

ASSOCIAÇÃO EDUCATIVA EVANGÉLICA
FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA – FACEG
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

RICARDO DE JESUS SILVA

**ESTUDO COMPARATIVO DO SISTEMA DE OBTENÇÃO FIXO COM
O SISTEMA DE RASTREAMENTO SOLAR PARA GERAÇÃO DE
ENERGIA FOTOVOLTAICA**

GOIANÉSIA

2021

RICARDO DE JESUS SILVA

**ESTUDO COMPARATIVO DO SISTEMA DE OBTENÇÃO FIXO COM
O SISTEMA DE RASTREAMENTO SOLAR PARA GERAÇÃO DE
ENERGIA FOTOVOLTAICA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

GOIANÉSIA

2021

FICHA CATALOGRÁFICA

F333s

SILVA, Ricardo de Jesus.

Estudo comparativo do sistema de obtenção fixo com o sistema de rastreamento solar para geração de energia fotovoltaica / Ricardo de Jesus Silva – Goianésia: Faculdade Evangélica de Goianésia, 2021 – Faceg, 2021.

35 p.; il. p&b.

Orientador: Prof. Ivandro José de Freitas Rocha.

Monografia de Graduação – Faculdade Evangélica de Goianésia: FACEG, 2021.

1. Energia Solar. 2. Protótipo. 3. Algoritmo. 4. Arduino.

I. SILVA, Ricardo de Jesus. II. Sistema Solar Inteligente.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, R. J. **Estudo comparativo do sistema de obtenção fixo com o sistema com rastreamento solar**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia mecânica) – Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia – GO, 2021.

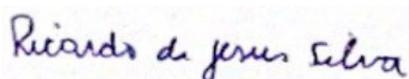
CESSÃO DE DIREITOS

NOME: RICARDO DE JESUS SILVA

GRAU: BACHAREL

ANO: 2021

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia permissão para reproduzir cópias desta Monografia de Graduação, única e exclusivamente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais de publicação. Nenhuma parte desta Monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.



Nome: RICARDO DE JESUS SILVA

CPF: 018.393.271-46

Endereço: Bairro Nova Aurora 3

Email: rkrd_si@hotmail.com

RICARDO DE JESUS SILVA

SISTEMA SOLAR INTELIGENTE

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Goianésia, _____ de _____ de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Ivandro José de Freitas Rocha - Orientador
Faculdade Evangélica de Goianésia

Prof. Me. Ariane Martins Caponi Lima - Avaliador
Faculdade Evangélica de Goianésia

Prof. Dr. Marinés Chiquinquirá Carvajal Bravo Gomes - Avaliador
Faculdade Evangélica de Goianésia

“Mesmo que a vida pareça difícil, há sempre algo que você pode fazer para ter sucesso nela.”

(Stephen Hawking)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a toda minha família, que sempre esteve ao meu lado me apoiando sempre em todas as dificuldades durante todo o curso.

Agradeço a minha esposa Diely que sempre esteve comigo me incentivando e me motivando a me esforçar cada vez mais.

Aos meus colegas de sala, ao meu grande amigo e companheiro de curso Raniel Mazzily pela ajuda sempre que precisei estava lá não medindo nenhum esforço, e principalmente meus colegas de grupo de estudos que ao longo do curso se tornaram grandes amigos que levarei pra sempre comigo: Bruno, Carlos, Igor, Leomar e Rogério obrigado por todas as noites em claro, os finais de semana que nos privávamos do lazer com nossa família e amigos para focarmos nos estudos buscando obter sempre os melhores resultados possíveis de aprendizado. Com o principal objetivo de nos tornarmos os melhores profissionais possíveis.

Agradeço meu orientador Ivandro José de Freitas Rocha pelo apoio nesse fim de caminhada, pela paciência, pela parceria, “Vida longa e próspera”.

E por fim todos os professores que buscaram sempre repassar seus conhecimentos durante toda essa trajetória.

RESUMO

O presente trabalho tem como tema a otimização da geração de energia solar, onde o objetivo é realizar uma análise de dois sistemas que utilizam placas fotovoltaicas, um dos modelos foi projetado no modelo tradicional utilizando padrões de ângulo e orientação da placa com base no banco de dados da CRESESB, e simultaneamente um segundo modelo foi automatizado com o auxílio a plataforma de prototipagem Arduino, fazendo a utilização de servos motores que permitem uma movimentação tanto verticalmente quanto horizontalmente permitindo que o sistema sempre busque a posição com maior incidência dos raios solares. A análise dos dados foi realizada através da coleta dos valores de tensão e corrente geradas em ambos os protótipos, com base nesses valores foi calculada a potência gerada dos sistemas em função do tempo de utilização. A partir dos resultados obtidos nos testes, pode-se verificar que houve um aumento no rendimento do sistema fotovoltaico automatizado em comparação com o sistema fixo, validando assim sua utilização.

Palavras-chaves: Energia Solar, Algoritmo, Arduino, Placa Fotovoltaica.

ABSTRACT

The present work has as its theme the optimization of solar energy generation, analyzing the two systems that use photovoltaic plates. One of the prototypes was designed in the traditional model using plate angle and orientation patterns based on the CRESEB database, and simultaneously a second prototype that was automated with Arduino platform using servo motors to movement in vertical and horizontal directions, allowing the system to the best position in relation to the incidence of sunlight. Data analysis was performed by collecting the voltage and current values generated in both prototypes. Based on these values, the generated power of the systems was calculated as a function of the time of use. From the results obtained in the tests, it can be verified that there was an increase in the yield of the automated photovoltaic system compared to the fixed system, thus validating its use.

Keywords: Solar Energy, Algorithm, Arduino, Photovoltaic board.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Matriz de capacidade instalada de energia elétrica julho de 2019.....	21
Figura 2. Matriz de capacidade instalada de energia elétrica julho de 2021.....	21
Figura 3. Diferença entre célula e módulo fotovoltaico.	26
Figura 4. Junção P-N em uma célula fotovoltaica de silício.	27
Figura 5. Princípio de funcionamento de uma célula fotovoltaica.	28
Figura 6. Translação da Terra.....	29
Figura 7. Absorção solar com base na inclinação do módulo.	30
Figura 8. Sistemas fotovoltaicos com rastreamento.	31
Figura 9. Arduino Uno.	32
Figura 10. Arduino Mega ADK.	33
Figura 11. Arduino IDE: Ambiente de Desenvolvimento.....	34
Figura 12. Sentido da corrente Elétrica.	35
Figura 13. Circuito de corrente contínua.	36
Figura 14. Circuito de corrente alternada.	36
Figura 15. Resistor.	37
Figura 16. Capacitores.....	37
Figura 17. Diodo.....	38
Figura 18. Faculdade Evangélica de Goianésia.....	38
Figura 19. Goianésia/Goiás.	39
Figura 20. <i>Jumpers</i> (fêmea – fêmea).....	39
Figura 21. Sensor de Tensão Dc 0-25V.....	40
Figura 22. Sensor de Corrente.	40
Figura 23. Módulo RTC	41
Figura 24. Display LCD TFT 1.6" 130X130.....	42
Figura 25. Módulo Sensor de Luminosidade LDR.	43
Figura 26. Mini módulo solar de 12V e 500mA.	43
Figura 27. Servo motor 9g SG90 180 graus.....	44
Figura 28. Fluxograma do Projeto feito na plataforma Lucidchart.	45
Figura 29. Circuito eletrônico feito no tinkercad para teste do modelo.	46
Figura 30. Configuração dos Servos Motores.	47
Figura 31. Código para ler o sinal fornecido pelos LDR.	47

Figura 32. Definição das variáveis de média para funcionamento do rastreador solar.....	48
Figura 33. Função para movimentação do servo vertical.....	48
Figura 34. Pontos negativo e positivo do módulo solar.	49
Figura 35. Conexão Elétrica dos Sensores de tensão e corrente.	50
Figura 36. Lâmpada led 12V.....	50
Figura 37. Modelo de obtenção fixo.....	51
Figura 38. Local de instalação dos LDR com abas de sombreamento.....	52
Figura 39. Modelo com seguidor.....	52
Figura 40. Fonte 12V.....	53
Figura 41. Sistemas fotovoltaicos.	53
Figura 42. Central de Controle.	54
Figura 43. Display com as informações de tensão e corrente.	55
Figura 44. Código restringindo movimentação servo horizontal.	56
Figura 45. Código restringindo movimentação do servo vertical.	56
Figura 46. Irradiação solar Goianésia-GO.....	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Geração de Energia dia 04/02 em função do tempo pelos sistemas.....	58
Gráfico 2. Geração de Energia dia 05/02 em função do tempo pelos sistemas.....	59
Gráfico 3. Geração de Energia dia 06/02 em função do tempo pelos sistemas.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Orçamento do projeto.	44
Tabela 2. Tabela de Geração em (Wh) dos sistemas no dia 04/02.	59
Tabela 3. Tabela de geração em (Wh) dos sistemas no dia 05/02.	60
Tabela 4. Tabela de geração em (Wh) dos sistemas no dia 06/02.	61
Tabela 5. Tabela de estimativa de geração média nos dias de teste.	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CRESESB – Centro de Referências para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito

Dc – Corrente Contínua

FV – Fotovoltaica

GND – *Graduated Neutral Density Filter* (Filtro Graduado de Densidade Neutra)

IDE – *Integrated Development Integrado* (Ambiente de Desenvolvimento Integrado)

LCD – *Liquid Crystal Display* (Tela de Cristal Líquido)

LDR – *Light Dependent Resistor* (Resistor Variável Conforme Incidência de Luz)

MME – Ministério de Minas e Energia

PWN – *Pulse Width Modulation* (Modulação de Largura de Pulso)

RTC – *Real Time Clock* (Relógio de Tempo Real)

SPI – *Serial Peripheral Interface* (Serial de Interface Periférica)

TFT – *Thin Film Transistor* (Transistor de Película Fina)

VDC – *Voltage Direct Current* (Voltagem Corrente Contínua)

LISTA DE SÍMBOLOS

A = ampere

cm³ = centímetro cúbico

g = grama

Hz = hertz

I = Corrente

K = Kelvin

KB = Quilobyte

kHz = Kilohertz

kWh = Quilowatt-hora

m = metro

m² = metros quadrados

mA = miliampere

MHz = Megahertz

mm = milímetro

mW = Miliwatt

P = Potência

R = Resistência

V = volt

W = Watts

Ω = ohm

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Objetivo Geral	19
1.2	Objetivos Específicos	19
1.3	Justificativa	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	Energia e Sustentabilidade	20
2.2	Energia Solar	22
2.2.1	<i>Introdução a Energia Solar</i>	22
2.2.2	<i>Geração de Energia Solar</i>	23
2.3	Sistemas Fotovoltaicos.....	24
2.3.1	<i>Módulo Solar</i>	26
2.3.2	<i>Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica</i>	27
2.3.2	<i>Estimativa de Rendimento Energético do Sistema</i>	28
2.3.3	<i>Orientação e Inclinação do Módulo</i>	28
2.3.4	<i>Avaliação do Sítio Solar</i>	30
2.3.5	<i>Sistema com rastreamento solar</i>	31
2.4	Arduino.....	31
2.4.1	<i>Arduino Uno</i>	32
2.4.2	<i>Arduino Mega ADK</i>	33
2.4.3	<i>Programação e Ambiente de Desenvolvimento Integrado</i>	33
2.5	<i>Eletrônica Básica</i>	35
2.5.1	<i>Resistores</i>	37
2.5.2	<i>Capacitores</i>	37
2.5.3	<i>Diodo</i>	38
2.5.4	<i>Semicondutores</i>	38
3	METODOLOGIA.....	38
3.1	Componentes do Projeto	39
3.1.1	<i>Jumpers</i>	39
3.1.2	<i>Sensor de Tensão</i>	40
3.1.3	<i>Sensor de Corrente</i>	40

3.1.4 <i>Relógio de Tempo Real</i>	41
3.1.5 <i>Display LCD</i>	42
3.1.6 <i>Sensor de Luminosidade LDR</i>	43
3.1.7 <i>Módulo Solar</i>	43
3.1.8 <i>Servo motor</i>	44
3.1.9 <i>Valores gastos no projeto</i>	44
3.2 Desenvolvimento do Projeto	45
3.3 Projeção e Teste do Circuito Elétrico	45
3.4 Desenvolvimento do código fonte	46
3.4.1 <i>Servo Motor</i>	46
3.4.2 <i>Sensor de Luminosidade</i>	47
3.4.3 <i>Rastreamento solar</i>	47
3.5 Montagem dos modelos	49
3.5.1 <i>Montagem dos módulos solares</i>	49
3.5.2 <i>Ligação dos Sensores de Tensão e Corrente</i>	49
3.5.3 <i>Sistema Fotovoltaico Fixo</i>	51
3.5.4 <i>Sistema Fotovoltaico com Rastreamento Solar</i>	51
3.5.5 <i>Central de Controle</i>	54
3.6 Cálculo da Energia Gerada por Sistema	54
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1 Teste dos modelos	56
4.1.1 <i>Ajustes nos servos motores</i>	56
4.2 Captação de energia fotovoltaica	57
5 CONCLUSÃO	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

1 INTRODUÇÃO

O setor energético causa impactos ambientais em todo seu processo de desenvolvimento, desde a captura dos recursos naturais até a parte de processamento industrial e por fim em sua utilização por uma enorme variedade de consumidores. No ponto de vista global os principais problemas ambientais estão ligados a geração de energia. (REIS, 2017).

O sol é a grande fonte primária de energia do planeta Terra. Sob sua influência estão os movimentos dos ventos, marés, ciclos da água, fotossíntese das plantas e mesmo a existência dos combustíveis fósseis (NETO & CARVALHO, 2016). A energia fotovoltaica, energia solar convertida para energia elétrica, sofreu um grande avanço devido ao baixo impacto ambiental a facilidade de instalação e flexibilidade de utilização. Outro grande motivo foi baixa no custo, que vinha sendo um grande obstáculo para sua utilização há décadas.

De acordo com Vian (2021) a grande expansão também se deve a intensas pesquisas motivadas pelos governos afim de buscar a utilização de energias limpas, e também na melhoria de rendimento e confiabilidade dos módulos fotovoltaicos. Tanto para um sistema de grande ou pequeno porte, a energia solar vem ganhando espaço, sendo uma fonte primária de energia, o que traz uma enorme contribuição para a matriz energética brasileira.

A energia fotovoltaica vem despertando grande interesse pelo governo brasileiro, não só pelos aspectos já citados, mais também em função das características geográficas, climáticas e facilidade de encontrar terrenos para abrigar instalações geradoras dessa natureza, sem que haja prejuízo ambiental e na produção agrícola (VIAN, 2021).

Segundo Philippi e Reis (2016) os recursos naturais devem ser usados de tal forma que supram as necessidades atuais sem comprometer a disponibilidade deles para as gerações futuras, este é o conceito mais simples e difundido de sustentabilidade. O objetivo desse estudo visa aumentar a eficiência de um sistema de energia fotovoltaico fixo, devido seu rendimento em alguns momentos do dia não garantir um rendimento satisfatório, para isso será projetado um sistema com rastreamento solar buscando obter uma maior eficiência da captação de energia solar disponível.

1.1 Objetivo Geral

Comparar um sistema de obtenção de energia solar fotovoltaica fixo com um modelo desenvolvido de obtenção de energia com rastreamento solar.

