



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA
AFRO-BRASILEIRA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIAS**

NICOLAS VIEGAS DA COSTA

**DESENVOLVIMENTO DE UM VEÍCULO ELÉTRICO MOVIDO A ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA ACOPLADO A UM SISTEMA DE RASTREAMENTO SOLAR E
ARDUINO**

REDENÇÃO

2021

NICOLAS VIEGAS DA COSTA

DESENVOLVIMENTO DE UM VEÍCULO ELÉTRICO MOVIDO A ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA ACOPLADO A UM SISTEMA DE RASTREAMENTO SOLAR E ARDUINO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de Energias
do IEDS da Universidade da Integração
Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira,
como requisito parcial à obtenção do grau de
bacharel em Engenharia de Energias.

Orientador: Prof. Dr. Sabi Yari Moïse
BANDIRI

REDENÇÃO

2021

*Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.*

Costa, Nicolas Viegas da.

C837d

Desenvolvimento de um veículo elétrico movido a energia solar acoplado a um sistema de rastreamento solar e arduino / Nicolas Viegas da Costa. - Redenção, 2021.

70f: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2021.

Orientador: Prof. Dr. Sabi Yari Moise Bandiri.

1. Energia Solar. 2. Veículos Elétricos. 3. Sustentabilidade.
4. Arduino. I. Título

CE/UF/BSCA

CDD 621.3121

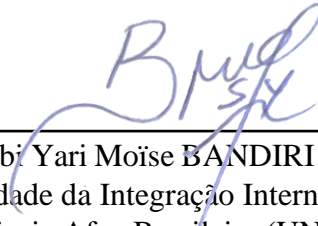
NICOLAS VIEGAS DA COSTA

DESENVOLVIMENTO DE UM VEÍCULO ELÉTRICO MOVIDO A ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA ACOPLADO A UM SISTEMA DE RASTREAMENTO SOLAR E ARDUINO

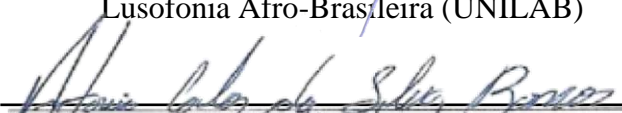
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de Energias
do IEDS da Universidade da Integração
Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira,
como requisito parcial à obtenção do grau de
bacharel em Engenharia de Energias.

Aprovada em: 14/04/2021


BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Sabi Yari Moïse BANDIRI (Orientador)
Universidade da Integração Internacional da
Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Prof. Dr. Antônio Carlos da Silva Barros
Universidade da Integração Internacional da
Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



M.Sc Christel Enock Ghislain Ogoulola
Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

Dedico este trabalho a minha família, amigos e amigas que sempre estiveram do meu lado me incentivando, passando energias positivas para enfrentar as dificuldades e desafios, a fim de conseguir alcançar os meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a Deus pelo dom da vida, saúde, sabedoria, proteção, direcionamento e por sempre estar comigo mesmo sabendo que eu nem sempre estive com ELE.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Sabi Yari Moïse Bandiri pelo apoio e compreensão ao longo dessa nossa jornada que não foi fácil, e mesmo assim ele não me deixou para trás.

Agradeço a toda minha família, em particular a minha mãe na pessoa de Florinda Mendes Viegas pelo apoio incondicional, carinho, compreensão e pelas palavras motivacionais ao longo desses anos.

Agradeço aos meus amigos/as que sempre estiveram comigo nos momentos bons e ruins durante a minha vida acadêmica.

Agradeço a tia Raquel Gomes Sampaio pelo apoio e por sempre lembrar de mim em suas orações.

Agradeço de uma forma especial à Ajarimba Mahra Sá pelo companheirismo e compreensão durante esse processo, sempre me incentivando nos momentos difíceis.

Agradeço ao meu amigo irmão Noé Saba Nbundé por me apoiar durante o processo de construção do veículo e coleta de dados.

Agradeço aos meus professores pelos ensinamentos e por me fazerem ser mais forte.

Agradeço a todos/as que um dia me disseram que vai dar certo.

“Não vivas para que a sua presença seja notada,
mas para que a sua falta seja sentida.”

(Bob Marley)

RESUMO

A preocupação mundial com as mudanças climáticas ocasionados por muitos fatores e uma delas é a emissão do dióxido de carbono, a maior parte desse gás emitido na atmosfera são oriundos dos meios de transportes. Entretanto, desenvolveu-se um modelo de veículo elétrico movido a energia solar fotovoltaica acoplado a um sistema de rastreamento solar e Arduino como proposta para diminuição de dióxido de carbono na atmosfera. Os métodos avaliados neste trabalho consistem em dois sistemas fotovoltaicos alternativos, um móvel, com rastreamento solar controlado por Arduino e um fixo, com a placa solar colocado de uma forma plana orientada de norte a sul a 10° . Experimentalmente fez-se o inquerido dos dois sistemas com base no desempenho do painel a partir da sua performance elétrica e a velocidade atingida pelo veículo. Com os resultados obtidos pode-se garantir que o sistema com rastreamento solar controlado por Arduino apresentou-se uma maior eficiência no dia ensolarado em relação aos dias parcialmente nublado e nublado. A velocidade média atingida pelo o veículo sem o uso de rastreador solar é de 0,64 m/s e com o uso de rastreador solar é de 0,93 m/s. Entretanto, teve-se um rendimento de 45% com uso de rastreador solar. Assim pode-se concluir que o sistema com o uso de rastreador solar pode ser uma boa alternativa para os veículos elétricos movidos a energia solar como proposta para diminuição de dióxido de carbono na atmosfera.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica . Sustentabilidade. Veículos Elétricos. Rastreamento Solar. Arduino.

