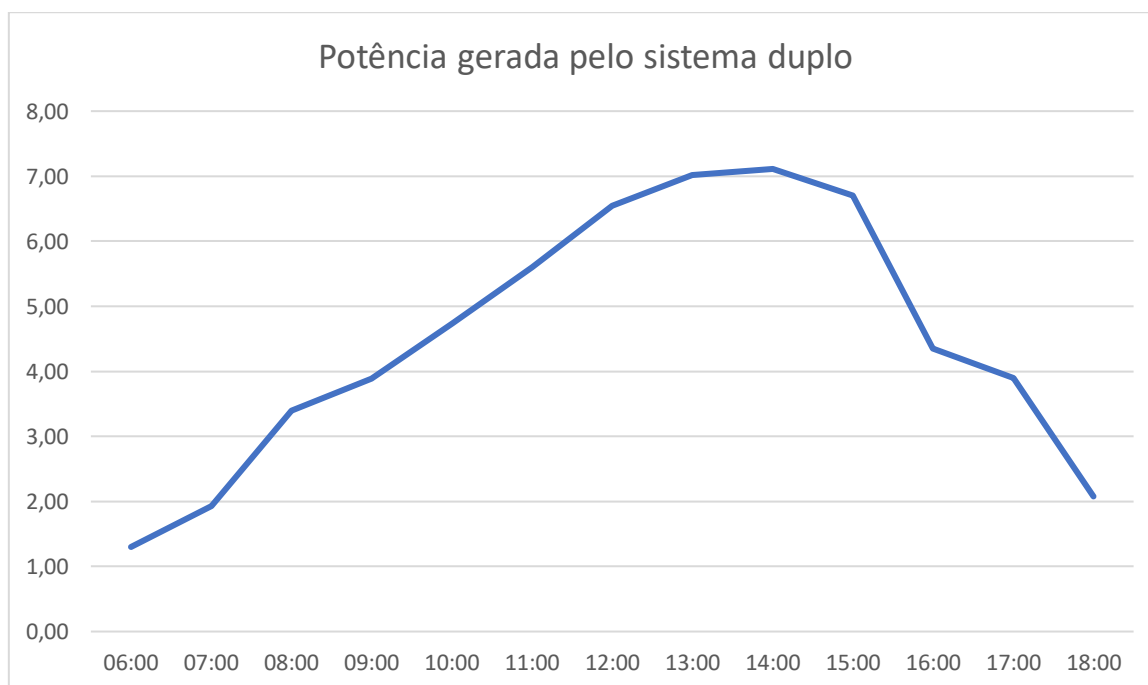
O teste foi realizado em conjunto com o sistema fixo, contendo as mesmas características climáticas mencionadas anteriormente, diferente do sistema de eixo único, esse sistema utilizou os dois motores presentes na estrutura. A Tabela 6 e o Figura 23 apresentam os dados obtidos durante o experimento.

Tabela 6 – Dados obtidos durante o experimento do Sistema de Eixo Duplo.

Horário	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)
06:00	5,00	0,26	1,30
07:00	5,50	0,35	1,93
08:00	6,29	0,54	3,40
09:00	6,59	0,59	3,89
10:00	7,40	0,64	4,74
11:00	7,57	0,74	5,60
12:00	7,70	0,85	6,55
13:00	7,89	0,89	7,02
14:00	7,99	0,89	7,11
15:00	7,79	0,86	6,70
16:00	6,69	0,65	4,35
17:00	6,50	0,60	3,90
18:00	5,60	0,37	2,07

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 23 – Potência gerada pelo Sistema Solar de Eixo Duplo.