1.2 Objetivos Específicos

- Montar um modelo tradicional levando em consideração características de montagem mais favoráveis para a região;
- Desenvolver um sistema automatizado que será capaz de rastrear a luz solar buscando captar a maior quantidade de energia solar possível;
- Coletar os dados de geração de energia por um período de tempo;
- Analisar e comparar a energia gerada por ambos os sistemas: convencional e automatizado (com rastreamento solar).

1.3 Justificativa

A utilização de sistemas solares de energia fotovoltaica vem se tornando cada vez mais atraente devido seu custo que vem decaindo constantemente, em contrapartida o custo da energia elétrica convencional vem se tornando cada vez mais alto, a opção de instalação de sistemas de energia solar acabou sendo uma opção muito viável tanto devido a sua facilidade de instalação, e também por ser possível sua montagem em diversos tipos de lugares onde até mesmo não haja acesso a rede elétrica, ocupando espaços que não interferem no ambiente em si, garantindo uma economia considerável de gastos com o uso de energia elétrica, agregando valorização do imóvel ou terreno associado, e além disso impulsiona a utilização de uma energia renovável, sustentável e limpa.

O desenvolvimento dessa pesquisa visa buscar meios de melhorar a utilização e a eficiência de sistemas solares de energia fotovoltaica com a utilização da automação associada ao sistema de geração empregado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Energia e Sustentabilidade

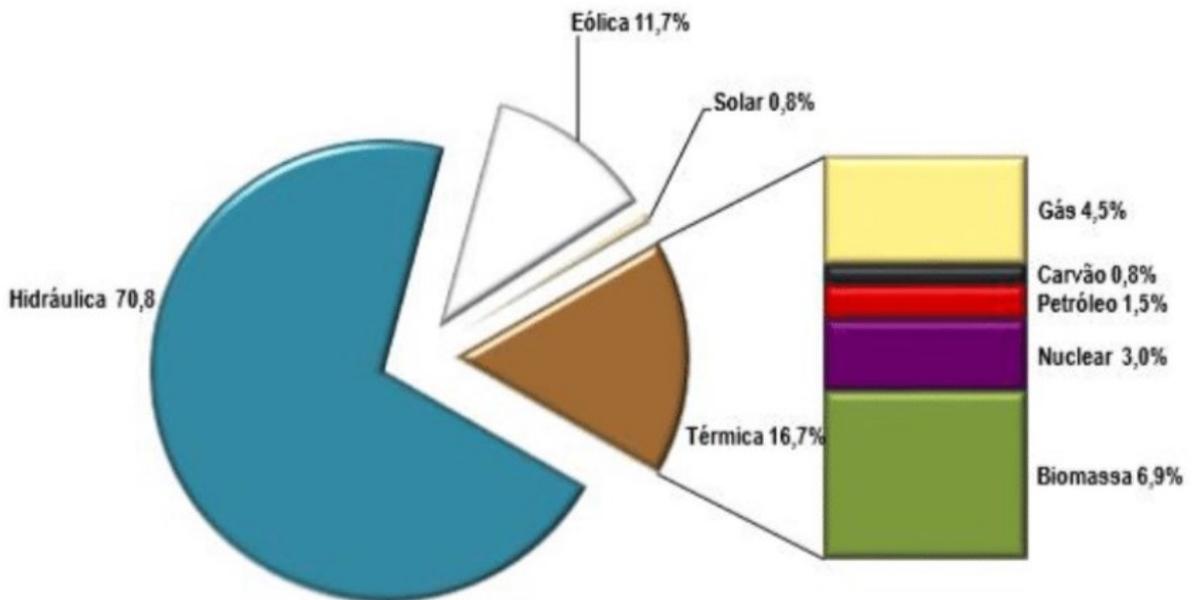
Segundo Philippi & Reis (2016), desde o nascimento do planeta existem manifestações de energia, que vem sustentando todas as formas de vida aqui presentes, com a evolução histórica da humanidade a questão da energia no âmbito de sustentabilidade está intimamente ligada ao desenvolvimento econômico e seus efeitos sociais e ambientais. Hoje existe um consumo excessivo de energia pelo ser humano, para conseguir satisfazer todas as necessidades básicas e de lazer. Em países considerados desenvolvidos o consumo chega a ser maior cerca de 130 vezes se comparado com consumo da época do homem caçador, a média mundial de consumo chega a ser 10 vezes maior.

O modelo de planejamento energético mundial até o final da década de 1980 se posicionou para satisfazer a crescente demanda por energia buscando estratégias para aumentar o suprimento de energia, e utilizando a grande variedade de recursos energéticos que foram responsáveis por alavancar grandes projetos de desenvolvimento, como barragens, usinas nucleares, refinarias de petróleo e complexos industriais, em sua maioria situados nas capitais, e muitos deles, ambientalmente inadequados (PHILIPPI & REIS, 2016). “Inquietações relacionadas com o aquecimento global, a chuva ácida e os resíduos radioativos ainda hoje nos perseguem, e cada um desses temas está relacionado à forma como usamos a energia.” (HINRICHS & KLEINBACH, 2015, p. 02).

Cada vez mais são encontrados trabalhos e estudos mundiais e nacionais relacionados à energia e sustentabilidade, baseados na conservação de energia e eficiência energética; a modificação da forma de produção de energia buscando maior participação de fontes renováveis se tornou inevitável. Se estabeleceu um consenso de que é possível manter o crescimento econômico de forma sustentável utilizando menos energias não renováveis, ocorrendo uma melhor eficiência na utilização dos recursos devido sua limitação. Baseado nisso vem sendo buscado uma modificação na produção de energia, com o aumento do uso de fontes renováveis, possibilitando ao longo do tempo passarmos de uma matriz energética baseada em recursos fósseis para uma matriz energética predominante renovável. Esses são os tópicos mais debatidos no meio do cenário de energia e sustentabilidade, visto que as mudanças climáticas e o aquecimento global se tornaram uma preocupação mundial (PHILIPPI & REIS, 2016).

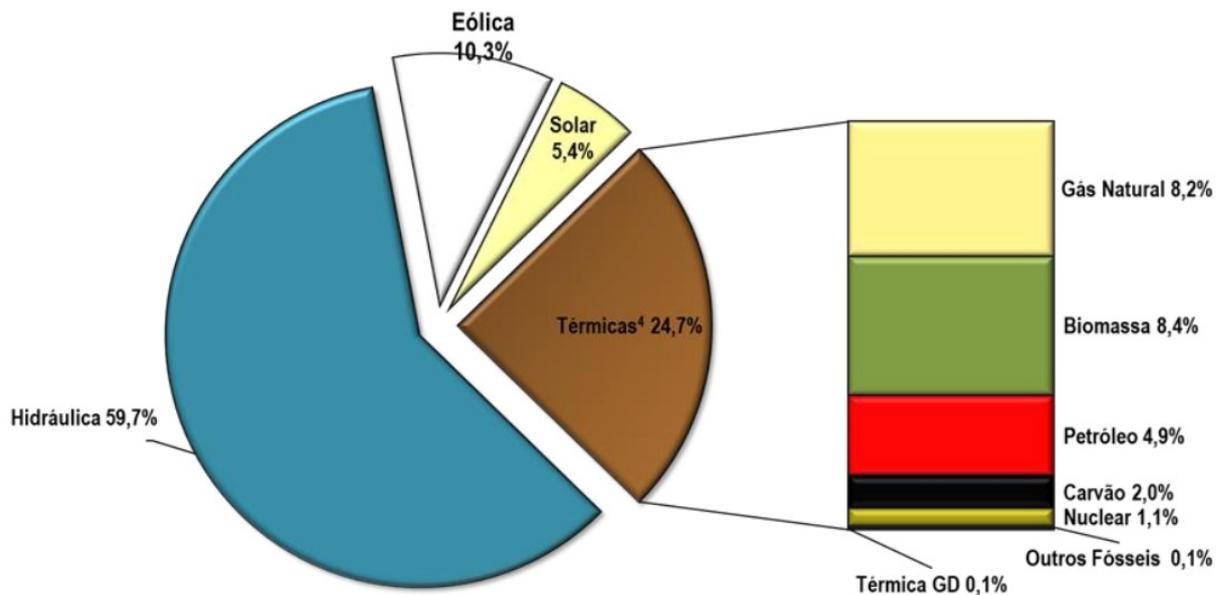
No comparativo dos anos de 2019 (Figura 1) e 2021 (Figura 2) é possível notar um grande aumento na utilização da energia solar no Brasil, o valor que era de 1% no ano de 2019 passou para 5% em 2021 (MME, 2021).

Figura 1. Matriz de capacidade instalada de energia elétrica julho de 2019.



Fonte: MME – Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro de Julho de 2019.

Figura 2. Matriz de capacidade instalada de energia elétrica julho de 2021.



Fonte: MME – Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro de Julho de 2021.

A energia nuclear embora não polua a atmosfera, apresenta problemas devido a questão da segurança dos reatores e tratamento de resíduos do processo considerados lixo atômico. Por outro lado, existe a opção de inúmeros recursos naturais renováveis com tecnologias disponíveis para utilização dos mesmos, tais como: energia eólica, energia hidrelétrica, energia oceânica, biomassa renovável, energia solar, energia geotérmica, dentre outras (PHILIPPI & REIS, 2016).

2.2 Energia Solar

2.2.1 Introdução a Energia Solar

As reações de fusão nuclear que ocorrem no interior do sol ocasionam a liberação de uma enorme quantidade de energia designada como energia solar. O Sol é considerado um corpo negro com temperatura superficial de 5780 K, cuja emissão de energia se dá por irradiação. “Irradiação, G (W/m^2), como taxa na qual a radiação incide sobre uma superfície por unidade de área superficial, com todos os comprimentos de onda e vinda de todas as direções.” (BERGMAN, 2019, p. 459).

De acordo com a lei da irradiação com simetria esférica, a emissão se propaga na forma de radiação eletromagnética, e segundo a lei de Stefan – Boltzmann a potência térmica por emissão em todas as direções é dada pela Equação 1:

$$I = \sigma T^4 = 6,33 \times 10^7 \text{ W/m}^2 \quad (1)$$

em que:

I = Irradiação;

$\sigma = 5,670400 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \times \text{K}^4$ como a constante de Stefan – Boltzmann;

T = Temperatura.

A irradiação máxima solar deve ser medida antes de chegar à atmosfera terrestre, devido a interferência de vários elementos existentes na atmosfera, fazendo com que a mesma venha decaindo devido a presença de nuvens e até mesmo da poluição. A radiação solar sofre várias alterações na sua intensidade antes de chegar na superfície terrestre (SANTOS, 2013).

2.2.2 Geração de Energia Solar

Energia solar se caracteriza por toda a energia irradiada pelo sol, e toda essa energia é utilizada de diversas formas.

“O sol é a fonte primária de energia para as instalações solares e é responsável direto pelo surgimento da vida no planeta Terra. Possui uma massa de $1,99 \times 10^{30}$ kg, raio de $6,96 \times 10^8$ m, densidade média de $1,41 \text{ g/cm}^3$, temperatura média na superfície de 5762 K e magnitude absoluta de 4,87. Todo ano o Sol fornece para a atmosfera terrestre aproximadamente $1,5125 \times 10^{18}$ kWh de energia” (NETO & CARVALHO, 2012, p. 121).

Segundo Vian (2021), a quantidade de radiação que incide na Terra e que pode ser capturada por um receptor adequado é dividida por 3 componentes:

Radiação direta: atravessa a atmosfera e alcança o receptor, uma boa parte dessa radiação ainda é absorvida por gases que a compõem ou sofre difusão nas moléculas do ar em suspensão, na média menos da metade da radiação que atravessa a atmosfera alcança a superfície terrestre, entretanto em dias ensolarados e céu claro essa média pode chegar à 70%.

Radiação difusa: produzida pelas partículas em suspensão na atmosfera, pelas nuvens e em consequência da umidade no ar, em dias claros a radiação difusa gira em torno de 15% da radiação total que incide a superfície terrestre.

Radiação refletida: se dá pela energia refletida por um corpo ou superfície, essa pequena parcela é captada por um coletor e recebida por corpos existentes ao seu redor, essa reflexão pode conter valores altos ou desprezíveis dependendo do meio em que o coletor se encontra.

Para Lineu (2017), a energia solar tem potencial de suprir a necessidade energética da grande parte do planeta. Mas há diversos problemas a serem superados como rendimento dos sistemas, seus custos e às necessidades de armazenamento.

A questão relacionada as tecnologias de conversão de energia solar é a disponibilidade de espaço para instalação, que se tornou decisiva para sucesso do projeto, mas mesmo assim só pode ser respondida de forma aproximada devido a variação do clima, por isso é aconselhável deter informações climáticas da região de vários anos, além da radiação solar informações como temperatura do ambiente, a velocidade e direção do vento, o índice pluviômetro e a umidade relativa são necessárias para sucesso do projeto. Nuvens, neblina e neve influenciam diretamente na quantidade de radiação solar recebida pelos sistemas FV(Fotovoltaico). Os locais com muita neve ou dias chuvosos produzem menos energia do que o locais ensolarados, o que exige a utilização de módulos solares extras (BALFOUR, 2016).

2.3 Sistemas Fotovoltaicos

A primeira descoberta que ocasionalmente levou a criação da energia fotovoltaica foi em 1839, quando o cientista francês Alexandre-Edmond Becquerel, que com apenas 19 anos, colocou duas placas de latão em um líquido condutor e verificou que resplandeceu imediatamente uma luz nas placas. Com isso ele constatou que foi gerado uma corrente elétrica naquele momento. Isto ficou conhecido como efeito fotovoltaico, a partir desse momento foi dado início a um lento processo de desenvolvimento dessa tecnologia. (BALFOUR, 2016). “Os módulos fotovoltaicos funcionam como coletores, que absorvem a radiação solar e a transformam diretamente em eletricidade através de um processo conhecido como efeito fotovoltaico, um fenômeno apresentado por certos materiais que, expostos à luz, geram eletricidade” (SANTOS, 2013, p.119).

A pesquisa continuou em 1873 quando o cientista britânico Willoughby Smith observou que o selênio reagia a luz, após isso em 1880 o inventor Charles Fritts fabricou a primeira célula solar de selênio. A invenção de Fritts provou que era possível produzir energia solar sem o uso de combustíveis. O próximo avanço foi dado nos anos de 1950, quando estudos feitos por cientistas nos laboratórios Bell para investigar as qualidades do elemento silício, foram observados que o silício tratado com impurezas se tornava responsivo a luz. Quando a luz solar atinge a célula solar os elétrons se separam de seus átomos, esse movimento cria eletricidade através de um circuito elétrico. Devido ao silício ser o segundo elemento mais disponível na Terra e seu baixo valor de custo, se tornou atualmente o material mais utilizado em células fotovoltaicas (BALFOUR, 2016).

As vantagens da utilização de sistemas fotovoltaicos são:

- Sofrem menos blecautes em comparação com as outras fontes de energia, tornando o mesmo muito viável para cenários de cuidado com a saúde.
- Possui um baixo custo de operação e manutenção, o maior investimento é feito na instalação, caso seja montado adequadamente tem custos operacionais e de manutenção baixo, tornando o sistema com uma boa relação custo-benefício e com um bom retorno do investimento.
- Maior eficiência em altitudes elevadas, pois recebem uma maior quantidade de radiação solar.