ABSTRACT

The worldwide proportions. about climate change caused by many factors and one of them is the emission of carbon dioxide, most of these gases come from means of transport. However, an electric vehicle model was developed powered by photovoltaic solar energy coupled with a solar tracking system and arduino as a proposal to decrease carbon dioxide in the atmosphere. The methodologies assessed in this work consist of two alternative photovoltaic systems, a mobile, with solar tracking controlled by arduino and a fixed one, with the solar plate placed in a flat shape oriented from north to south at 10° . Experimentally the survey was made of the two systems based on the performance of the panel based on its electrical performance and the speed reached by the vehicle. With the results obtained it can be guaranteed that the Arduino-controlled solar tracking system efficiency in the sunny day in relation to the partly cloudy and cloudy days. The average speed reached by the vehicle without the use of a solar tracker is 0.64 m/s and with the use of solar tracker it is 0.93 m / s. Nonetheless, there was a 45% yield using a solar tracker. So, it can be concluded that the system with the use of Solar tracker can be a good alternative for electric vehicles powered by energy as a proposal to decrease carbon dioxide in the atmosphere.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy. Sustainability. Electric Vehicles. Solar Tracking. Arduino

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema Solar Conetado a Rede (Grid-tie)	21
Figura 3 – Capacidade solar fotovoltaica global, por país e região, 2009-2019	23
Figura 4 – Célula Fotovoltaica.....	25
Figura 5 – Circuito equivalente de módulo fotovoltaico com dois resistores	26
Figura 6 – Curva característica $V \times I$ de uma módulo fotovoltaico	27
Figura 7 – Curva característica $P \times V$ de um módulo fotovoltaico	27
Figura 8 – Curva característica típico de Silício Si de um módulo fotovoltaico.....	28
Figura 9 – Ângulos de interesse para posicionamento de um painel solar	30
Figura 10 – Primeiro Veículo Elétrico inventado pelo Robert Anderson em 1832-1839 .	33
Figura 11 – Diagrama de construção do protótipo.....	39
Figura 12 – Montagem do protótipo do veículo elétrico alimentado pela energia solar.....	40
Figura 13 – Interface do aplicativo Arduíno <i>Bluetooth Car</i>	42
Figura 14 – Painel utilizado no projeto.....	42
Figura 15 – Circuito Elétrico do veículo.....	43
Figura 16 – Suporte Orientável Pan Tilt	44
Figura 17 – Resistor dependente de luz LDR	45
Figura 18 – MICRO SERVO 9G SG90 TOWERPRO.....	46
Figura 19 – Placa de Arduíno Uno Rev3 ATmega328P	46
Figura 20 – Esquemática de operação do dispositivo de Rastreamento	47
Figura 21 – Circuito Elétrico do sistema de Rastreamento.....	48
Figura 22 – Projeto final	48
Figura 23 – Curva característica do painel em operação	52
Figura 24 – Imagens capturadas no momento de teste do rastreador no ambiente interno em diferentes posições.....	53
Figura 25 – Imagens capturadas no momento de teste do rastreador no ambiente externo	53
Figura 26 – Curvas de potência fixo e móvel em um dia Nublado	56
Figura 27 – Curvas de potência fixo e móvel em um dia parcialmente nublado	58
Figura 28 – Curvas de potência fixo e móvel em um dia ensolarado.....	60
Figura 29 – Variação de velocidade do sistema com e sem rastreado solar (móvel e fixo)	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores obtidos no teste elétrico do painel para construção de curva característica	51
Tabela 2 – Valores registrados no teste do desempenho elétrico do painel no dia nublado	55
Tabela 3 – Valores registrados no teste do desempenho elétrico do painel no dia parcialmente ensolarado	57
Tabela 4 – Valores registrados no teste do desempenho elétrico do painel no dia ensolarado	59
Tabela 5 – Velocidades do protótipo com e sem rastreador solar em diferentes posições	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

VEs	Veículos Elétricos
MCI	Motores de Combustão Interna
PV	Painel Fotovoltaico
Off-grid	Sistemas Isolados
Grid-tie	Sistemas Conectado à Rede
MW	Megawatts
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CNPJ	Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica
CPF	Cadastro de Pessoa Física
GWp	gigawatts pico
FCEV	Veículos Elétricos Movidos a Célula de Hidrogênio
RPEV	Veículos Elétricos Alimentados por Cabos Externos
EUA	Estados Unidos de América
DC	Corrente Contínuo
UNILAB	Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
AC	Corrente Alternada
LDR's	Resistor Dependente de Luz

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área da Célula
CO_2	Dióxido de Carbono
V	Tensão
I	Corrente Elétrica
P	Potência
R_p	Resistência em Paralelo
R_s	Resistência em Série
I_o	Corrente de Saturação Reversa
I_L	Corrente Fotogerada dada em amperes (A)
T	Temperatura Absoluta;
q	Equivale a Carga de Elétron
K	Constante de Boltzman
n	Corresponde Fator de Idealidade do Dodo Obtido Experimentalmente
I_{sc}	Corrente de Curto circuito
$P_{máx}$	Ponto de Potência Máxima
V_{oc}	Tensão de Curto Circuito
I_{MP}	Corrente no Ponto Máxima Potência
V_{MP}	Tensão no Ponto de Máxima Potência
P_{MP}	Ponto de Máxima Potência
η	Eficiência
G	Irradiância solar incidente
FF	Fator de Forma
γ	Ângulo Azimutal
β	Ângulo da Superfície de Captação
H	Hidrogênio
O	Oxigênio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Objetivos.....	17
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo Geral.....</i>	<i>17</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>17</i>
1.2	Justificativa.....	17
1.3	Estrutura do Trabalho.....	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1	Combustíveis Fósseis e Energias Renováveis.....	19
2.2	Energia Solar Fotovoltaica.....	20
<i>2.2.1</i>	<i>O Brasil e o mundo no mercado de energia solar.....</i>	<i>22</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Célula Fotovoltaica.....</i>	<i>24</i>
<i>2.2.3</i>	<i>Curva Característica de corrente, tensão e potência.....</i>	<i>25</i>
<i>2.2.4</i>	<i>Parâmetros Elétricos de uma célula fotovoltaica.....</i>	<i>28</i>
2.3	Veículos Elétricos.....	31
<i>2.3.0.1</i>	<i>Histórico dos Veículos Elétricos.....</i>	<i>32</i>
<i>2.3.1</i>	<i>Veículos Alimentados por Energia Solar Fotovoltaico.....</i>	<i>35</i>
2.4	Rastreador Solar.....	36
<i>2.4.1</i>	<i>Tipos de rastreadores solar.....</i>	<i>36</i>
<i>2.4.2</i>	<i>Veículos elétricos movidos a energia solar com sistema de rastreamento solar e Arduino.....</i>	<i>37</i>
2.5	Arduino.....	37
3	METODOLOGIA.....	39
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO PAINEL FOTOVOLTAICO.....	40
3.2	CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO.....	41
<i>3.2.1</i>	<i>Suporte Orientável.....</i>	<i>43</i>
<i>3.2.2</i>	<i>Construção do Dispositivo de Rastreamento.....</i>	<i>44</i>
3.3	MECANISMO DE ENSAIO PARA TESTE DO RASTREADOR.....	49
<i>3.3.1</i>	<i>Teste de Rastreamento Móvel no Ambiente Interno e Externo.....</i>	<i>49</i>
3.4	Teste de Desempenho Elétrico do Painel Fotovoltaico.....	49
3.5	Procedimento de Ensaio do Protótipo.....	50