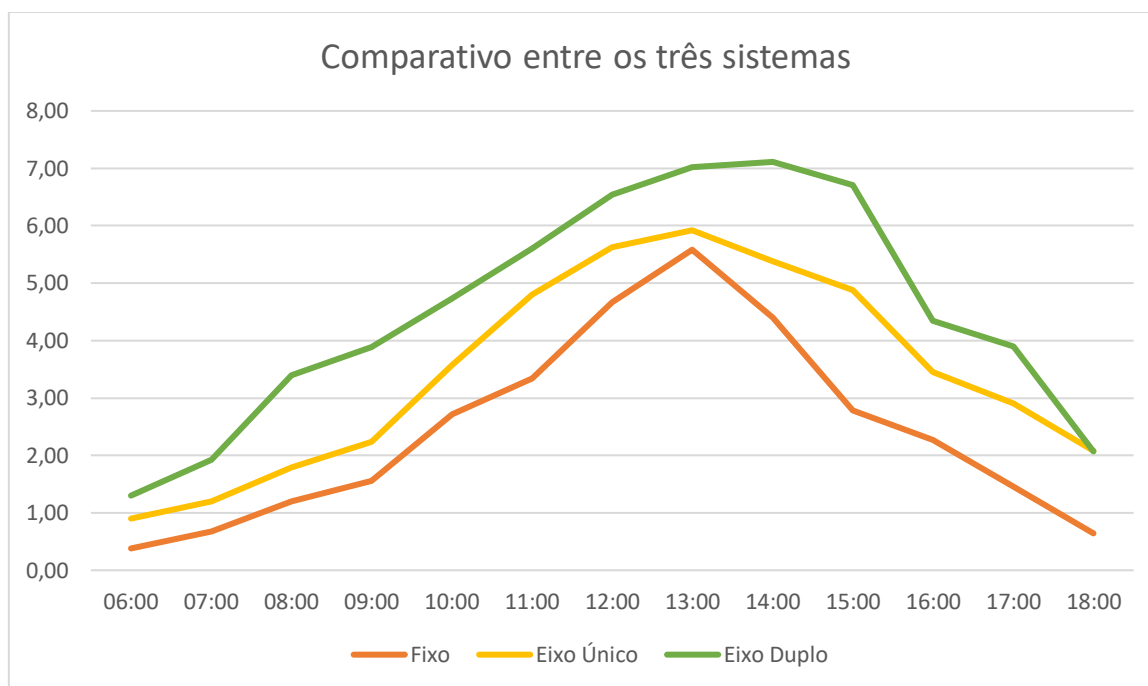


Fonte: Produção do próprio autor.

4.4 Comparação entre os Sistemas Solares

Com todos os dados obtidos para cada sistema apresentado, foram comparados sobrepondo os resultados no gráfico de potência gerada pelo painel fotovoltaico por cada sistema, resultando no Figura 24 a seguir.

Figura 24 – Comparativo de potência gerada.



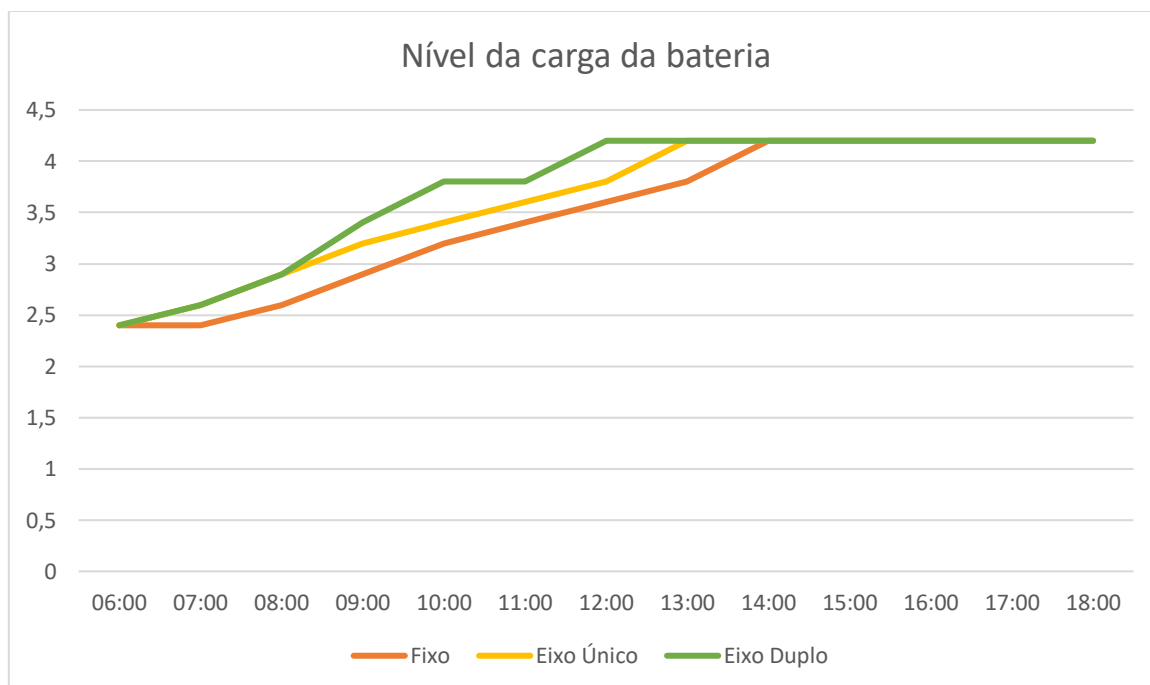
Fonte: Produção do próprio autor.