As desvantagens da utilização de sistemas fotovoltaicos são:

- Custo elevado na aquisição e instalação.
- O sistema exige certas práticas de conservação de energia, evitando desperdícios de energia para aumentar a economia de energia, resultando na necessidade de um sistema menor e mais barato.

O fator que se deve levar em consideração sobre os sistemas FV, são as questões de segurança e ambiental em torno do mesmo, e deve ser compreendido que caso sejam fabricados adequadamente, projetados e instalados são mais seguros para as pessoas e o meio ambiente (BALFOUR, 2016). Cada sistema FV possui seus componentes conforme a necessidade do local, fatores ambientais, e os mais tradicionalmente os sistemas incluem:

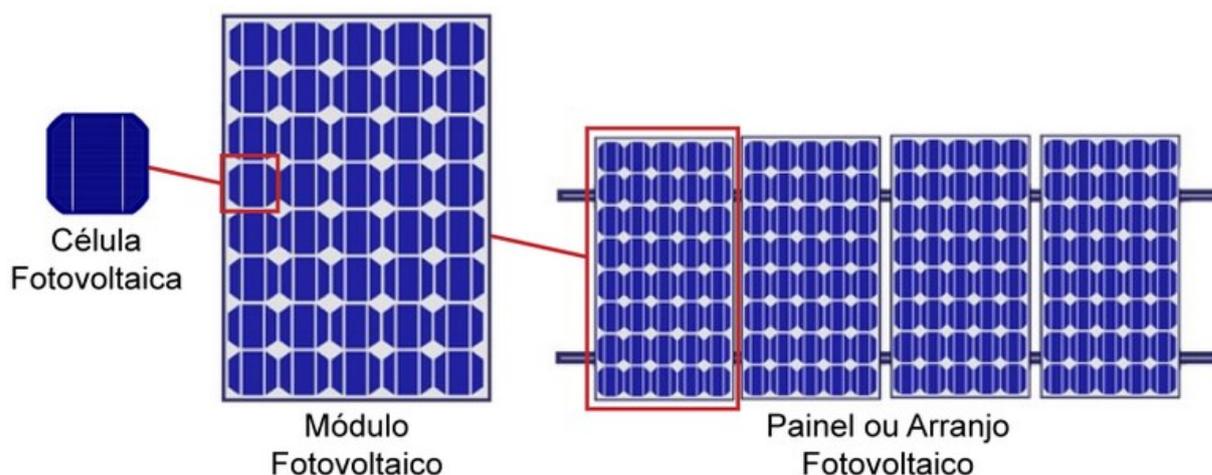
- **O recurso solar** – Sol se torna a fonte de energia de todos os sistemas FV.
- **Células fotovoltaicas** – materiais semicondutores que reagem à luz solar, criando tensão e corrente.
- **Módulo** – consistem em várias células ligadas em série e em paralelo, para fornecer tensões e corrente.
- **Painel** – São utilizados intercaladamente com o módulo.
- **Matriz** – A matriz consiste em vários painéis ligados em série e paralelas, a matriz normalmente é presa a uma estrutura de montagem.
- **Bateria** – Dispositivo para armazenamento de energia elétrica de corrente direta, é útil até para sistemas que são ligados a rede de distribuição de energia elétrica, afim de evitar a falta de energia no caso de blecaute de energia.

- **Inversor** – Dispositivo encarregado de converter energia de corrente contínua para corrente alternada, para ser utilizada em eletrodomésticos, eletrônicos e outros dispositivos.
- **Controlador de carga** – regula, carrega e mantém a tensão da bateria.
- **Carga elétrica** – São os dispositivos e eletrodomésticos que utilizam a energia gerada pelo sistema FV. As cargas podem ser corrente contínua ou alternada, podem existir os tipos em um mesmo sistema FV.
- **Cabeamento** – Inclui os fios, conhecidos também como condutores, eles conectam todos os componentes do sistema formando o circuito.
- **Protetor contra surtos** – Dispositivo que protege o sistema contra choques elétricos causados por curtos-circuitos e contra danos por oscilações de energia.

2.3.1 Módulo Solar

As células solares são definidas como um material semicondutor tratado que converte radiação solar em eletricidade, de modo geral são menores que uma polegada quadrada (Figura 3). A tensão e corrente geradas nessas células dependem do tipo de tecnologia que foram fabricadas, do tamanho e do projeto de aplicação. Um grupo de células conectadas leva o nome de módulo solar ou painel solar. Os módulos ou painéis FV estão disponíveis no mercado em vários tamanhos, tensões e correntes DC (BALFOUR, 2016).

Figura 3. Diferença entre célula e módulo fotovoltaico.

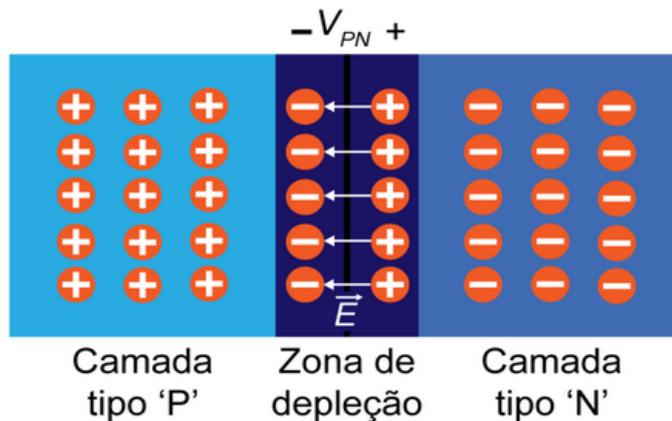


Fonte: eletronicadepotencia.com

2.3.2 Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica

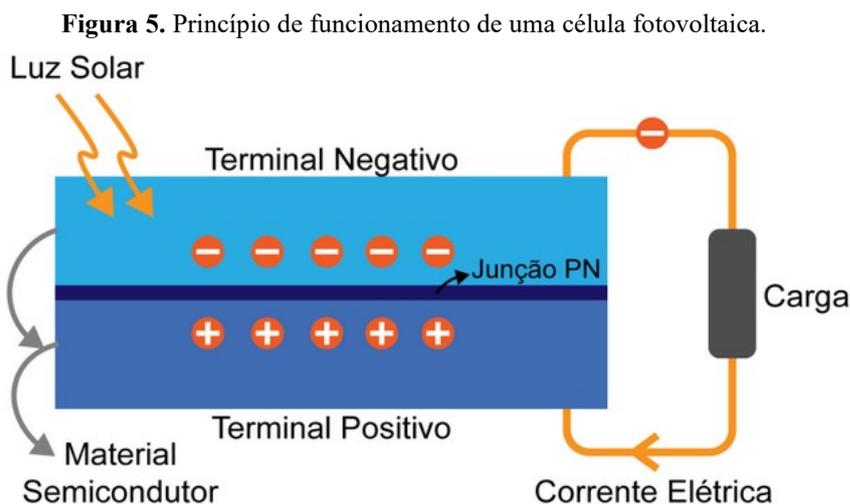
As células fotovoltaicas são constituídas de semicondutores dopadas negativamente e positivamente, formando as junções P-N (Figura 4). Essas junções são separadas por uma região de depleção que aparece devido à recombinação de elétrons e lacunas. O acúmulo de cargas positivas na camada de tipo N e de cargas negativas na camada tipo P geram um campo elétrico, e conseqüentemente uma diferença de potencial (V). Essa tensão se torna uma verdadeira barreira impedindo a circulação de elétrons entre os dois materiais (MORAIS, 2020).

Figura 4. Junção P-N em uma célula fotovoltaica de silício.



Fonte: MORAIS, 2020.

O deslocamento de elétrons da camada N para a camada P só haverá caso recebam uma certa quantidade de energia de um meio externo, no caso de células fotovoltaicas essa energia é proveniente dos fótons presentes na luz solar (Figura 5). Quando acontece a excitação dos elétrons os mesmos passam da camada de valência para a camada de condução, assim por meio de um circuito elétrico que conecta a camada positiva à negativa, surge um fluxo de elétrons denominada corrente elétrica que se mantém enquanto incidir luz na célula (MORAIS, 2020).



Fonte: MORAIS, 2020.

2.3.2 Estimativa de Rendimento Energético do Sistema

O rendimento de um sistema FV muda conforme o ângulo que o sol se encontra e à quantidade de radiação disponível ao longo do dia, a geração de energia se inicia ao nascer do sol, chegando ao seu ápice de rendimento ao meio-dia quando o sol se encontra na posição mais alta do céu e vai diminuindo conforme o pôr do sol vai se aproximando até a produção chegar a zero durante a noite.

A inclinação e a direção para qual o conjunto esteja posicionado também afetam o rendimento do sistema. É necessário realizar uma análise da região a ser instalada o sistema para buscar a melhor inclinação e posição para obter a maior captação anual da radiação solar disponível (BALFOUR, 2016).

2.3.3 Orientação e Inclinação do Módulo

A energia solar apresenta variações ao longo do dia, do ano e do lugar considerado, além da Terra realizar movimentos de rotação em relação ao seu eixo com um ângulo de $23^{\circ} 27'$, ela percorre uma órbita elíptica ao redor do sol em movimento de translação, formando os equinócios e os solstícios (Figura 6). Os equinócios da primavera e do outono possuem as durações iguais para o dia e para a noite, logo quando no hemisfério norte tem-se o equinócio da primavera, no Sul se tem o de outono. Já nos solstícios ocorre o contrário no inverno os dias são mais curtos e as noites mais longas e no verão ocorre o inverso, devido a Terra se encontrar no máximo de afastamento do Sol (VIAN, 2021).

Figura 6. Translação da Terra.

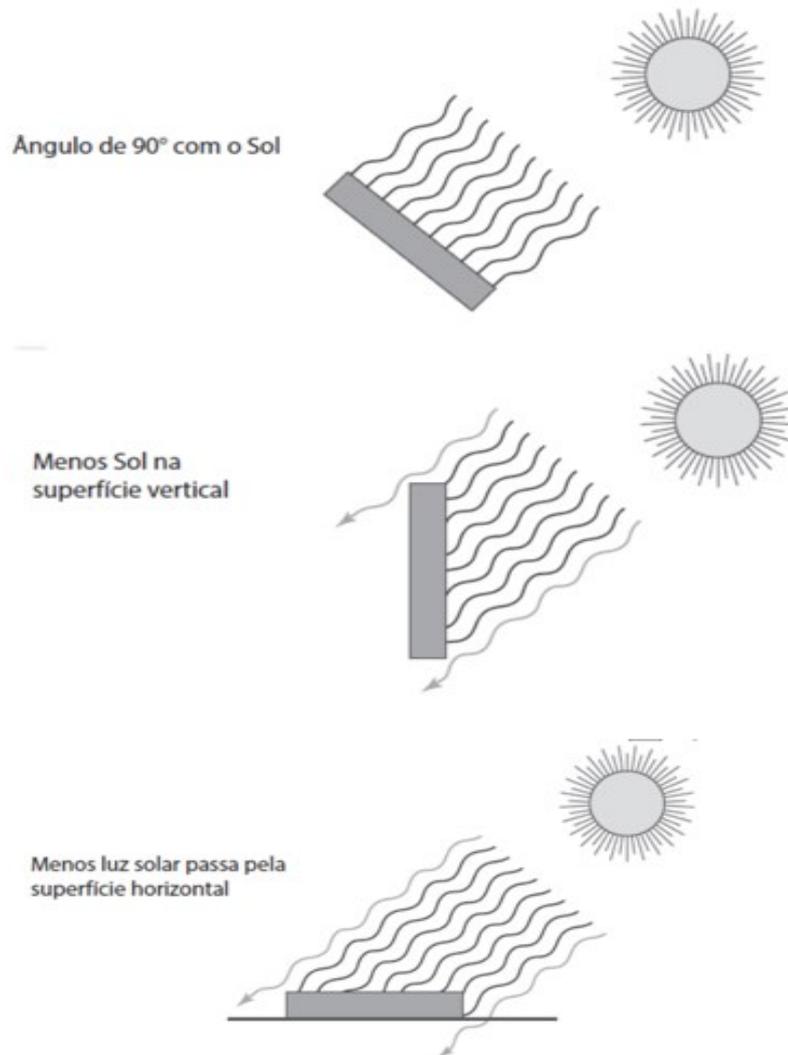


Fonte: VIAN, 2021.

Fatores que interferem na irradiação recebida pelo receptor: posição geográfica, estação do ano e dia, hora do dia, posição do coletor, condições locais e o mais importante as condições climáticas e meteorológicas que além da presença de nuvens, a umidade e a densidade do ar local têm grande influência na irradiação, por exemplo, no deserto a irradiações são muito maiores que em uma floresta tropical (VIAN, 2021).

Os painéis solares devem ser montados em uma posição perpendicular aos raios solares (Figura 7), o posicionamento horizontal no primeiro momento parece ser a melhor posição a ser utilizada na busca da melhor produção de energia, mas na verdade a posição faz com que o acúmulo de sujeira e resíduos seja maior dificultando a autolimpeza dos módulos em épocas chuvosas (NETO & CARVALHO, 2012).

Figura 7. Absorção solar com base na inclinação do módulo.



Fonte: NETO & CARVALHO, 2012, p.85.

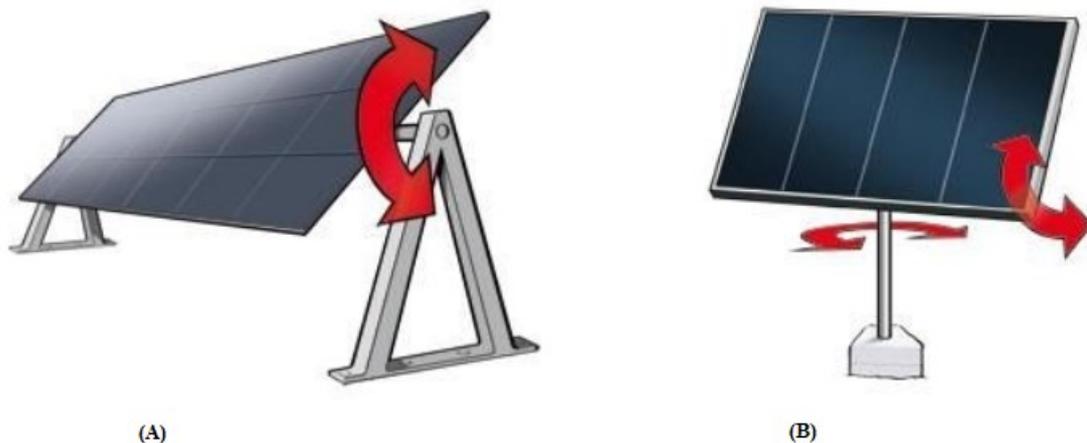
2.3.4 Avaliação do Sítio Solar

A energia FV não é economicamente viável em todas as situações, deve ser feita uma avaliação do sítio solar, devem ser feitas considerações locais, como microclima, as sombras e a área do terreno, pois as mesmas são diferentes em cada local e mesmo que sejam parecidas não podem ser consideradas inteiramente iguais, e o fator econômico também deve ser considerado nessa tomada de decisão (BALFOUR, 2016).