SUMÁRIO

4.1	CURVA CARACTERÍSTICA	51
4.2	EXPOSIÇÃO DO SISTEMA DE RASTREAMENTO.....	52
4.3	Teste de Desempenho Elétrico do Painel Fotovoltaico	54
4.3.1	<i>Tempo Nublado.....</i>	54
4.3.2	<i>Tempo Parcialmente Nublado.....</i>	56
4.3.3	<i>Tempo Ensolarado.....</i>	58
4.3.4	<i>Ensaio do Protótipo</i>	60
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	62
	REFERÊNCIAS.....	63
	APÊNDICES	65
	ANEXOS.....	65
	ANEXO A-	65
	ANEXO B-.....	68

1 INTRODUÇÃO

Os meios de transportes são considerados indispensáveis para o desenvolvimento global desde início dos tempos, pois são usados para transportar as pessoas, mercadorias, animais, matérias-primas etc; maior parte dos meios de transportes são movidos a partir de queima de combustíveis fósseis que são oriundos de petróleo. Porém, o petróleo é conhecido como a fonte energética primária predominante no mundo (GOLDENSTEIN; AZEVEDO, 2006). A queima dos combustíveis fósseis são os mais responsáveis por emitir dióxido de carbono, precursor de gases de efeito estufa e outros contaminantes prejudiciais à saúde humana, assim como do meio ambiente (DRUMM *et al.*, 2014).

Em 2018, registou-se consumo mundial de petróleo de 99,8 milhões de barris por dia, valor muito significativo porque, teve aumento de 1,5% equivalente a 1,4 milhão de barris por dia em comparação ao ano de 2017. Os Estados Unidos, China e Índia são nações que se destacaram no ranking dos países com maior consumo de petróleo em 2018. Desse modo, os Estados Unidos destacaram-se na primeira posição, com 20,5% do total mundial equivalente a 20,5 milhões de barris por dia. A China ficou na segunda posição, com 13,5 milhões de barris por dia (13,5% do total mundial) referente ao consumo médio. A Índia que ficou na terceira posição, com o consumo de 5,2 milhões de barris de petróleo por dia equivalente a 5,2% do total mundial. O Brasil destacou na sétima posição, com consumo de aproximadamente 3,1 milhões de barris por dia (3,1% do total mundial), aumentando assim 1% em relação ao ano 2017. (PETRÓLEO; BIOCOMBUSTÍVEIS, 2019)

Maior parte do consumo dos derivados de petróleo são utilizadas no setor de transporte e na indústria o que torna necessário a integração de energia limpa no setor de transporte com intuito de suprir as demandas energéticas dos meios de transporte. As mudanças climáticas são um dos fatores que também têm proporcionado desenvolvimentos de novas tecnologias para obtenção de energia através de fontes alternativas e energias limpas para minimizar a dependência de petróleo (DRUMM *et al.*, 2014). O uso de energia solar fotovoltaica em Veículos Elétricos (VEs) é uma boa alternativa para suprir a demanda energética dos meios de transportes visto que quase todas as formas de energia são provenientes do sol e pode ser direta ou indiretamente (ELÉTRICA, 2002).

Os VEs são aqueles que utilizam um ou mais motores elétricos, completamente ou em parte, para o andamento do veículo. A eletricidade é o combustível necessário para os veículos elétricos e ela pode ser obtida de diferentes formas: sistema de indução eletromecânica;

reação do oxigênio e hidrogênio com água em uma célula de combustível ou por meio da energia mecânica de frenagem; conectado diretamente à fonte externa de eletricidade, através de *plugs* ou utilizando cabos aéreos. Existem vários modelos de VEs, mas a maioria utiliza baterias químicas para armazenamento de energias que são responsáveis por alimentar o motor. Os VEs possuem altos rendimentos em realizar trabalho, a eficiência de seus motores pode chegar até 80% o que lhes torna muito mais eficientes quando comparados com Motores de Combustão Interna (MCI), pois Os MCI apresentam eficiência energética entre 12% e 18%. Os VEs pertencem aos grupos de veículos que possuem emissão quase zero na atmosfera, pois elas quase não emitem poluentes sonoro e atmosférico no seu uso (ENERGIA, 2017).

Existem várias maneiras para alimentar os VEs a partir das fontes energéticas, se interligados a energia solar fotovoltaico pode tornar uma das alternativas viáveis para solucionar os problemas de emissão de poluentes na atmosfera derivados dos veículos convencionais ou a combustão interna. Desse modo o presente trabalho tem como finalidade abordar energia solar fotovoltaica que é uma das tecnologias desenvolvidas para geração de energia elétrica a partir de energia solar conhecida como energia limpa, renovável e praticamente inesgotável. A radiação solar pode ser aproveitada não só para geração de energia elétrica, mas também pode ser aproveitada diretamente como fonte de energia térmica e uma das suas aplicações é o aquecimento do ambiente, fluido etc; (ELÉTRICA, 2002).