E podemos observar pelo gráfico que a presença do rastreador solar faz com que o período de incidência solar sobre o painel fotovoltaico seja maior tendo um aproveitamento na geração de energia melhor, tanto para o sistema de eixo duplo e único, diferenciando entre os dois o fato de que no sistema de eixo duplo por contar com uma movimentação a mais faz com que a produção de energia seja mais alta no início do dia em relação a produção de energia do sistema de eixo único, assim como na produção de energia no fim do dia, e para o sistema fixo podemos notar que o mesmo conta com apenas um pico de produção de energia. E observando o gráfico e as tabelas mencionadas anteriormente, pode se realizar uma média em relação a potência gerada por cada sistema, para o sistema fixo uma potência média de 2,44 W, no de eixo único a média é de 3,44 W e no de eixo duplo é de 4,50 W.

4.5 Nível de Carga das Baterias

O acompanhamento da carga foi feito a partir de leituras mais simples, com o auxílio de um multímetro, por começar o carregamento das baterias logo no início da operação, poderíamos esperar que o nível da carga estaria completamente carregado quando os sistemas estariam gerando a maior quantidade de energia. Efeito similar de um carregador de baterias, por exemplo, que muitas tem-se a carga lenta, ou seja, tem o seu carregamento de forma menos acelerada, muitas vezes utilizando uma corrente menor de entrada para evitar o superaquecimento da bateria e dando mais vida útil dela, ao contrário da carga rápida que tem o fluxo de corrente maior, levando ao superaquecimento e diminuindo a vida útil da bateria.

Figura 25 – Comparativo do nível de carga da bateria em cada sistema.



Fonte: Produção do próprio autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o uso de sistemas fotovoltaicos com rastreador solar de eixo único e eixo duplo acarretaram num aumento de geração de energia em relação ao sistema solar fixo, podendo ser observada através dos gráficos mostrados no trabalho. A análise da eficiência entre os sistemas foi feita a partir das medições de tensão e corrente do painel conectado a uma carga, observou que a potência gerada pelo sistema fotovoltaico de eixo único é 40,98% em relação ao sistema fixo, que por sua vez a do sistema de eixo duplo é de 84,42% em relação ao sistema fixo, e pode notar que a diferença em relação ao sistema de eixo duplo para o eixo único é de 30,81%.

Observasse ainda que há uma grande vantagem na aplicação de rastreadores solares aos sistemas fotovoltaicos, porém o uso de rastreadores solares acarreta num maior espaço para realizar as instalações necessárias para estar fazendo o controle dos posicionamentos do painel em relação ao Sol. E o rastreador solar construído demonstrou precisão no posicionamento de uma placa solar com rastreamento onde se manteve perpendicular em relação aos raios solares incidentes durante todo o período de insolação.

REFERÊNCIAS

PERES, A. C.; ALMEIDA, T.; MORGADO, C. O. OTIMIZAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS FIXOS E COMPARAÇÃO COM SISTEMAS DE RASTREAMENTO SOLAR PARA TRÊS CIDADES BRASILEIRAS. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2020. p. 1–8. DOI: 10.46421/entac.v18i.771. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/771>. Acesso em: 5 out. 2023.

Silva Lima, D., & Aron Moura Gurgel Sinedino de Oliveira, S. (2020). ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE UM SISTEMA SOLAR COM RASTREIO E UM FIXO. EDUCTE: Revista Científica Do Instituto Federal De Alagoas, 8(1), 870-880. Recuperado de <https://periodicos.ifal.edu.br/educcte/article/view/1554>

Moreira, L. de O., Silva, A. J. D. da, Gomes, N. D., & Junior, G. M. A. (2019). Estudo comparativo de técnicas de rastreamento solar para geração de energia solar fotovoltaica / Comparative study of solar tracking techniques for the generation of photovoltaic solar energy. Brazilian Applied Science Review, 3(3), 1551–1563. <https://doi.org/10.34115/basrv3n3-005>

Revoredo, T. C., Ribeiro, M. V. S., & Leitão, P. L. M. (2019). ESPECIFICAÇÃO E PROTOTIPAGEM DE UM SISTEMA DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA COM RASTREAMENTO SOLAR. Revista Brasileira De Energia Solar, 10(1), 64–76. <https://doi.org/10.59627/rbens.2019v10i1.256>

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Balanço energético nacional 2023: ano base 2022. Rio de Janeiro: EPE, 2023.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>. Acesso em: 5 out. 2023.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br>. Acesso em: 28 set. 2023.