2.3.5 Sistema com rastreamento solar

De modo geral as estruturas de sustentação dos módulos fotovoltaicos são construídas utilizando materiais como madeira, aço galvanizado ou alumínio, além disso essas estruturas podem ainda estar munidas no arranjo dispositivos de orientação do painel segundo a movimentação do sol (Figura 9). Esse rastreamento pode ser parcial com a movimentação em torno de apenas um eixo (A) ou total utilizando a movimentação em dois eixos (B). A utilização de tais dispositivos contribui no aumento da energia gerada pelo painel fotovoltaico (REIS, 2017).

Figura 8. Sistemas fotovoltaicos com rastreamento.



Fonte: energes.com.br

Os sistemas de rastreamento que movimentam os módulos para seguir a radiação melhoram os níveis de rendimento energético dos módulos, só que existe o conflito entre o desempenho mais elevado e os custos de operação e manutenção mais altos (BALFOUR, 2016).

2.4 Arduino

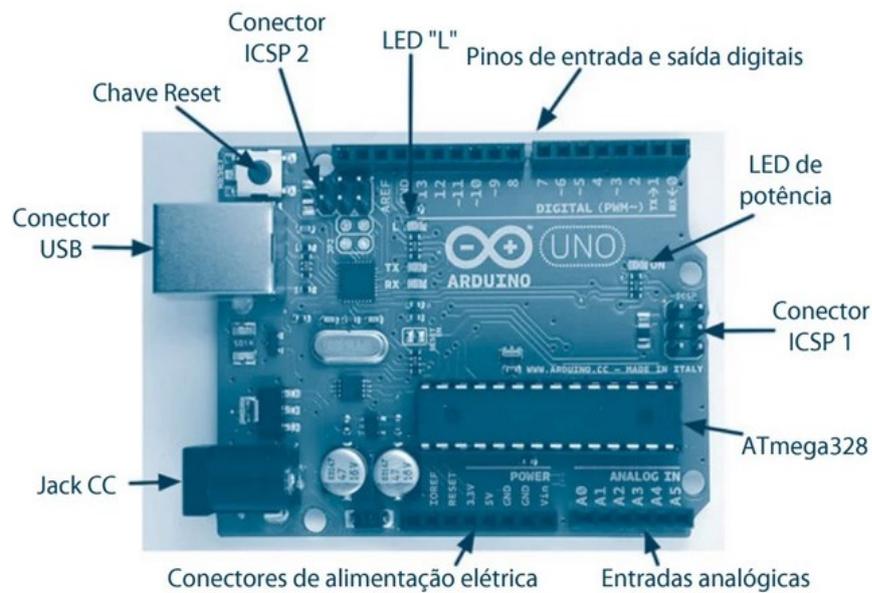
O Arduino é uma plataforma *open source* que pode ser programada utilizando uma linguagem de programação similar a C/C#, utiliza o microcontrolador Atmel AVR, tornando a elaboração de projetos eletrônicos acessível a pessoas com um conhecimento mínimo ou

nenhum de eletrônica. O principal objetivo de sua criação foi para fornecer uma plataforma de prototipagem fácil, fazendo a conexão entre hardware e software conhecida como computação física. Computação física é a área da computação em que o software se comunica diretamente com o *hardware*, permitindo construir sistemas que interajam com o ambiente real, utilizando componentes eletrônicos como sensores e atuadores (OLIVEIRA, 2015).

2.4.1 Arduino Uno

Na Figura 10 temos o Arduino Uno que é uma das versões mais comuns e mais utilizadas por iniciantes. O Arduino funciona como um microcomputador, possui processador ATmega328, memória RAM de 2 KB, memória *flash* de 32 KB e velocidade de *clock* de 16 MHz.

Figura 9. Arduino Uno.



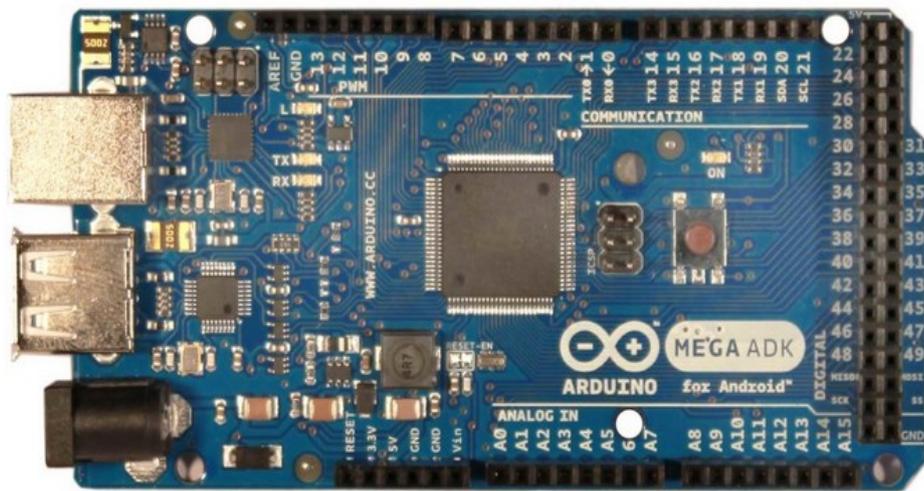
Fonte: MONK, 2014, p. 28.

O modelo UNO possui 14 pinos que podem ser usados como entradas ou saídas digitais, os pinos A0 a A5 são referentes às entradas analógicas, já o pino 3,3V, 5V e GND (terra) ficam encarregados de alimentar os componentes eletrônicos conectados a placa Arduino (JR. & SILVA, 2015).

2.4.2 Arduino Mega ADK

O Arduino MEGA ADK (Figura 11) é uma das várias versões disponíveis no mercado para utilização, ele funciona do mesmo modo que o Arduino Uno, e possui um microcontrolador 2560, 256kb de memória, 54 portas digitais e dessas portas 15 PWN, que são portas que permitem o controle dos dispositivos, como a rotação de um motor ou a intensidade de uma lâmpada, sua tensão de trabalho é de 5 Vdc e tensão de alimentação de 7-12 Vdc.

Figura 10. Arduino Mega ADK.



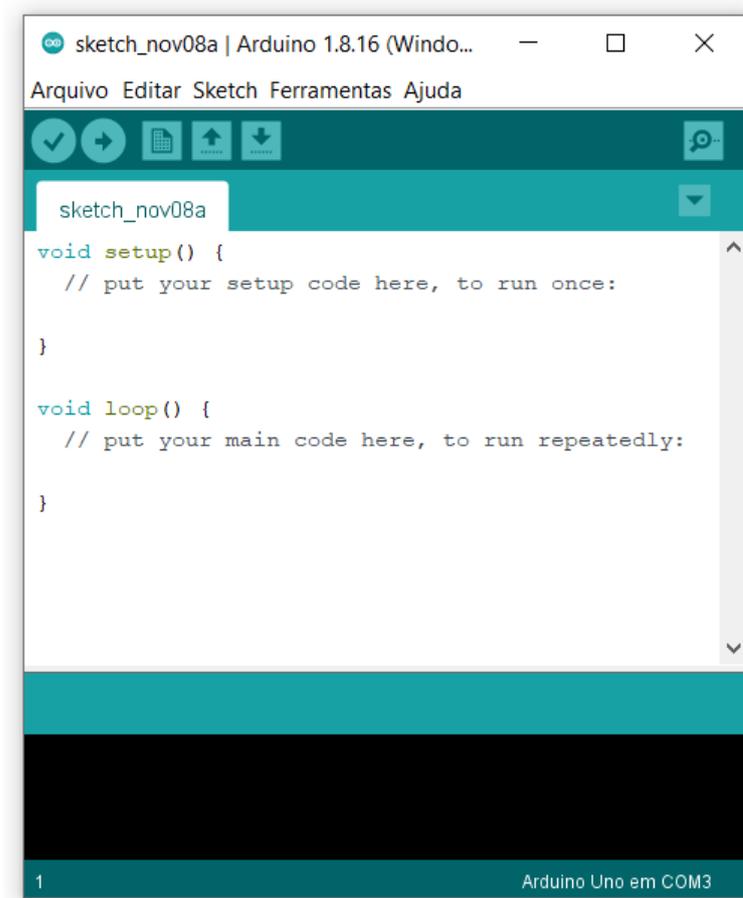
Fonte: www.athoseletronics.com.

2.4.3 Programação e Ambiente de Desenvolvimento Integrado

A plataforma Arduino, assim como qualquer dispositivo programável utiliza uma linguagem de programação. Pode-se entender de maneira simples que uma linguagem de programação é um conjunto de comandos que dará instruções para um computador ou qualquer dispositivo programático. A linguagem utilizada no Arduino é a linguagem orientada a objetos C++, as soluções para um problema computacional devem ser pensadas pelo programador e descritas em uma linguagem de programação, e isso recebe o nome de algoritmo. Por meio da linguagem o programador consegue definir como os dados serão tratados, armazenados e manipulados pelo computador, toda essa organização e regras são chamados de código fonte. Quando o algoritmo está pronto o mesmo é traduzido para uma linguagem de mais baixo nível, uma linguagem de máquina que pode ser compreendida e executada pelo processador, tudo isso é desenvolvido utilizando um Ambiente de

Desenvolvimento Integrado (IDE). Os códigos fonte utilizados no Arduino são chamados de *sketch*, a Figura 12 apresenta o IDE do Arduino, interface bastante simples e intuitiva para o usuário, todos os programas feitos são transferidos para a Placa Arduino pela conexão USB. (OLIVEIRA, 2015).

Figura 11. Arduino IDE: Ambiente de Desenvolvimento.



Fonte: Autor.

Estrutura de um *sketch*:

- **void setup ()**: utilizada para as configurações iniciais do programa Arduino, como os pinos que serão utilizados e qual será seu modo de uso sendo de entrada (INPUT) ou saída (OUTPUT). Os comandos nessa parte são executados apenas uma vez no início do programa.
- **void loop ()**: como a palavra mesmo diz *loop* no português ciclo, o programa é executado repetidamente enquanto a placa estiver ligada ou o botão resete seja pressionado, começando da primeira linha até a última refazendo esse processo sucessivamente.

2.5 Eletrônica Básica

A lei de Ohm está ligada aos conceitos de tensão, corrente e resistência, a tensão pode ser compreendida com a energia potencial armazenada em uma pilha ou bateria que irá circular no circuito quando o mesmo for fechado (Figura 13), dessa maneira podemos concluir que corrente elétrica será a movimentação das cargas através de um condutor (OLIVEIRA & ZANNETTI, 2015).

Figura 12. Sentido da corrente Elétrica.

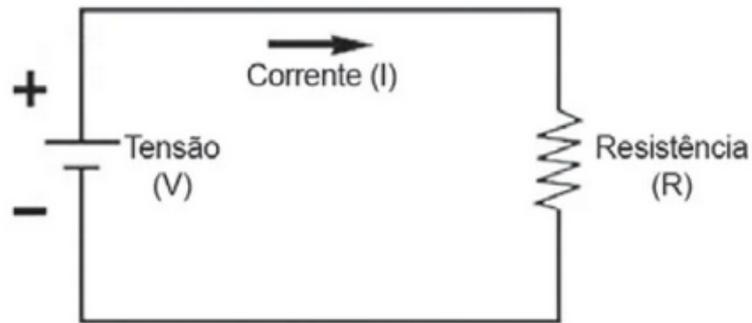


Fonte: OLIVEIRA & ZANNETTI, 2015.

- **Sentido real:** Tem esse nome devido ao que realmente ocorre no circuito elétrico em termos da física onde o movimento de cargas negativas vai da menor para a de maior potencial.
- **Sentido convencional:** O sentido convencional é mais utilizado para fins didáticos e para facilitar o entendimento dos conceitos, onde o movimento das cargas positivas vai do polo de maior potencial para o de menor.

Os circuitos eletrônicos são divididos em circuitos de corrente contínua e corrente alternada. Aqueles que possuem uma fonte de energia contínua como pilhas e baterias ou qualquer outro elemento que forneça um polo (+) e outro negativo (-) como ilustrado na Figura 14 são classificados como um sistema de corrente contínua.

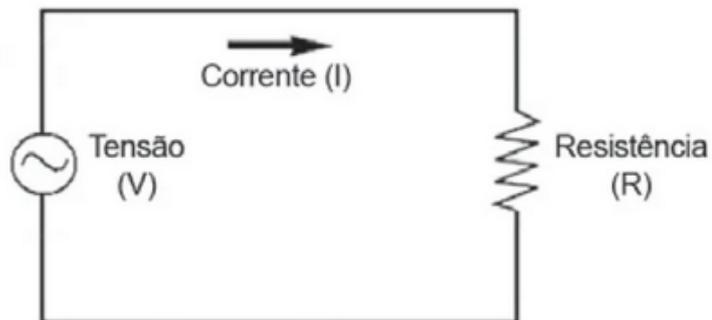
Figura 13. Circuito de corrente contínua.



Fonte: OLIVEIRA & ZANETTI, 2015.

Os circuitos de corrente alternada (Figura 15), podemos usar como exemplo as tomadas residenciais, que possuem uma alimentação de 110V ou 220V.

Figura 14. Circuito de corrente alternada.



Fonte: OLIVEIRA & ZANETTI, 2015.

Fica estabelecido na Lei de Ohm a relação entre Tensão (V), Corrente (I) e Resistência (R) é dada pela Equação (3):

$$I = V/R \quad (3)$$

A unidade de medida para tensão é volts (V), a corrente em amperes (A) e a resistência em ohm (Ω). E com isso ainda podemos calcular a potência elétrica P, encontrada em qualquer parte do circuito (SOUZA, ROCHA, SOUZA, 2018). A potência é encontrada utilizando a seguinte Equação (4):

$$P = V * I \quad (4)$$

$P =$ Potência Elétrica (Watt)

Um circuito eletrônico possui vários componentes, cada um com sua função distinta, a seguir.

2.5.1 Resistores

Os resistores (Figura 16) possuem a função de controlar a corrente elétrica, evitando que certos componentes recebam uma tensão ou corrente maior do que são capazes de suportar evitando assim que sejam danificados (OLIVEIRA & ZANETTI, 2015).

Figura 15. Resistor.



Fonte: OLIVEIRA & ZANETTI, 2015.

2.5.2 Capacitores

Os capacitores (Figura 17) são componentes capazes de armazenar energia para uma utilização rápida, diferente das pilhas que levam um tempo para utilizar toda sua energia os capacitores descarregam toda sua carga em uma pequena fração de segundo para executar alguma funcionalidade, como por exemplo o flash de uma câmera (OLIVEIRA & ZANETTI, 2015).

Figura 16. Capacitores.



Fonte: OLIVEIRA & ZANETTI, 2015.

2.5.3 Diodo

O diodo (Figura 18) por ser um semicondutor tem a capacidade de garantir que corrente flua em apenas um sentido.

Figura 17. Diodo.



Fonte: OLIVEIRA & ZANETTI, 2015.

2.5.4 Semicondutores

De acordo com Oliveira & Zanetti (2015):

Os semicondutores são elementos que apresentam características elétricas entre condutores e isolantes, ou seja, podem alternar o seu comportamento de condutor para isolante e vice-versa. Podemos entender como materiais isolantes aqueles que não permitem a passagem de corrente elétrica, como por exemplo, a madeira ou o plástico. Por outro lado, materiais condutores são aqueles que possibilitam a passagem de corrente elétrica quando é aplicada uma diferença de potencial.