Segundo (VILLALVA, 1983), a energia solar fotovoltaico é a conversão direta de luz de sol para produzir corrente elétrica, este processo ocorre a partir do efeito fotovoltaico que são fenômenos físicos que ocorre quando a radiação eletromagnética ou luz de sol incide sobre uma célula composta por materiais semicondutores com propriedade específica como silício por exemplo. Devido essa capacidade de captar diretamente luz solar e produzir corrente elétrica torna o sistema fotovoltaico promissor para utilização em veículos elétricos. Implementação de sistemas fotovoltaicos é cara dependendo da sua aplicação e economicamente barato por um período longo devido ao baixo custo de manutenção.

Neste estudo foi desenvolvido um modelo de veículo elétrico alimentado por um painel fotovoltaico acoplado a um sistema de rastreamento solar. O sistema é controlado por micro controlador digital, ou seja, Arduino, servomotores e sensores de luminosidade.

1.1 Objetivos

1.1.1 *Objetivo Geral*

Desenvolver um modelo de veículo elétrico alimentado por um Pannel Fotovoltaico (PV) como proposta para diminuição de CO_2 na atmosfera.

1.1.2 *Objetivos Específicos*

- Analisar e comparar a eficiência dos dois sistemas fotovoltaicos alternativos, fixo e móvel;
- Comparar a velocidade média do protótipo com e sem o uso de rastreador solar;
- Comparar os valores das potências do painel para um dia nublado, parcialmente nublado e ensolarado.

1.2 Justificativa

O setor de transporte apresenta grandes riscos à saúde dos habitantes principalmente nos centros urbanos devido a emissão de CO_2 na atmosfera. O CO_2 é um dos gases do efeito estufa responsável e ela conhecido como o maior responsável por poluir atmosfera tendo setor de transporte como o principal fonte, pois 20% das emissões globais de CO_2 destina-se ao setor de transporte, sem considerar a emissão outros gases que também são considerados prejudiciais ao meio ambiente (CARVALHO, 2011). Segundo (GUARIEIRO *et al.*, 2011), os veículos emitem 10% de CO_2 a nível mundial. Deste total os Estados Unidos são responsáveis por 45%, mas devido a obrigatoriedade de uso de catalisadores nos sistemas de descargas dos veículos desde 1970 diminuiram 60% das emissões dos poluentes regulamentados, ao passo que neste mesmo intervalo de tempo aumentaram 70% de emissões de CO_2 pelos automóveis. Perante cenário de constante emissão de CO_2 e outros gases poluentes ao meio ambiente a partir de veículos a combustão tendo como consequências mudanças climáticas, vê se a necessidade de utilização de veículos elétricos, visto que os VEs não possuem emissão de CO_2 na atmosfera.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho consiste em 4 capítulos, onde o primeiro capítulo trata-se da introdução, que é a parte que irá fazer um breve contextualização sobre o tema e problema. No segundo capítulo, ou seja, no referencial teórico abordaremos os conceitos sobre combustíveis fósseis,

energias renováveis, energia solar fotovoltaica, veículos elétricos, rastreadores solar, plataforma Arduino e veículos movidos a energia solar. Já no terceiro capítulo (Metodologia), faremos demonstrações na íntegra dos procedimentos efetuados para desenvolvimento do veículo, dispositivo de rastreamento solar e os testes. No quarto capítulo apresentaremos os resultados obtidos durante a coleta de dados através das figuras e tabelas, também serão apresentados o desempenho do veículo tanto para o sistema móvel assim como para fixo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Dividimos essa parte em cinco seções: na primeira seção, abordaremos sobre combustíveis fósseis e energias renováveis. Na segunda seção, discutiremos sobre energia solar fotovoltaica, entre os quais destacamos o papel do Brasil e o mundo no mercado de energia solar, células fotovoltaicas, curvas características de corrente, tensão e potência e eficiência dos painéis fotovoltaicos. Na terceira seção, faremos um breve apanhado sobre veículos, sendo assim, consideraremos a história dos VEs e VEs alimentados por energia solar fotovoltaica. Na quarta seção, apresentaremos um breve resumo dos rastreadores solar e os veículos movidos a energia solar com sistema de rastreamento solar e Arduíno. Na quinta seção, faremos uma discussão sobre Arduíno.

2.1 Combustíveis Fósseis e Energias Renováveis

De acordo com o (PACHECO, 2006) a escassez do petróleo e as mudanças climáticas, provocadas por queimas de combustíveis fósseis, têm proporcionado profundas reflexões e inquérito em estudos técnicos, econômicos e impactos socioeconômicos, assim como impactos ambientais em empreendimentos de energia limpa ou energias renováveis e/ou alternativas. No entanto, o petróleo é o maior protagonista dos combustíveis fósseis, em seguida destaca-se o carvão mineral, o gás natural e o urânio. Os combustíveis fósseis e recursos mineiros são classificados como energias não renováveis porque as suas reservas vão se esgotando ao longo do tempo com sua utilização (VILLALVA, 2012). Essa preocupação mundial de escassez do petróleo e a preservação do meio ambiente têm permitindo grandes investimentos e revoluções tecnológicas automotivas em energias renováveis, como por exemplo, veículos elétricos movidos e carregados por energia solar fotovoltaica. Essa tecnologia vem ganhando mais espaço no mercado pelo fato de que maior parte de CO_2 emitidos na atmosfera são oriundos dos meios de transporte.

De acordo com (VILLALVA, 2012, p. 16), "as fontes de energias renováveis são aquelas consideradas inesgotáveis para os padrões humanos de utilização". Já para (PACHECO, 2006), as energias renováveis são oriundos dos estágios naturais de conversão de radiação solar. No entanto, energias renováveis podem ser utilizadas incessantemente e sempre se renovam, ou seja, são inesgotáveis, como energia solar proveniente da luz do sol. Lembrando que quase todas as outras fontes de energia são provenientes do sol de forma indireta, tais como: energia

eólica, proveniente do vento, energia da biomassa cujo origem é na captação de luz de sol através de fotossíntese, hídrica que representa maior porcentagem da matriz energética brasileira (VILLALVA, 2012). O termo energia limpa é sempre ligada as energias renováveis por possuírem menor impactos ambientais em comparação com as fontes de energias não renováveis.