SOUTO, Jaqueline de Godoi. Estudo comparativo de geração fotovoltaica entre um painel fixo e outro com rastreamento. 2022. 94 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

SANTOS, Matheus Picoli. ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE RASTREAMENTO SOLAR NA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA. 2022. 46 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade Anhanguera de Sumaré, Sumaré, 2022.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. São Paulo: Érica, 2012.

A irradiância solar: conceitos básicos. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, n. 40 (3), fev. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF2017-0342>. Acesso em: 04 set. 2023.

FRANCISCO, Gabriel R.; MONTEZUMA, Marcio A. F.; VARGAS, Alessandro N. Seguidor solar de dois eixos com sensor tronco piramidal aplicado a um sistema Off-Grid. 2021. 8f. Livre Docência (Engenharia Elétrica) - UTFPR, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2021.

BERWANGER, Diego. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, março de 2019. Desenvolvimento de um Sistema Fotovoltaico com Rastreador Solar de um eixo instalado em uma propriedade rural conectado à Rede.

Toniazzo, Fernando. DESENVOLVIMENTO DE UM SEGUIDORSOLAROPENLOOP E UM BANCO DE DADOS DE POSICIONAMENTO SOLARNOMUNICÍPIODE FRANCISCO BELTRÃO. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, Brasil, 2021.

LEMOS JÚNIOR, Antonio Carlos; SILVA, Leandro Aureliano da; SANTOS, Marcelo Soares dos; SILVA, Michelle Pio Barbosa da. Rastreador solar e comparação de eficiência na geração fotovoltaica. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, [S.L.], p. 44-62, 4 set. 2020.

SHAYANI, R. A. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE.DM-265/06, v Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006, p.58.

APÊNDICE A – Código do sistema de Eixo Único

```
#include <Servo.h> // Inclui a Biblioteca do servomotor
#include <Adafruit_INA219.h> // Inclui a Biblioteca do sensor de corrente e tensão

Servo myservo; // Inicia o servomotor

#define ldr1 A0 // Inicia LDRSuperior no pino A0
#define ldr2 A1 // Inicia LDRInferior no pino A1

int pos = 90; // Estabelece valor fixo ao servomotor
int tolerance = 20; // Estabelece valor fixo à tolerância mínima de parada

Adafruit_INA219 ina219; // Inicia o sensor de corrente e tensão

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  // Inicialize o sensor de corrente e tensão
  ina219.begin();
  myservo.attach(2);
  pinMode(ldr1, INPUT); // Inicialize o LDRSuperior
  pinMode(ldr2, INPUT); // Inicialize o LDRInferior
  myservo.write(pos); // Determina a posição inicial do servomotor

  delay(1000); // Aguarda 1 segundo
}

void loop(){

  float current = ina219.getCurrent(); // Leia o valor da corrente

  float voltage = ina219.getBusVoltage(); // Leia o valor da tensão

  // Imprima os valores de corrente e tensão
  Serial.print("Corrente: ");
  Serial.print(current);
  Serial.println(" A");

  Serial.print("Tensão: ");
  Serial.print(voltage);
  Serial.println(" V");

  delay(1000);

  int val1 = analogRead(ldr1); // Leitura Analógica do LDRSuperior
  int val2 = analogRead(ldr2); // Leitura Analógica do LDRInferior

  // Realiza a leitura e executa os movimentos referente ao servomotor
  if((abs(val1 - val2) <= tolerance) || (abs(val2 - val1) <= tolerance)) {
```

```
}else {  
  if(val1 > val2)  
  {  
    pos = pos+1;  
  }  
  if(val1 < val2)  
  {  
    pos = pos-1;  
  }  
}  
  
if(pos > 180) {pos = 180;}  
if(pos < 0) {pos = 0;}  
myservo.write(pos);  
delay(1000); // Aguarda 1 segundo  
  
}
```