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento do sistema e a construção do modelo foram realizadas no Centro Tecnológico da Faculdade Evangélica de Goianésia (Figura 27), situada no município de Goianésia.

Figura 18. Faculdade Evangélica de Goianésia.



Fonte: Google Earth.

O município de Goianésia (Figura 28) está localizado na região do Vale do São Patrício aos 15°19'1" de latitude sul e 49°7'1" de longitude oeste, distante de Goiânia (capital do Estado) 176 quilômetros, de Anápolis 140 quilômetros e de Brasília (capital federal) aproximadamente 208 quilômetros.

Figura 19. Goianésia/Goiás.



Fonte: Google.

3.1 Componentes do Projeto

3.1.1 Jumpers

As conexões entre a placa Arduino e os componentes são realizadas por meio de *jumpers cable* que são representados na (Figura 19). São pedaços de fios metálicos que permitem a conexão tanto da *proto board* com os componentes eletrônicos quanto com o Arduino (OLIVEIRA & ZANETTI, 2015).

Figura 20. *Jumpers* (fêmea – fêmea)



Fonte: www.mercadolivre.com

3.1.2 Sensor de Tensão

O módulo de sensor de tensão (Figura 20), foi utilizado para registrar as tensões de geração dos sistemas. A tensão de operação deste dispositivo é 0 – 25 VDC.

Figura 21. Sensor de Tensão Dc 0-25V.

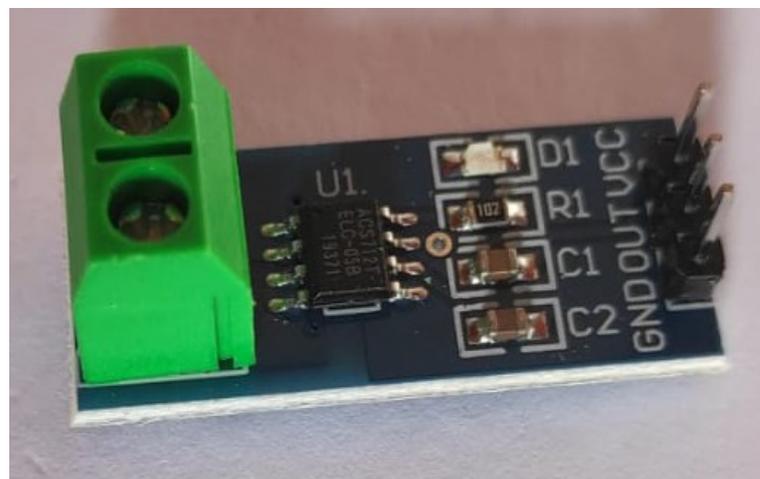


Fonte: Autor.

3.1.3 Sensor de Corrente

O módulo de sensor de corrente utilizado foi o Acs712 (Figura 21), que realiza medições de corrente de forma precisa, detectando o campo magnético gerado pela passagem de corrente e gerando uma saída no pino *out*, o mesmo trabalha com a leitura de corrente contínua.

Figura 22. Sensor de Corrente.

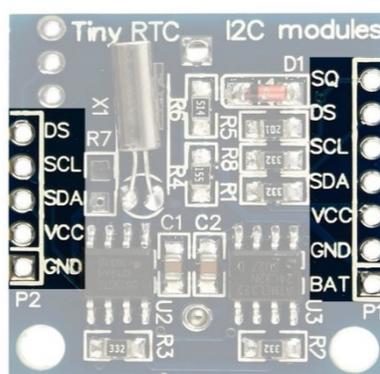


Fonte: Autor.

3.1.4 Relógio de Tempo Real

O módulo de Relógio de Tempo Real (do inglês *Real Time Clock - RTC*) DS1307 tem como sua função principal armazenar informações sobre horas, minutos, segundos, dias, meses e anos, a base de seu funcionamento o chip RTC DS1307 que possui uma alta precisão, capaz de gerenciar todas as informações de cronometragem através de uma interface I2C simples de dois fios, podendo ser facilmente conectada um microcontrolador (Figura 22). Possuindo 7 pinos, 5 deles são utilizados para comunicação sendo que os mesmos são duplicados para facilitar sua utilização e instalação (STRAUB, 2019).

Figura 23. Módulo RTC



Fonte: www.UsinaInfo.com

- **SQ** - Pino que fornece uma frequência de onda quadrada de 1Hz, 4kHz, 8kHz ou 32kHz que pode ser utilizado através de programação.
- **DS** – Pino disponível para leitura de temperatura.
- **SCL e SDA** – Pinos de comunicação I2C que tem a função de enviar e receber dados em conjunto com o microcontrolador.
- **VCC e GND** – Pinos de alimentação de 3,3 ou 5V.
- **BAT** - Entrada para célula de lítio de 3V ou outra fonte de alimentação de mesma tensão para manutenção dos dados caso haja problema com a alimentação via pino ou bateria.

O módulo RTC também possui uma entrada para bateria de 20 mm compatível com qualquer bateria de lítio 3V do tipo CR2032, que continua mantendo a contagem de tempo do dispositivo mesmo em uma possível falta de energia do sistema alternando para o uso da bateria pelo automaticamente (STRAUB, 2019).

3.1.5 Display LCD

O display LCD, 130X130 pixels com a interface de comunicação SPI, que permite criação de animações, gráficos e texto (Figura 23).

Figura 24. Display LCD TFT 1.6" 130X130.



Fonte: Autor.

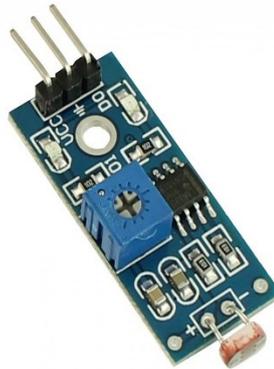
Especificações do Display *LCD TFT 1.6" 130X130*:

- Display TFT LCD 1,6”;
- Controlador: SSD1283A;
- Resolução: 130x130 pixels;
- Tensão de Operação: 3.3 à 5VDC;
- Ângulo de visão: > 60°;
- Tensão máxima pinos de sinal: 5V;
- Interface: SPI;
- Intensidade de cores: 65 mil;
- Consumo de energia: 100mW (ligado) / 10mW (desligado);
- Dimensões: 35.4 x 53.82 x 1.6 mm;
- Dimensões da Tela: 28.86 x 28.86 mm.

3.1.6 Sensor de Luminosidade LDR

O módulo Sensor de Luminosidade LDR (Figura 24) tem como principal componente um Resistor Dependente de Luz (do inglês *Light Dependent Resistor* - LDR), quanto maior a incidência de luz LDR, menor será sua resistência. Ele é constituído de um semicondutor de alta resistência, que ao receber os fótons oriundos da luz ele absorve elétrons que melhoram sua condutividade, reduzindo assim sua resistência (STRAUB, 2020).

Figura 25. Módulo Sensor de Luminosidade LDR.

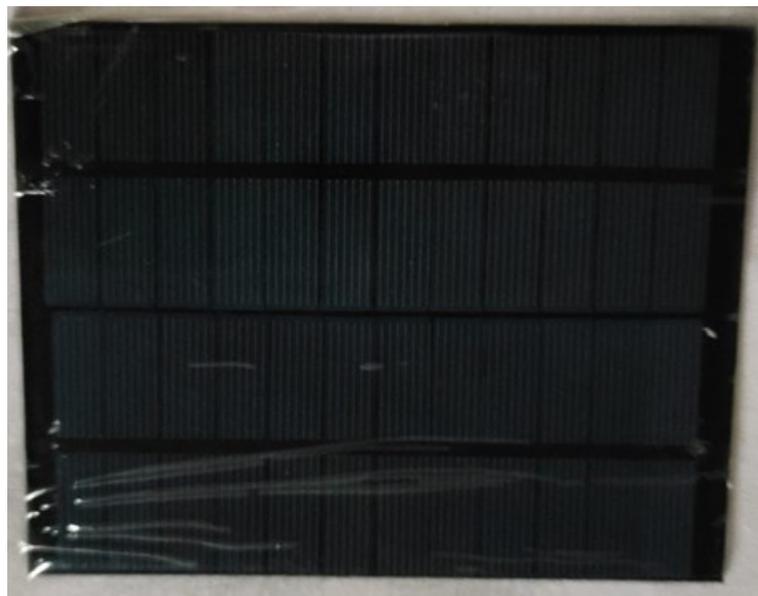


Fonte: usinainfo.com

3.1.7 Módulo Solar

Mini módulo solar de silício policristalino de dimensões 110 x 136 mm (Figura 25), o módulo possui uma tensão de 12V e corrente de 500 mA.

Figura 26. Mini módulo solar de 12V e 500mA.



Fonte: Autor.

3.1.8 Servo motor

O servo é um motor com sistema de *feedback*, que auxilia no controle de posição do motor. Os servos normalmente giram 180 graus, graças a biblioteca Servo.h, que acompanha a biblioteca do Arduino, e é facilmente possível controlar os servos. Seu funcionamento se dá por meio do recebimento de um sinal de controle, onde passam a verificar a posição atual, buscando sempre a posição desejada (MCROBERTS, 2011).

Figura 27. Servo motor 9g SG90 180 graus.



Fonte: usinainfo.com.

3.1.9 Valores gastos no projeto

Todos os gastos para elaboração do projeto são detalhados na Tabela 5.

Tabela 1. Orçamento do projeto.

Material	Valor da Unidade R\$	Total de Unidades	Valor Total R\$
Placa ADK	135	1	135
Servo Motor	20	2	40
Sensor LDR	12	4	48
Módulo Solar	34	2	68
Parafusos	5	1	5
Fonte 12V	25	1	25
Estrutura MDF	100	1	100
Fita Dupla Face	10	1	10
Módulo RTC	25	1	25
Pilha	15	1	15
Jumpers	30	1	30
Display LCD	50	1	50
Lâmpada 12V	10	2	20
Soquete	15	2	30
Sensor de Tensão	15	2	30

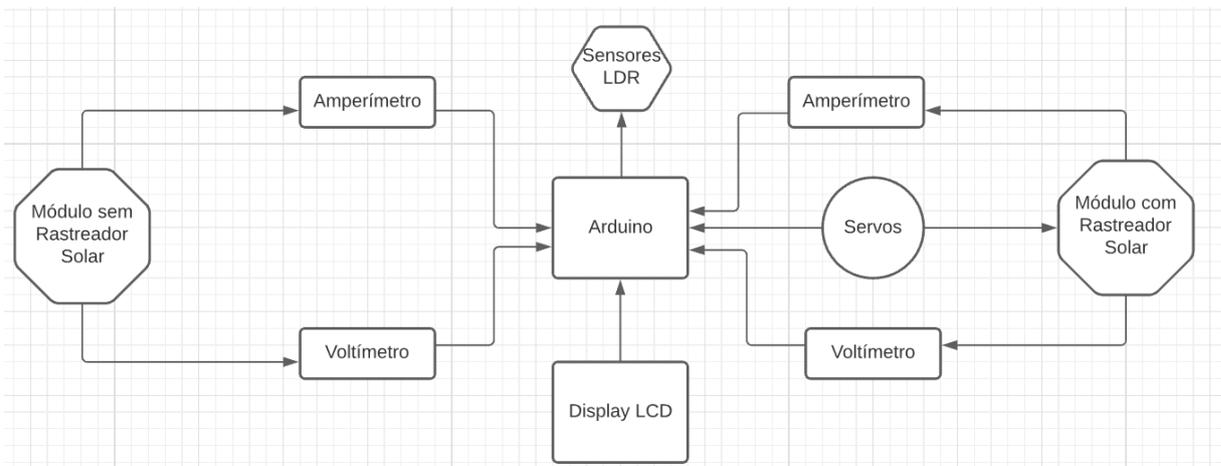
Sensor de Corrente	25	2	50
Protoboard	20	1	20
Fio Elétrico	5	1	5
Total			706

Fonte: Autor.

3.2 Desenvolvimento do Projeto

Foram projetados dois modelos de sistemas para captação da energia solar com a utilização de painéis fotovoltaicos (Figura 25). Um sistema foi projetado buscando informações de orientação e inclinação da nossa região para montagem do sistema fotovoltaico fixo. Também, foi projetado um sistema automatizado, utilizando a plataforma prototipagem Arduino, com o auxílio de servos motores para movimentação tanto verticalmente como horizontalmente da placa fotovoltaica e sensores LDR para definir a direção que há mais incidência de luz.

Figura 28. Fluxograma do Projeto feito na plataforma *Lucidchart*.

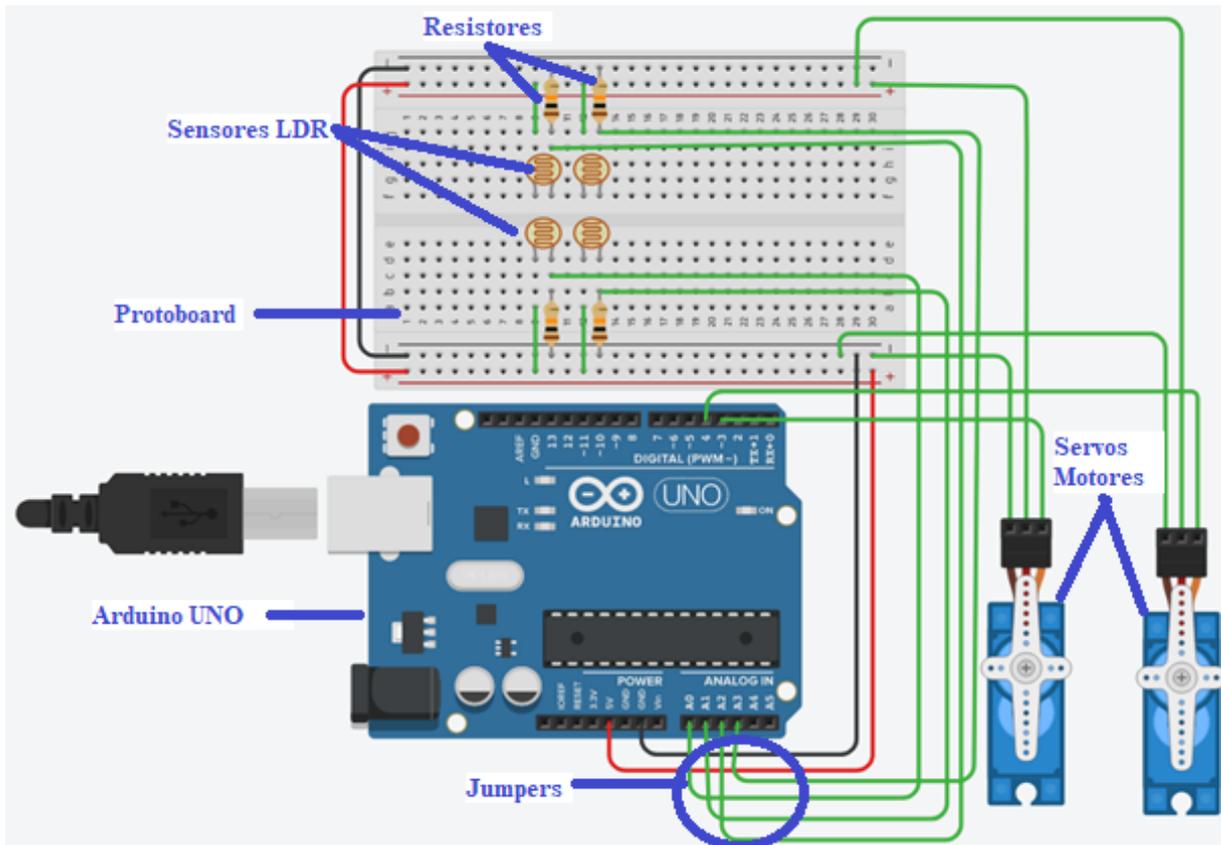


Fonte: Autor, 2021.