2.2 Energia Solar Fotovoltaica

O sol é o princípio de todas as possíveis fontes ou formas de energia do planeta terra que são utilizadas pelo homem. Todavia, a quantidade de energia solar que a terra absorve anualmente na forma de luz e calor é suficiente para repor milhares de vezes as necessidades mundiais no mesmo intervalo de tempo. Com toda essa energia do sol abundante incidente na terra apenas uma parcela é aproveitada, e perante os fatos mencionados anteriormente torna-se energia solar viável e uma alternativa promissora para os próximos longos anos.(VILLALVA, 2012)

De acordo com (PINHO; GALDINO, 2014) a energia solar fotovoltaica é concebida a partir da conversão direta da luz de sol em eletricidade por meio de efeito fotoelétrico, sendo que a célula fotovoltaica é um dispositivo responsável por produzir o efeito fotoelétrico. O efeito fotoelétrico pode ser compreendido como sendo a emissão de elétrons por uma placa metálica quando esta é exposta a uma radiação eletromagnética de frequência alta, como luz do sol por exemplo. Esse efeito foi verificado pela primeira vez pelo Henrique Hertz no ano de 1887 e ficou conhecido quando o Albert Einstein o explicou com satisfação em 1905. As células fotovoltaicas são produzidas a partir de um material semicondutor com característica que permite absorção da radiação solar ocasionando uma diferença de potencial. Essa descoberta foi revelada por Edmond Becquerel, em 1839, em uma das suas experiências, percebeu que havia gerado uma diferença de potencial nos terminais de uma célula eletroquímica causada pela absorção de luz. No entanto, em 1876, ou seja, 37 anos depois foi concebido o primeiro aparato fotovoltaico oriundo dos estudos da física do estado sólido e, somente em 1956, iniciou-se a produção industrial de células fotovoltaicas, acompanhando a área de eletrônica, desde então o mercado de energia solar fotovoltaica tem crescido muito.

Atualmente existem três tipos principais de sistemas de energia solar: Sistema Solar Térmico, Sistema Solar Fotovoltaico e Sistema Termossolar. Ao longo deste trabalho será

explorado apenas o sistema Solar fotovoltaico.

Um sistema de energia solar fotovoltaico é um sistema apto a gerar energia elétrica por meio da radiação solar. Existem duas espécies básicas de sistemas fotovoltaicos: Sistemas Isolados (Off-grid) e Sistemas Conectado à Rede (Grid-tie).

Os Sistemas Isolados são utilizados em locais remotos ou onde o custo de se conectar a rede elétrica é elevado, são utilizados em casas de campo, refúgios, iluminação, telecomunicações, bombeio de água, etc. Já os Sistemas Conectados à rede substituem ou complementam a energia elétrica convencional disponível na rede elétrica. SCHERER *et al.* (2015, p.7)

A FIGURA 1 exemplifica um sistema solar conetado a rede e a FIGURA 2 ilustra um sistema isolado.

Figura 1 – Sistema Solar Conetado a Rede (Grid-tie)



Fonte: Google fotos, 2021

Figura 2 – Sistema Isolado (Off-Grid)



Fonte: Google fotos, 2021

Os primeiros agentes impulsionador para o desenvolvimento dessa tecnologia (Energia Solar fotovoltaica) é a procura por setor de telecomunicações, e fontes de energia para sistemas instalados em localidades de difícil acesso e/ou remotas. O segundo agente impulsionador é a famosa corrida espacial, visto que a célula era, e até hoje continua sendo, o meio mais viável e adequado por apresentar menor custo, peso e segurança para fornecer a quantidade de energia preciso para alimentação de equipamentos eletroeletrônicos no espaço por longos períodos.(PINHO; GALDINO, 2014)

A crise do petróleo de 1973, é um outro fator que impulsionou as pesquisas sobre aplicações diversas em energia solar fotovoltaica por parte dos governos e grandes empresas energéticas, pois a crise de petróleo de 1973 possibilitou uma visão ampla e verídica do esgotamento das reservas do petróleo. (NASCIMENTO, 2004).

2.2.1 O Brasil e o mundo no mercado de energia solar

O Brasil é conhecido como um país privilegiado quando se trata de energia solar fotovoltaica devido aos seus altos níveis de radiação solar. O país possui clima tropical que é um diferencial importante, pois a sua irradiação média anual varia entre 1.200 e 2.400 KWh/m²/ano, ao passo que, a Alemanha apresenta uma média anual entre 900 e 1.250 KWh/m²/ano. O Brasil é classificado como sendo o quarto maior produtor de silício grau metalúrgico (primeira etapa para produção de silício grau solar) do mundo, pois ela possui uma das maiores reservas de quartzo de qualidade. Apesar de todas essas características e vantagens que o Brasil apresenta em relação aos outros países, até o ano de 2015 sua capacidade de geração de energia solar fotovoltaico era estimado em 20 Megawatts (MW), onde 99% desses sistemas instalados correspondem ao atendimento de áreas isoladas onde a rede de distribuição não consegue alcançar. (MACHADO; MIRANDA, 2015)