APÊNDICE B – Código do sistema de Eixo Duplo

```
#include <Servo.h> // Inclui a Biblioteca do servomotor
#include <Adafruit_INA219.h> Inclui a Biblioteca do sensor de corrente e tensão

Adafruit_INA219 ina219; // Inicia o sensor de corrente e tensão
Servo Horizontal; // Inicia o Servo da Horizontal
Servo Vertical; // Inicia o Servo da Vertical

int ServoHorizontal = 90; // Estabelece valor fixo à ServoHorizontal
int ServoVertical = 90; // Estabelece valor fixo à ServoVertical

int LimiteServoHorizontalMax = 180; // Estabelece os limites de rotação
int LimiteServoHorizontalMin = 65; // Estabelece os limites de rotação

int LimiteServoVerticalMax = 120; // Estabelece os limites de rotação
int LimiteServoVerticalMin = 15; // Estabelece os limites de rotação

int LDRDC = A1; // Inicia LDRDC no pino A1
int LDRDB = A3; // Inicia LDRDB no pino A3
int LDREC = A0; // Inicia LDREC no pino A0
int LDREB = A2; // Inicia LDREB no pino A2

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  // Inicialize o sensor de corrente e tensão
  ina219.begin();

  Horizontal.attach(3); // Inicia servo Horizontal na porta D3
  Vertical.attach(5); // Inicia servo Vertical na porta D5

  Horizontal.write(180); // Inicia servo Horizontal na posição 180
  Vertical.write(45); // Inicia servo Horizontal na posição 45
```

```

    delay(3000);      // Aguarda 3 segundos
}

void loop() {

    float current = ina219.getCurrent(); // Leia o valor da corrente

    float voltage = ina219.getBusVoltage(); // Leia o valor da tensão

    // Imprima os valores de corrente e tensão
    Serial.print("Corrente: ");
    Serial.print(current);
    Serial.println(" A");

    Serial.print("Tensão: ");
    Serial.print(voltage);
    Serial.println(" V");

    delay(1000); // Aguarda 1 segundo

    int LDC = analogRead(LDRDC); // Leitura Analógica do LDR Direita Cima
    int LEC = analogRead(LDREC); // Leitura Analógica do LDR Esquerda Cima
    int LDB = analogRead(LDRDB); // Leitura Analógica do LDR Direita Baixo
    int LEB = analogRead(LDREB); // Leitura Analógica do LDR Esquerda Baixo

    int tol = 50;
    int ValorSup = (LDC + LEC) / 2; // Média da leitura dos LDR superior
    int ValorInf = (LDB + LEB) / 2; // Média da leitura dos LDR inferior
    int ValorDir = (LDC + LDB) / 2; // Média da leitura dos LDR da direita
    int ValorEsq = (LEC + LEB) / 2; // Média da leitura dos LDR da esquerda
    int DifSupInf = ValorSup - ValorInf;
    int DifDirEsq = ValorDir - ValorEsq;

    // Realiza a leitura e executa os movimentos referente ao Servo Vertical

```

```

if (-1 * tol > DifSupInf || DifSupInf > tol) {
  if (ValorSup > ValorInf) {
    ServoVertical = ++ServoVertical;
    if (ServoVertical > LimiteServoVerticalMax) {
      ServoVertical = LimiteServoVerticalMax;
    }
  } else if (ValorSup < ValorInf) {
    ServoVertical = --ServoVertical;
    if (ServoVertical < LimiteServoVerticalMin) {
      ServoVertical = LimiteServoVerticalMin;
    }
  }
  Vertical.write(ServoVertical);
}

// Realiza a leitura e executa os movimentos referente ao Servo Horizontal
if (-1 * tol > DifDirEsq || DifDirEsq > tol) {
  if (ValorDir > ValorEsq) {
    ServoHorizontal = --ServoHorizontal;
    if (ServoHorizontal < LimiteServoHorizontalMin) {
      ServoHorizontal = LimiteServoHorizontalMin;
    }
  } else if (ValorDir < ValorEsq) {
    ServoHorizontal = ++ServoHorizontal;
    if (ServoHorizontal > LimiteServoHorizontalMax) {
      ServoHorizontal = LimiteServoHorizontalMax;
    }
  } else if (ValorDir = ValorEsq) {
  }
  Horizontal.write(ServoHorizontal);
}

delay(1000); // Aguarda 1 segundo
}

```

APÊNDICE C – Código do sistema Fixo

```
#include <Adafruit_INA219.h> // Inclui a Biblioteca do sensor de corrente e tensão

Adafruit_INA219 ina219; // Inicia o sensor de corrente e tensão

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  // Inicialize o sensor de corrente e tensão
  ina219.begin();
}

void loop() {

  float current = ina219.getCurrent(); // Leia o valor da corrente

  float voltage = ina219.getBusVoltage(); // Leia o valor da tensão

  // Imprima os valores de corrente e tensão
  Serial.print("Corrente: ");
  Serial.print(current);
  Serial.println(" A");

  Serial.print("Tensão: ");
  Serial.print(voltage);
  Serial.println(" V");

  delay(1000); // Aguarda 1 segundo
}
```