3.3 Projeção e Teste do Circuito Elétrico

O circuito eletrônico (Figura 30) foi projetado inicialmente na plataforma online *Tinkercad*. Para a realização dos testes das ligações e funcionamento de todos os componentes do projeto, foi criado o algoritmo inicial associado ao circuito eletrônico para testar a interação dos sensores LDR com os servos motores.

Figura 29. Circuito eletrônico feito no tinkercad para teste do modelo.



Fonte: Autor.

3.4 Desenvolvimento do código fonte

3.4.1 Servo Motor

Na configuração dos servos motores foi declarado o ângulo inicial de ambos os servos, a fim de que os mesmos estivessem voltados para a direção do nascer do sol buscando a maior obtenção de raios solares quando o sistema se inicializasse, e foram definidos também os ângulos limites de movimentação tanto para o servo horizontal quanto para o servo vertical (Figura 31).

Figura 30. Configuração dos Servos Motores.

```

//Definindo os Servos

Servo ServoHorizontal;
int servoh = 0;
int servohLimitHigh = 160;
int servohLimitLow = 20;

Servo ServoVertical;
int servov = 0;
int servovLimitHigh = 160;
int servovLimitLow = 20;

```

Fonte: Autor, 2021.

3.4.2 Sensor de Luminosidade

Foram declarados os 4 sensores de luminosidade, e programado para que o Arduino recebesse esses valores (Figura 32) e retornasse na tela de execução do Arduino para ser efetuado a verificação do funcionamento dos mesmos. O comando *analogRead* lê o valor de luminosidade captado pelo LDR.

Figura 31. Código para ler o sinal fornecido pelos LDR.

```

//capturando os valores analógicos de cada LDR
int L1 = analogRead(ldr1);
int L2 = analogRead(ldr2);
int L3 = analogRead(ldr3);
int L4 = analogRead(ldr4);

```

Fonte: Autor, 2021.

3.4.3 Rastreamento solar

Para o modelo conseguir se localizar na melhor posição para a obtenção dos raios solares durante sua operação, foram definidas as médias da luminosidade captada pelos LDR da parte horizontal superior e inferior (Figura 33) para o posicionamento do servo vertical, e a média vertical esquerda e direita para movimentação do servo horizontal.

Figura 32. Definição das variáveis de média para funcionamento do rastreador solar.



$LDR\ 01 + LDR\ 02 = MÉDIA\ SUPERIOR$
 $LDR\ 03 + LDR\ 04 = MÉDIA\ INFERIOR$
 $LDR\ 01 + LDR\ 03 = MÉDIA\ VERTICAL\ ESQUERDA$
 $LDR\ 02 + LDR\ 04 = MÉDIA\ VERTICAL\ DIREITA$

Fonte: Autor, 2021.

Para a movimentação dos servos foi criado uma função que com base nos valores de luminosidade incidida nos LDR, provocasse a movimentação dos servos se movimentem até que os valores de luminosidade se igualassem. Tudo isso foi feito com base nas médias (Figura 34) diminuindo ou aumentando os ângulos, se mantendo dentro dos limites de ângulo estabelecidos na configuração dos servos.

Figura 33. Função para movimentação do servo vertical.

```

if (MediaSuperior < MediaInferior)
{
  servov++;
  if (servov > servovLimitHigh)
  {
    servov = servovLimitHigh;
  }
  ServoVertical.write(servov);
  delay(50);
}
else if (MediaInferior < MediaSuperior)
{
  servov--;
  if (servov < servovLimitLow)
  {
    servov = servovLimitLow;
  }
  ServoVertical.write(servov);
  delay(50);
}
else
{
  ServoVertical.write(servov);
}

```

Fonte: Autor, 2021.

3.5 Montagem dos modelos

3.5.1 Montagem dos módulos solares

Para a utilização dos dois módulos fotovoltaicos foi realizada a soldagem dos fios de energia na placa solar, utilizando um ferro de solda. Foi utilizado fio de estanho para realizar a emenda, e na Figura 35 são exibidos os pontos do positivo e negativo, onde foi efetuada a soldagem dos fios.

Figura 34. Pontos negativo e positivo do módulo solar.

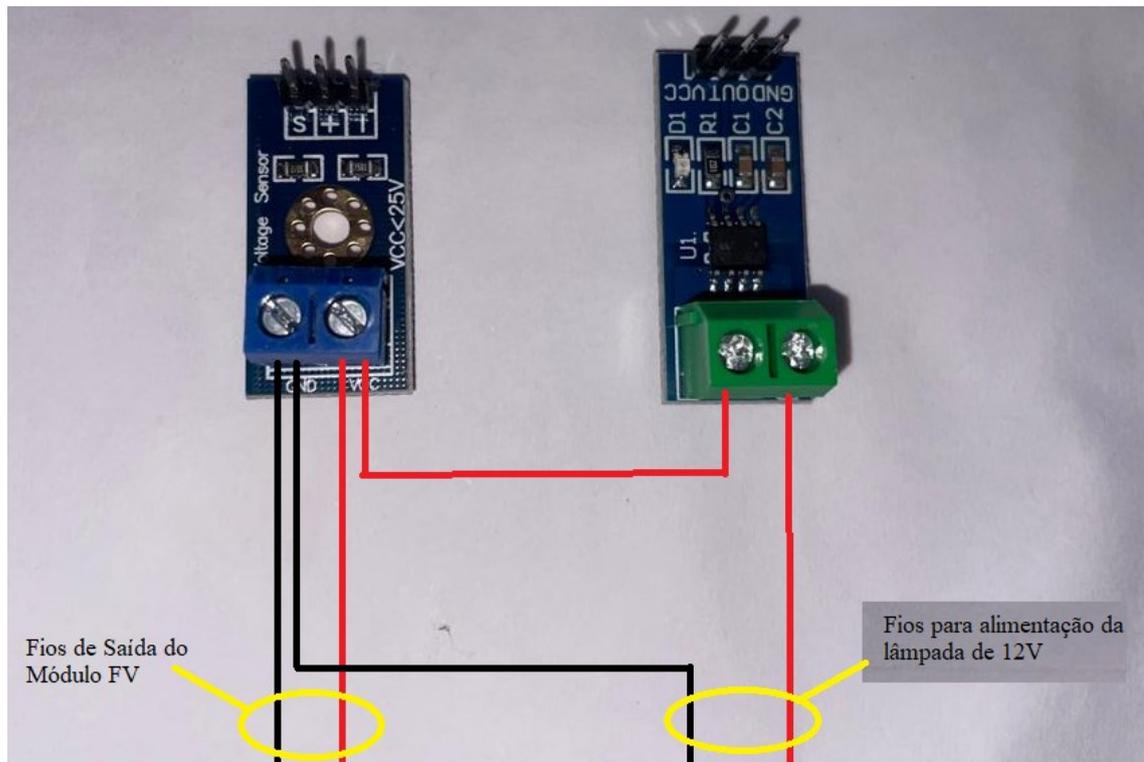


Fonte: Autor, 2021.

3.5.2 Ligação dos Sensores de Tensão e Corrente

A ligação dos sensores de tensão e corrente foi feita em série com a placa solar. A Figura 36 demonstra como foram feitas as conexões elétricas dos componentes, o fio na cor preta representa o GND (terra), já o fio na cor vermelha representa o fio positivo (VCC) no circuito.

Figura 35. Conexão Elétrica dos Sensores de tensão e corrente.



Fonte: Autor.

Devido ao sistema fotovoltaico trabalhar com uma corrente contínua, foi necessária a instalação de uma carga para consumir a potência gerada pelos modelos. Foi feita a aquisição de 2 lâmpadas led de 12V (Figura 37) para consumir a energia gerada.

Figura 36. Lâmpada led 12V.

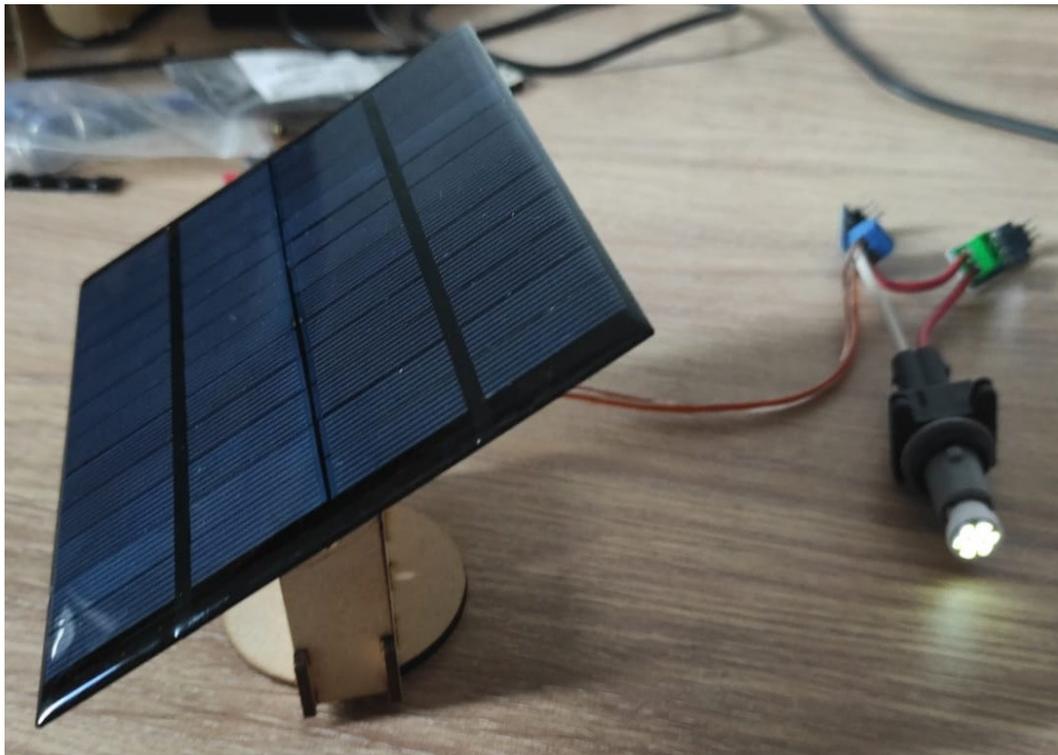


Fonte: Autor.

3.5.3 Sistema Fotovoltaico Fixo

Com base em informações adquiridas no site da CRESESB chegamos à definição da direção e do ângulo com maior aproveitamento anual que seria utilizado no sistema fixo (Figura 38). A orientação definida foi para o Norte devido nossa localização estar abaixo da linha do equador, e foi determinada a inclinação de 18° , devido a sua média de geração anual ser a melhor possível.

Figura 37. Modelo de obtenção fixo.

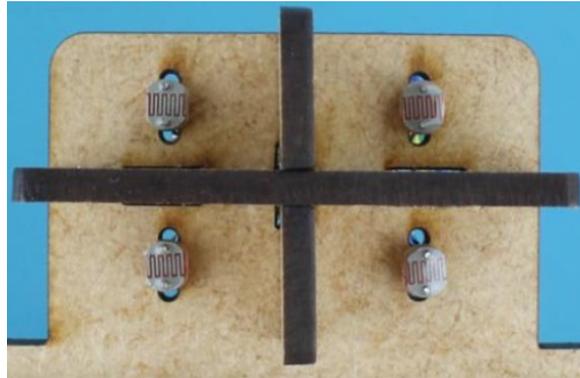


Fonte: Autor.

3.5.4 Sistema Fotovoltaico com Rastreamento Solar

Todas as conexões do projeto foram feitas com a utilização de uma *protoboard*, que facilitou a conexão entre todos os componentes para a execução de testes no processo de montagem. A placa Arduino utilizada foi a Mega ADK, devido ao seu processador possuir uma maior taxa de processamento e também devido a sua maior disponibilidade de portas, visto que o projeto utiliza uma grande quantidade de componentes. Foram utilizados 4 sensores LDR, que foram separados por abas para o desenvolvimento de sombras, como é demonstrado na Figura 39, sendo assim possível verificar a quantidade da captação de luz em cada direção.

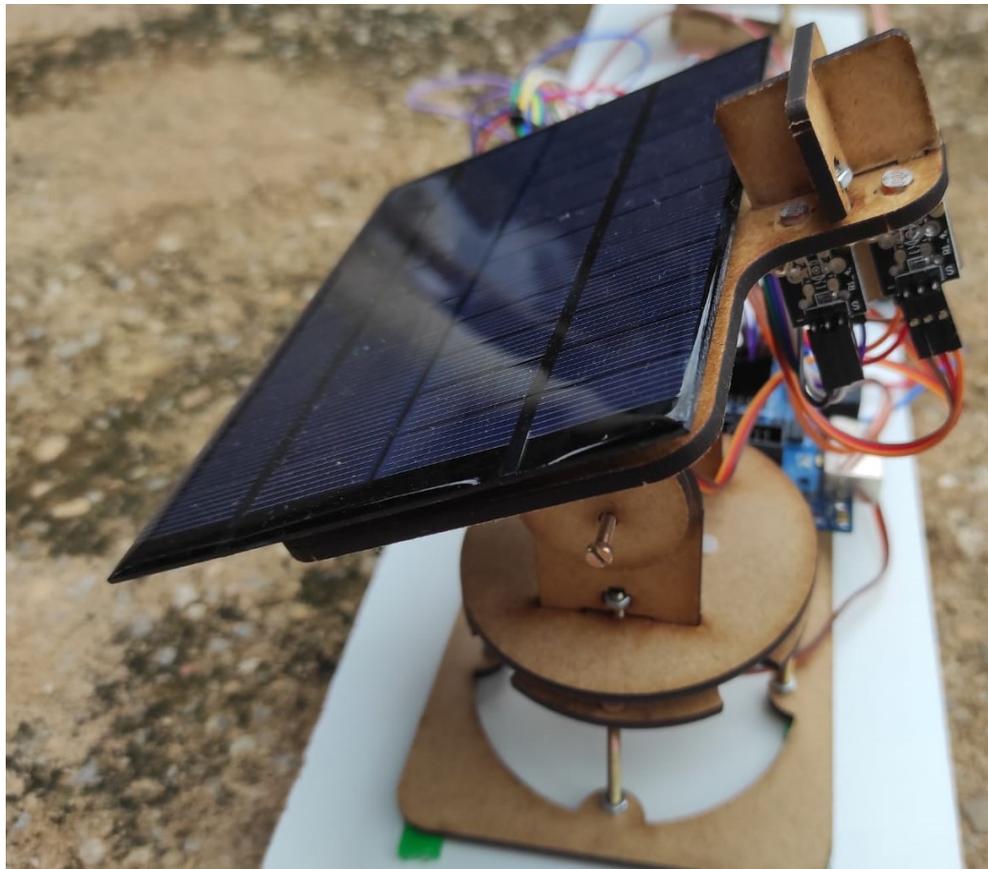
Figura 38. Local de instalação dos LDR com abas de sombreamento.