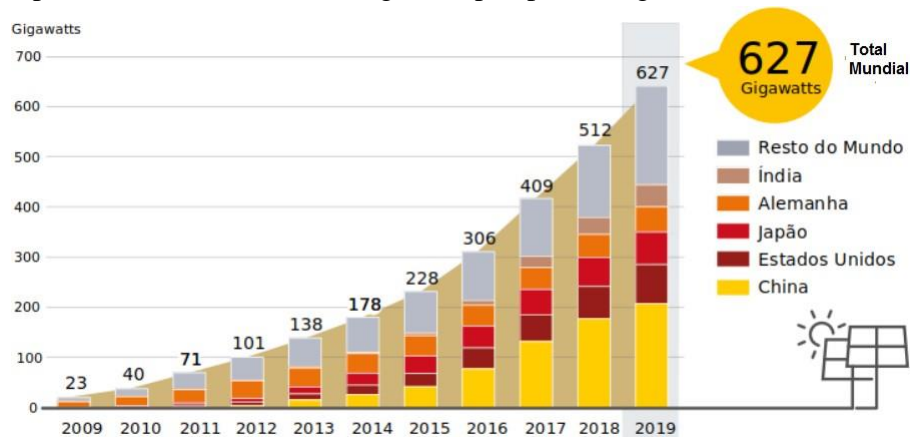
Um dos motivos que podem ser citados como fator atraso no consumo de energia solar fotovoltaico no Brasil é a falta de incentivo por parte de governo, pois pode-se perceber que a utilização de energia solar fotovoltaica aumentou de forma significativa depois da aprovação da Resolução Normativa nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 2012. Essa Resolução permite o pequeno produtor injetar na rede da concessionária a energia produzida de forma renovável, e de acordo a Resolução Normativa, o excedente gerado pode ser utilizado como créditos pelo produtor em outros estabelecimentos com o mesmo Cadastro Nacional

da Pessoa Jurídica (CNPJ) ou Cadastro de Pessoa Física (CPF) com validade de 36 meses (MACHADO; MIRANDA, 2015).

Em 2011, a Alemanha, a Itália, o Japão, a Espanha e Estados Unidos eram os países mais avançados na utilização de energia solar porque, promoviam programas para incentivar a utilização dos sistemas fotovoltaicos devido aos seus benefícios para meio ambiente, e esses programas de incentivos basearam especialmente na descentralização da produção de energia onde os sistemas fotovoltaicos instalados por pessoas físicas eram conectados ou interligados à rede elétrica. Esses países juntos conseguiram chegar 88% da potência total instalada no mundo, onde a Alemanha destacou-se com 50% do total (MACHADO; MIRANDA, 2015).

De acordo com (REN21, 2020), no 2009 à 2019 houve um acréscimo exponencial na potência instalada mundial de energia solar fotovoltaica, em termos numéricos compreende-se que houve um aumento de 44% no ano 2019 quando comparado ao ano 2009, a potência mundial instalada no ano 2019 é de 627 gigawatts pico (GWp) enquanto que no ano 2009 foi de 23GWp. A Figura 3 mostra o crescimento mundial da potência instalada de energia solar fotovoltaica, onde China, o Japão, o Estados Unidos, a Alemanha e a Índia destacaram-se como os maiores produtores.

Figura 3 – Capacidade solar fotovoltaica global, por país e região, 2009-2019



Fonte: REN21, 2021

De acordo com o (REN21, 2020) o Brasil não faz parte do top dez dos maiores países produtores de energia solar fotovoltaico, mas segundo (ENERGÉTICA, 2019) a energia solar representa 2,8% do total dos 7% da energia renovável na matriz energética brasileira. Entretanto, em 2019 o Brasil teve um aumento de 92,2% na geração elétrica de energia solar fotovoltaica em relação a 2018 visto que em 2018 foi gerado 3.461 gigawatts hora GWp

e em 2019 foi gerado 6.665 GWp. Com esses dados pode-se perceber que a geração quase se dobrou em 2019 e se continuar nesse ritmo a tendência é de aumentar mais ainda nos próximos.

2.2.2 Célula Fotovoltaica

As células fotovoltaicas possuem camadas semicondutoras que podem ser fabricadas por diversos materiais, dentre os quais o silício é o mais comum. Ele pode ser constituído e classificado conforme a sua estrutura molecular, que são policristalino, silício amorfo e monocristalino.

Segundo (VILLALVA, 2012), aproximadamente 95% do total das células fotovoltaicas fabricadas no mundo todo são oriundo de silício, isso se dá devido a abundância desse material na terra e também por ser economicamente viável, ou seja, ele é mais barato em relação aos outros materiais. Entretanto, a viabilidade técnica e econômica é um dos protocolos que fala mais alto em qualquer projeto, principalmente em projetos de engenharia. A Figura 4 ilustra uma célula fotovoltaica fabricado a partir de silício, lembrando que a junção de várias células no formato retangular que forma um painel solar.

(VILLALVA, 2012, p. 66)

Um semicondutor é um material que não pode ser classificado como condutor elétrico nem como isolante. As propriedades de um semicondutor podem ser modificadas pela adição de materiais dopantes ou impurezas.

Uma célula fotovoltaica é composta tipicamente pela junção de duas camadas de material semicondutor, uma do tipo P e outra N. Existem células de múltiplas junções, que possuem um maior número de camadas, entretanto seu funcionamento é idêntico ao das células de duas camadas. As células de múltiplas junções produzem mais energia, porém são mais caras e não são tão utilizadas como as de apenas duas camadas.

Figura 4 – Célula Fotovoltaica



Fonte: Energia Solar, 2021

2.2.3 Curva Característica de corrente, tensão e potência

As curvas características de um painel são importantes na análise de um módulo fotovoltaico, pois elas descrevem o desempenho da tensão e a corrente elétrica fornecida pelo painel. Normalmente um módulo fotovoltaico comporta-se de uma forma diferente de uma fonte elétrica convencional, pois a tensão de saída de um módulo fotovoltaico não é constante nos seus terminais e a sua corrente elétrica depende da tensão e vice-versa. Os painéis fotovoltaicos podem ser compreendidas de uma forma mais explícita através das curvas característica que são representadas através dos gráficos tensão V versus (x) corrente I ($V \times I$) e V versus potência P ($V \times P$), a partir de análise de um modelo de circuito equivalente que pode ser representado de três diferentes formas possíveis, que são: modelo com dois diodos, modelo simplificado e modelo com duas resistências. Vale ressaltar que cada um dos modelos citados anteriormente detém suas equações que permitem a determinação dos parâmetros que constituem o circuito equivalente. (REZENDE; JÚNIOR, 2012; VILLALVA, 2012)