Fonte: Autor.

Foram instalados 2 servos motores para se obter a movimentação do modelo em dois eixos, tanto verticalmente como horizontalmente. Os valores coletados de luminosidade pelos LDR são enviados para a placa Arduino, que retorna o comando para os dois servos motores, que modulam o sistema fazendo com que o modelo com rastreamento (Figura 40) sempre busque a posição com maior captação de luz.

Figura 39. Modelo com seguidor.



Fonte: Autor.

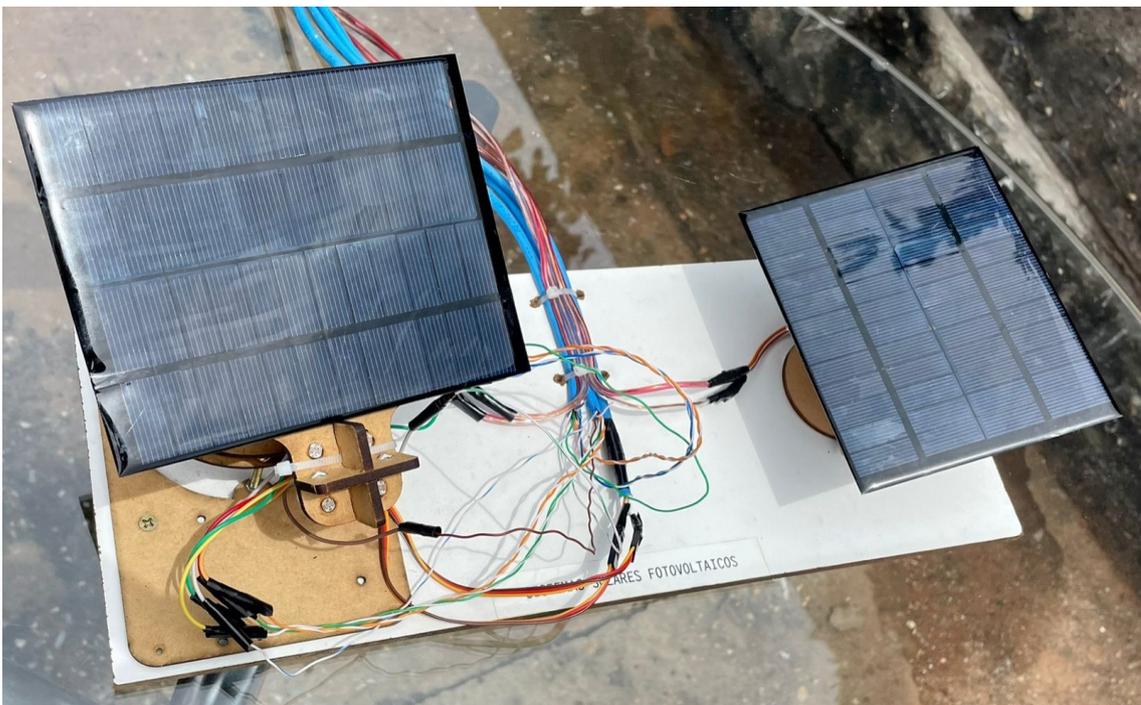
Devido a que os módulos solares (Figura 41) não conseguem gerar a quantidade necessária de energia para o funcionamento do Arduino e dos servos motores, utilizamos uma fonte de 12V (Figura 41) para manter energizado o Arduino e seus componentes.

Figura 40. Fonte 12V.



Fonte: Autor.

Figura 41. Sistemas fotovoltaicos.

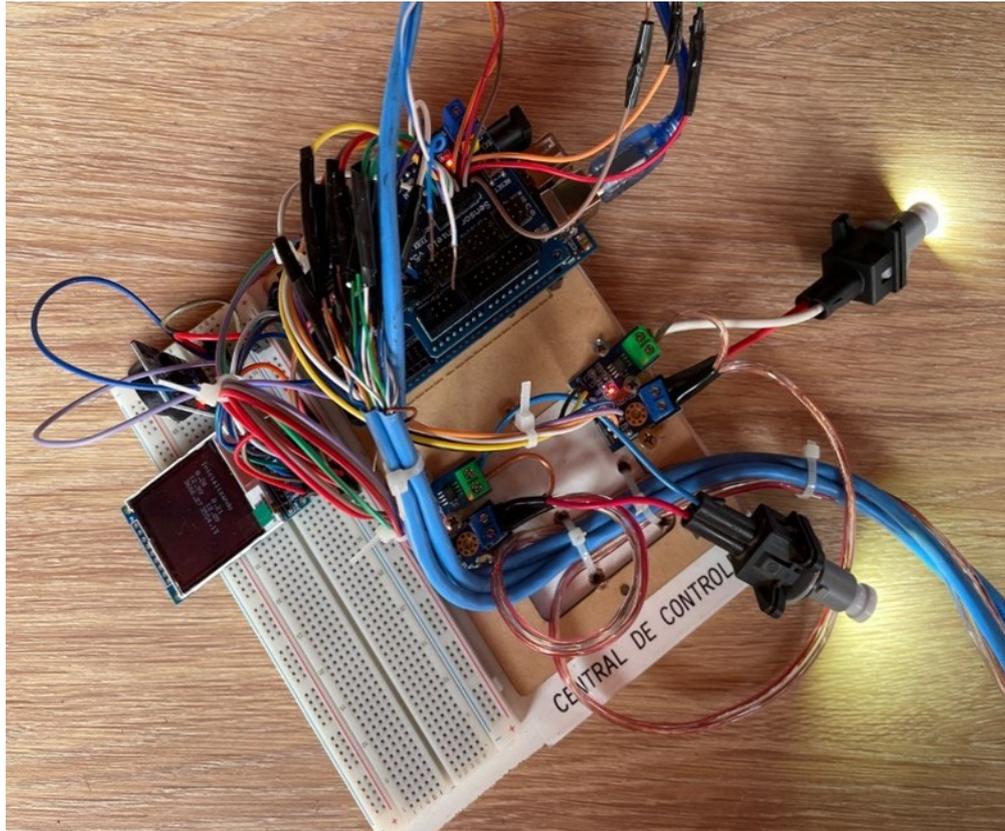


Fonte: Autor, 2021.

3.5.5 Central de Controle

Foi decidido montar a central de controle (Figura 43) afastada dos sistemas fotovoltaicos, deixando o Arduino fora de riscos decorrentes do sol e chuva, e assim facilitar a operação do sistema possibilitando uma maior quantidade de horas seguidas de testes.

Figura 42. Central de Controle.



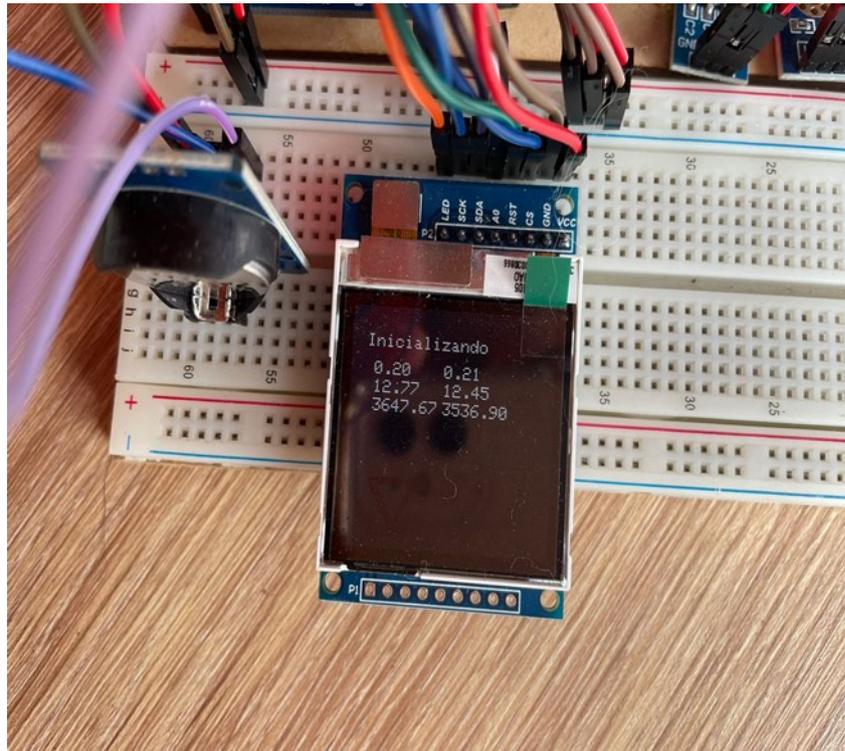
Fonte: Autor.

3.6 Cálculo da Energia Gerada por Sistema

A metodologia para o cálculo da energia gerada por cada sistema foi feita com base nos valores fornecidos pelos sensores de tensão instalados em cada sistema, e também dos sensores Acs712 que ficaram encarregados de registrar a corrente.

Para o cálculo da potência gerada em cada placa solar foi feita a coleta das leituras de tensão e de corrente em ambos os modelos simultaneamente, e então efetuado o cálculo por meio da Equação 4. O *display* LCD (Figura 43) foi configurado para exibir os valores de tensão, corrente e o somatório das potências calculadas a cada segundo, para a obtenção dos valores de geração em Watts/hora de ambos os sistemas em tempo real.

Figura 43. *Display* com as informações de tensão e corrente.



Fonte: Autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teste dos modelos

Nesta etapa foram feitos os testes de todos os componentes de ambos os modelos, verificando se havia algum componente com falha em sua operação. Foram realizados vários testes do algoritmo já associado aos componentes e assim observar se a medição das potências e do rastreamento solar estariam funcionando normalmente.

4.1.1 Ajustes nos servos motores

Foi necessário alterar o código fonte para restringir os movimentos dos servos motores e deste modo não comprometer seu funcionamento. Optamos por permitir a movimentação do servo horizontal iniciando em 0° chegando no máximo a 180 ° (Figura 45), pois devido a trajetória do sol não haveria problema para o modelo.

Figura 44. Código restringindo movimentação servo horizontal.

```
Servo ServoHorizontal;  
int servoh = 0;  
int servohLimitHigh = 180;  
int servohLimitLow = 0;
```

Fonte: Autor, 2021.

Para o servo vertical os ângulos de operação definido foi de 40 ° inicial, e chegando no limite máximo de movimentação de 110 ° (Figura 46), para evitar um possível *bug*, devido os sensores LDR ficarem localizados em cima na parte superior da placa caso o ângulo de liberdade fosse muito alto o risco de esmagamento dos cabos gerando erro na operação.

Figura 45. Código restringindo movimentação do servo vertical.

```
Servo ServoVertical;  
int servov = 0;  
int servovLimitHigh = 110;  
int servovLimitLow = 40;
```

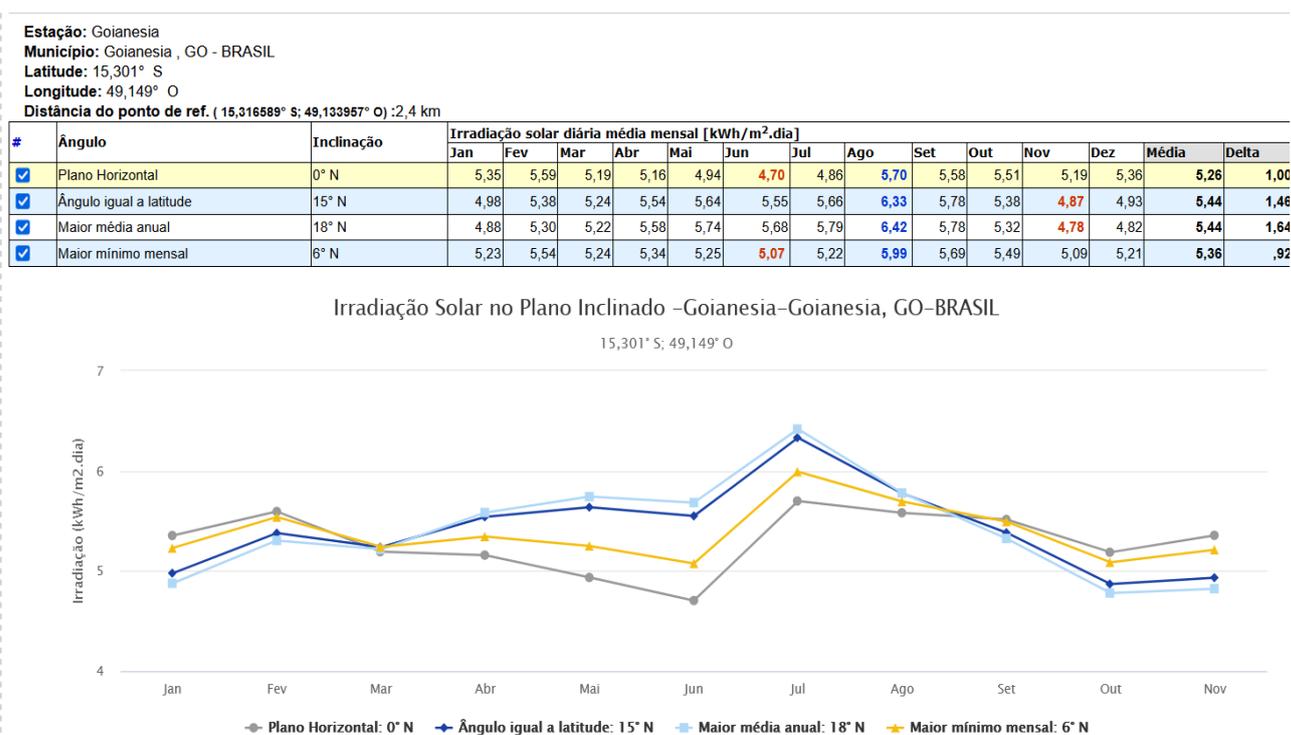
Fonte: Autor, 2021.

Durante os testes percebeu-se que o servo vertical apresentava defeito em seu funcionamento, havia engrenagens com dentes quebrados não permitindo a movimentação do servo, chegando ao ponto do superaquecimento do mesmo, portanto o servo foi substituído.

4.2 Captação de energia fotovoltaica

Para a obtenção de dados sobre a irradiação solar da cidade de Goianésia-GO, foi feita uma busca no banco de dados da CRESESB (Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito), a figura 47 contém as médias da irradiação solar mensal diária em kWh/m² de todos os meses do ano.

Figura 46. Irradiação solar Goianésia-GO.

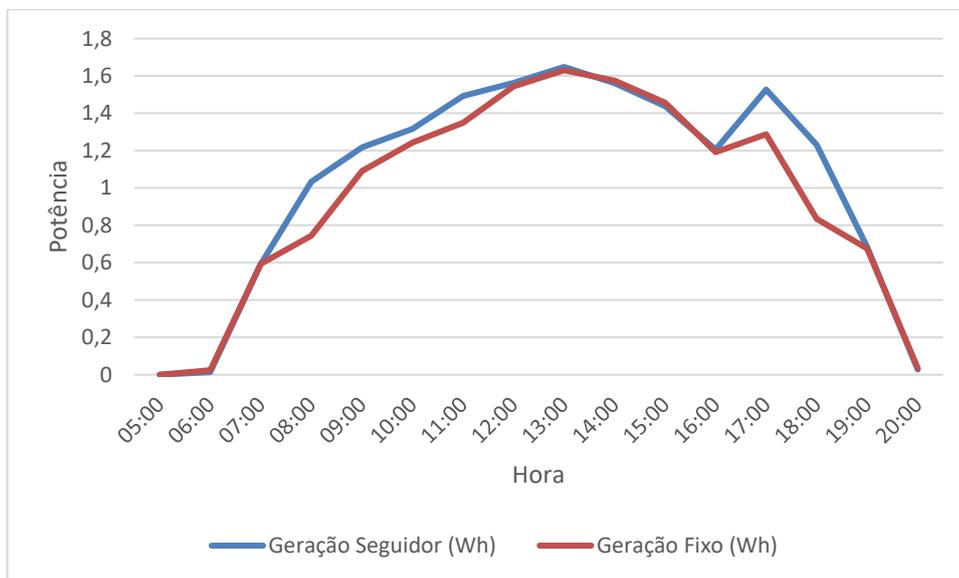


Fonte: CRESESB, 2022.

É possível observar que a taxa de irradiação varia durante o ano todo, fazendo com que a orientação dos módulos solares sempre fique para o Norte devido a nossa região se encontrar abaixo da linha do equador, já o ângulo de inclinação deve-se adotar o que forneça a melhor média de captação anual, com base nesses dados pode-se identificar que a orientação do módulo definida seja para o Norte e a inclinação de 18 graus, pois fornece o maior rendimento anual para a nossa região.

Depois de várias mudanças na estrutura dos modelos e no algoritmo para otimizar o funcionamento dos sistemas fotovoltaicos, iniciamos os testes no dia 04 de fevereiro de 2022 às 05:00. Para o registro dos dados gerados pelo sistema, optou-se por registrar a temperatura ambiente, tensão, corrente, valores LDR's, posição dos servos e a potência já calculada. Importante observar que as potências de ambos sistemas foram registradas a cada segundo, formando o somatório das mesmas em cada hora de operação, fornecendo a totalização das potências de hora em hora. O ângulo adotado para o sistema fixo foi 18° orientado para o Norte.

Gráfico 1. Geração de Energia dia 04/02 em função do tempo pelos sistemas.



Fonte: Autor, 2022.

Observando o Gráfico 1 é possível notar que a geração de energia se iniciou às 06h da manhã, a geração se manteve igual em ambos os sistemas até às 07h. A partir desse horário o sistema com seguidor se beneficiou da posição voltada para o nascer do Sol para obter uma melhor eficiência, comparado com o sistema fixo. O sistema com seguidor seguiu com uma maior geração de energia até às 12h, quando os dois sistemas mantiveram os mesmos níveis de geração novamente, quando o sol se encontrava no centro de seu percurso. Ficou perceptível que houve uma diferença considerável entre os sistemas a partir das 16h, quando o sistema com seguidor começa a se privilegiar da movimentação e assim aumentar a eficiência em sua geração.

A geração de energia teve fim às 19h e o modelo seguiu em funcionamento até as 20h do dia, as temperaturas registradas durante o dia 04 de fevereiro foram, mínima 21,5 °C e máxima de 38,5 °C.

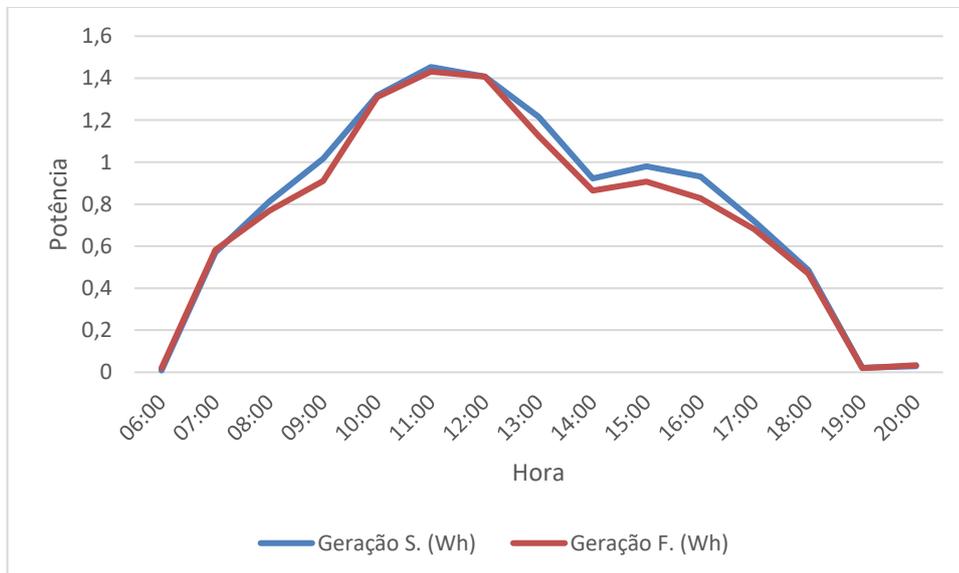
Tabela 2. Tabela de Geração em (Wh) dos sistemas no dia 04/02.

Medição	Módulo com rastreador	Módulo fixo
Média da Potência Dia (Wh)	1,27	1,17
Ganho em Potência (%)	8,54%	
Potência Total Dia (W)	16,56	15,27

Fonte: Autor, 2022.

O fator temperatura e o baixo fluxo de ar tem uma influência negativa sobre a tensão e no rendimento dos painéis solares, atualmente acredita-se que os dados publicados da geração de energia em dias com temperaturas elevadas, são insuficientes para apoiar o uso de temperaturas ambientes para determinação do real desempenho dos sistemas (BALFOUR, 2016).

Gráfico 2. Geração de Energia dia 05/02 em função do tempo pelos sistemas.



Fonte: Autor, 2022.

Dados capturados no dia 05 de fevereiro, a geração foi satisfatória na parte da manhã e após as 12h a geração sofre uma queda considerável ao longo do período da tarde, a geração no dia 05 foi a menor em comparação com os outros dias de teste em ambos os sistemas, simultaneamente foi o dia com a maior média de temperatura, mínima 23,75 °C a 33,8 °C.

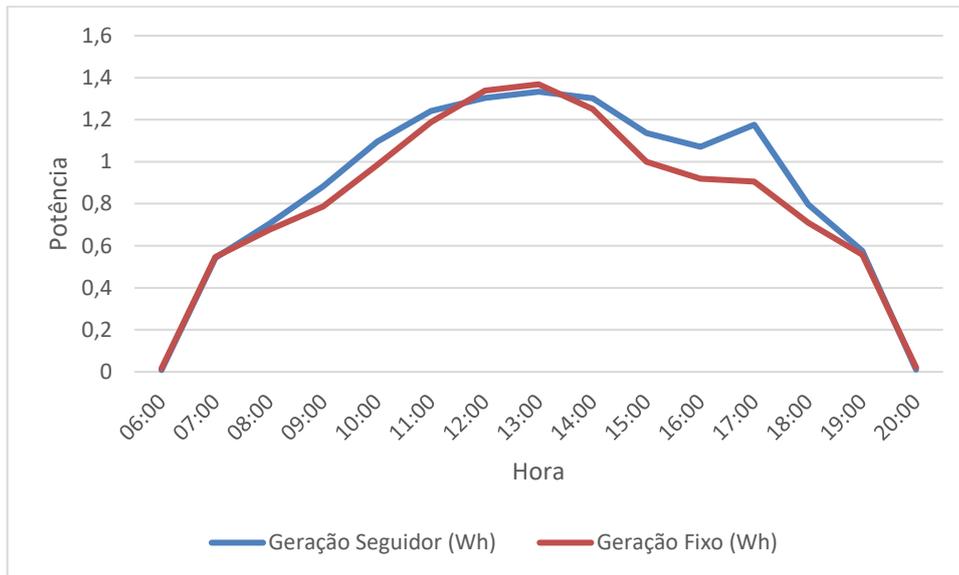
Tabela 3. Tabela de geração em (Wh) dos sistemas no dia 05/02.

Medição	Módulo com rastreador	Módulo fixo
Média da Potência Dia (Wh)	0,99	0,94
Ganho em Potência (%)	4,8	
Potência Total Dia (W)	11,89	11,36

Fonte: Autor, 2022.

Foram iniciados os testes do dia 06/02/2022 às 05:00 novamente, seguindo os mesmos procedimentos utilizados nos primeiros dias de teste. O gráfico de geração seguiu o mesmo padrão dos dias anteriores, com a geração se iniciando as 06h. O rendimento do dia foi superior ao calculado ao dia 05/02, chegando ao rendimento de 7,54% comparado com o sistema fixo. As temperaturas do dia 06, mínima 23,25 °C e máximo de 30,25 °C.

Gráfico 3. Geração de Energia dia 06/02 em função do tempo pelos sistemas.



Fonte: Autor, 2022.

Tabela 4. Tabela de geração em (Wh) dos sistemas no dia 06/02.

Medição	Módulo Rastreador	Módulo Fixo
Média da Potência Dia (Wh)	1,01	0,94
Ganho em Potência (%)	7,54	
Potência Total Dia (W)	13,18	12,27

Fonte: Autor.

Um ponto a ser observado é que o modelo com rastreamento no período em que foi realizado os testes pouco utilizou a movimentação horizontal. A utilização em dois eixos talvez seria mais viável se projetada para objetos em movimento, como carros ou navios.

Tabela 5. Tabela de estimativa de geração média nos dias de teste.

Sistema Fotovoltaico	Média Geração Diária (W)	Geração Mês (W)
Fixo	12,96	388,98
Seguidor	13,87	416,28

Fonte: Autor.

Estimando uma média dos dias de análise, o sistema fotovoltaico com seguidor ganharia uma vantagem teoricamente de 6,96 % de eficiência, comparado com o sistema fixo, totalizando no mês uma diferença de 27,3 W de potência. Caso os mesmos valores fossem comparados com uma placa fotovoltaica de 400 W, a diferença seria de 5,4 kW/mês. Garantindo uma economia de 5 reais, considerando o preço do kW de 0,925 reais.

5 CONCLUSÃO

A estrutura mecânica montada do sistema fotovoltaico fixo, embora seja simples foi projetada seguindo a orientação e ângulos que forneceriam a melhor eficiência durante o ano e funcionou de acordo com os critérios adotados na elaboração do projeto.

O que pôde ser concluído mediante a observação do funcionamento do sistema fotovoltaico com rastreamento, é que mesmo com um baixo custo de montagem tanto na parte estrutural quanto na eletrônica, foi possível um funcionamento adequado mesmo em dias nublados onde ocorria apenas radiação difusa, oferecendo bons resultados na sua geração de energia. Foi feito o acompanhamento durante o dia, e sempre que existia um valor significativo de radiação direta o sistema fez o acompanhamento do sol de acordo com o esperado, e se mantinha imóvel quando existia apenas a radiação difusa igualando sua geração com o sistema fixo, obtendo perdas mínimas no seu desempenho.

Foi realizado a captação dos dados de geração e funcionamento de todos os dispositivos durante todo o período de testes, optamos por registrar os valores das potências geradas a cada segundo, fechando o somatório a cada hora para mensurar a geração mais próxima do real de cada sistema.

Após todos os testes realizados, já com todos os dados de geração de ambos os modelos foi constatado uma melhor eficiência do modelo com rastreamento comparado com o sistema fixo tradicional, com essa estimativa de rendimento girando em torno de 6%, vale ressaltar que o sistema fixo foi montado seguindo as melhores condições possíveis de inclinação e orientação para sua eficiência, o que levando em consideração com uma residência normal, tais parâmetros nem sempre serão possíveis.

Para trabalhos futuros e cabível testes com um sistema de movimentação em apenas 1 eixo, verificando a eficiência do mesmo comparado com um sistema de movimentação em dois eixos, verificando se o investimento é viável, buscar fazer os testes por longos períodos de tempo afim de melhorar a qualidade dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALFOUR, John, Introdução ao Projeto de Sistemas Fotovoltaicos. 1 ed. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2016.

BERGMAN, Theodore L., Incropera – Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

ENTENDA COMO FUNCIONA O SEGUIDOR SOLAR (TRACKER), ENERGÊS, 2021. Disponível em:< <https://energes.com.br/seguidor-solar-tracker/>>. Acesso em: 06, fev. 2022.

Google Earth. Disponível em:<<https://earth.google.com/web/@-15.31676258,-49.11932559,651.47533549a,10712.95077651d,35y,0h,0t,0r>>. Acesso em: 19 dez. 2021.

HINRICHS, Roger. A; KLEINBACH, Merlin; Energia e meio ambiente. Estados Unidos, EUA: Cengage Learning, 2015.

JR., Sérgio Luiz S., SILVA, Rodrigo A., Automação e Instrumentação Industrial com Arduino. 1 ed. São Paulo: Érica, 2015.

MCROBERTS, Michael, Arduino Básico. 1 ed. São Paulo: Novatec, 2011.

MME. Ministério Minas e Energia. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/>>. Acesso em: 16 dez. 2021.

MONK, Simon, 30 Projetos com Arduino. 2 ed. São Paulo: Grupo A, 2014.

MORAIS, Caio. Célula Fotovoltaica: Tudo que você precisa saber. Eletrônica de potência, 2020. Disponível em: <<https://eletronicadepotencia.com/celula-fotovoltaica/>>. Acesso em: 18 dez. 2021.

MOTA, Allan. Sensor de Luz com LDR. Vida de Silício, 2017. Disponível em <portal.vidadesilicio.com.br/sensor-de-luz-com-ldr/>. Acesso em 03 dez. 2021.

NETO, R. M. B., & CARVALHO, P., Geração de Energia Elétrica – Fundamentos. 1 ed. São Paulo: Érica, 2012.

OLIVEIRA, Cláudio L. V., & ZANETTI, Humberto A. P., Arduino Descomplicado – Como elaborar Projetos de Eletrônica. 1 ed. São Paulo: Érica, 2015.

PHILIPPI, Arlindo; REIS, Lineu Belico, Energia e Sustentabilidade. 1 ed. São Paulo: Manole, 2016.

POTENCIAL SOLAR, CRESESB, 2014. Disponível em:<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#localidade_20304>. Acesso em: 05, fev. 2022.

REIS, Lineu Belico dos, Geração de energia elétrica. 3 ed. São Paulo: Manole, 2017.

SANTOS, Marco Aurélio dos (org.), Fontes de Energia Nova e Renovável. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

SOUZA, Giancarlo. D.; ROCHA, Murilo. Fraga. D.; SOUZA, Diogo. Braga. da. C.; Medidas em engenharia elétrica. São Paulo, SP: SAGAH EDUCAÇÃO S. A., 2018.

STRAUB, Matheus Gebert, rastreador solar com arduino- um seguidor solar através de LDR. Usinainfo, 2020. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/blog/rastreador-solar-com-arduino-um-seguidor-solar-atraves-de-ldr/>>. Acesso em: 16 nov. 2021.

VIAN, Ângelo, Energia Solar. 1 ed. São Paulo: Blücher, 2021.

TIPOS DE ARDUINO – QUAL ARDUINO ESCOLHER. **Athos Eletronics**. Disponível em: <<https://athoselectronics.com/qual-arduino-comprar/>>. Acesso em: 27/12/2021.