Para a determinação dos parâmetros que compõem o circuito equivalente, será considerado o modelo com duas resistências alimentado por uma fonte de corrente conforme mostrado na Figura 5, onde D é o diodo e representa a participação de junção pn no escuro, R_p e R_s são resistências em série e paralelo, e o V é a tensão na saída da célula. O desempenho de geradores fotovoltaico, levando em consideração a relação entre tensão, intensidade solar e temperatura podem ser determinados através da Equação 2.1. (PINHO; GALDINO, 2014)

$$I = I_L - I_0 \exp \frac{q(V + IR_S)}{nkT} - 1 - \frac{q(V + IR_S)}{R_P} \quad (2.1)$$

Onde:

I_0 - Corrente de saturação reversa medida em amperes (A);

I_L - Corrente fotogerada dada em amperes (A);

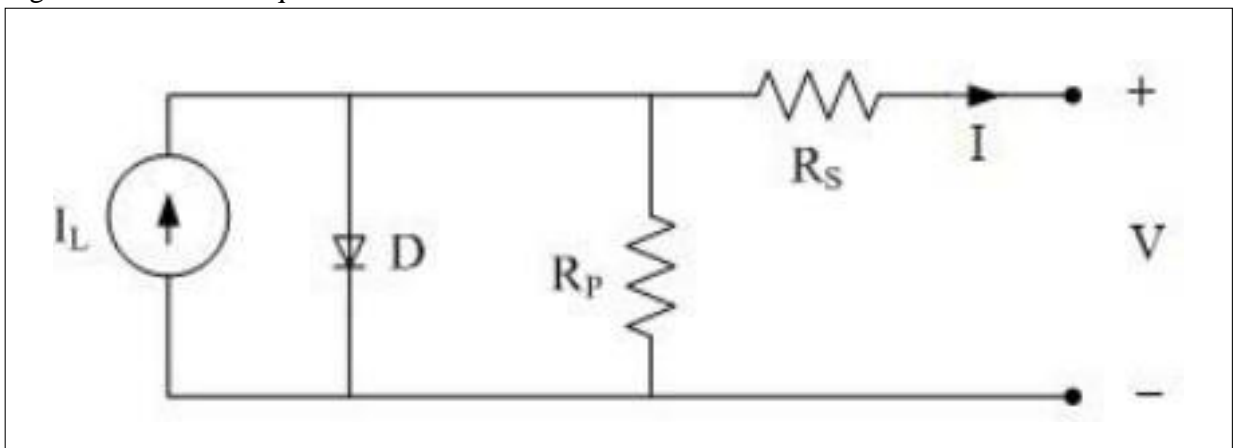
T - Temperatura absoluta dada em kelvin;

q - Equivale a cara de elétron;

K - Constante de Boltzman;

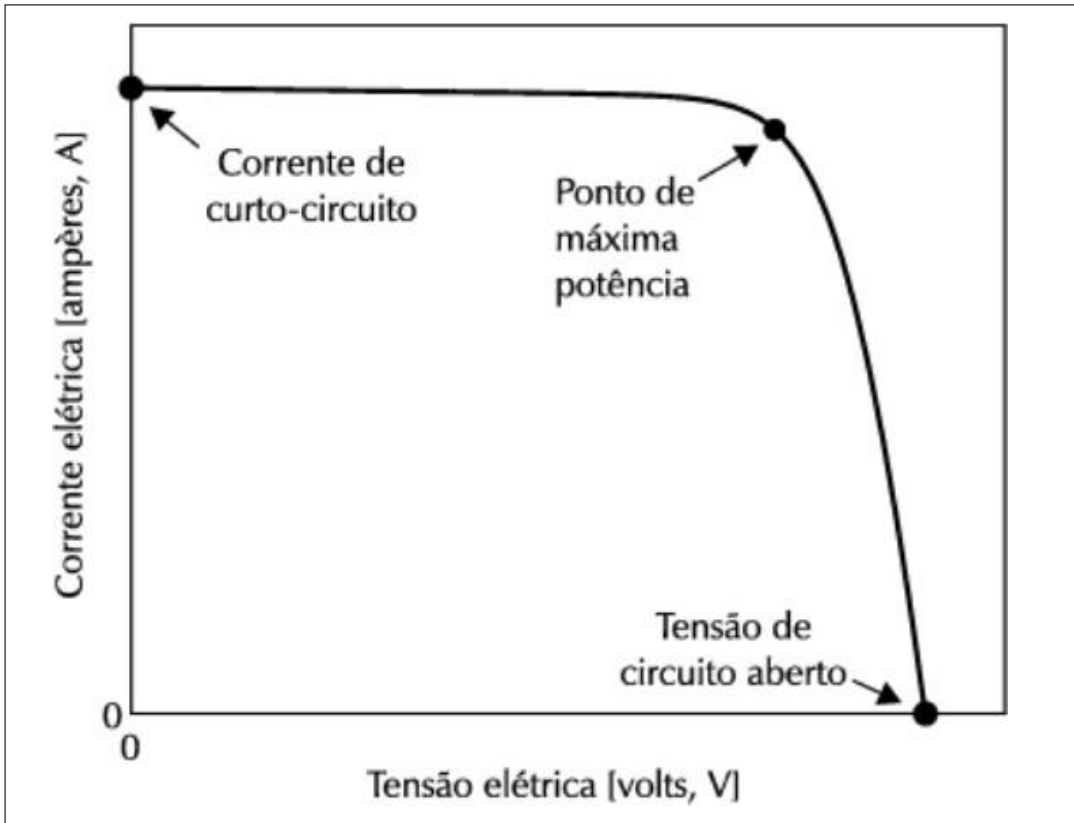
n - corresponde fator de idealidade do diodo obtido experimentalmente.

Figura 5 – Circuito equivalente de módulo fotovoltaico com dois resistores

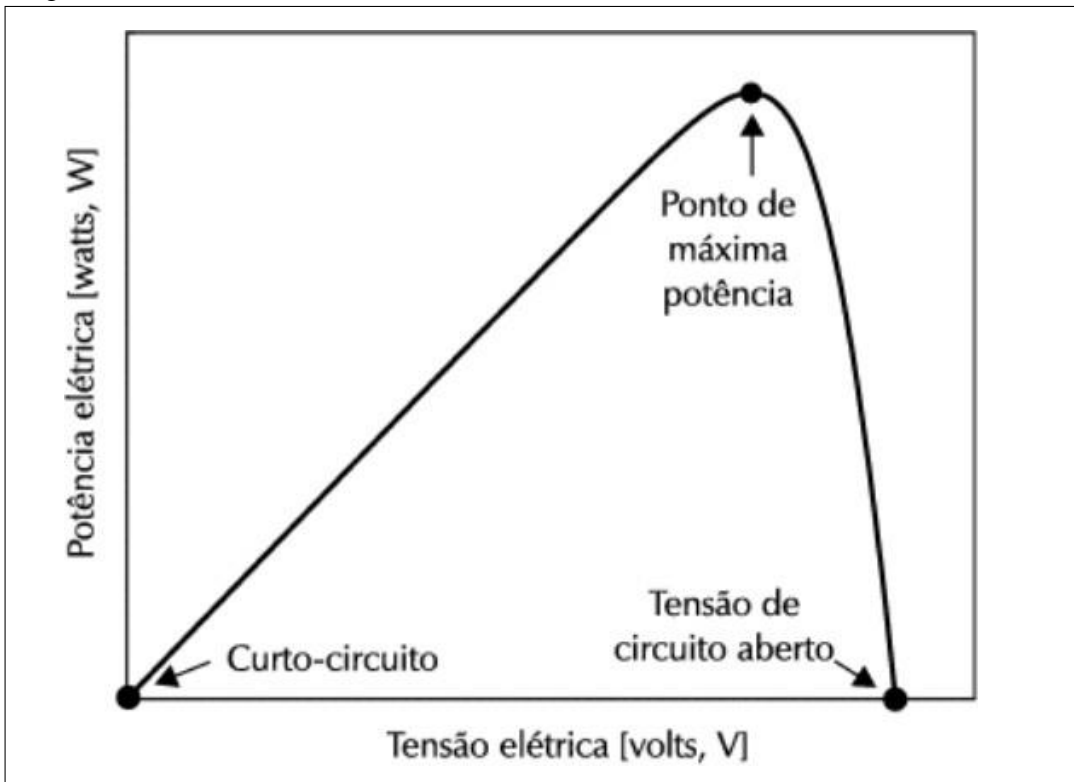


Fonte: PINHO; GALDINO, 2014

A Figura 6 mostra a relação de I e V de um módulo fotovoltaico, onde são destacados corrente de curto circuito I_{sc} , ponto de potência máxima $P_{m\acute{a}x}$ e tensão de circuito aberto V_{oc} . Para cada curva $V \times I$ sempre vai existir uma curva $P \times V$ compatível conforme mostrado na Figura 7.

Figura 6 – Curva característica $V \times I$ de uma módulo fotovoltaico

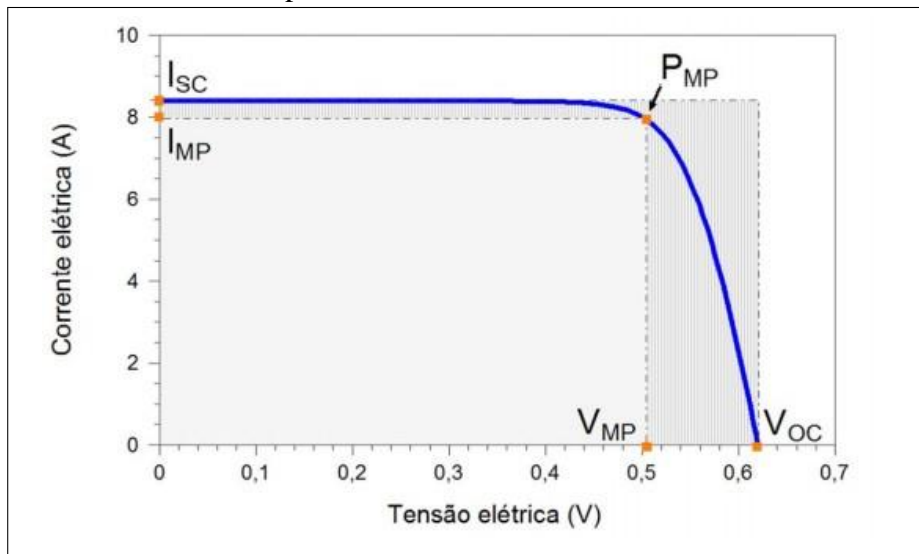
Fonte: (VILLALVA, 2012)

Figura 7 – Curva característica $P \times V$ de um módulo fotovoltaico

Fonte: (VILLALVA, 2012)

Depois das análises feitas anteriormente, será apresentada uma curva característica típica do silício (Si) obtida a partir da análise da corrente elétrica em função de potencial aplicada em uma célula de 156mm x 156mm conforme ilustrado na Figura 8, onde I_{MP} e V_{MP} são, respectivamente a corrente e a tensão no ponto de máxima potência. "Deve-se observar que apesar de ser normalmente apresentada no primeiro quadrante, fisicamente a curva I-V se situa na realidade no quarto quadrante, por se tratar de um gerador"(PINHO; GALDINO, 2014, p. 117).

Figura 8 – Curva característica típico de Silício Si de um módulo fotovoltaico



Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014)

2.2.4 Parâmetros Elétricos de uma célula fotovoltaica

De acordo com (PINHO; GALDINO, 2014):

Através das curvas características de V versus I ($V \times I$) é possível determinar os parâmetros elétricos que caracteriza uma célula ou módulos fotovoltaicos: corrente de curto-circuito I_{sc} , tensão de circuito aberto V_{oc} , fator de forma FF e a eficiência η , expostas a seguir.

- Corrente de curto circuito I_{sc} : é a corrente máxima que uma célula fotovoltaica fornece, quando seus terminais estão em curto circuito, sob condições padrão de teste. Pode ser medida com um amperímetro conectado em série com o módulo.
- Tensão de circuito aberto V_{oc} : é a tensão máxima que uma célula fotovoltaica pode produzir e ela é determinada nos terminais de uma célula fotovoltaica quando não há corrente elétrica circulando, ou seja, quando não existe uma carga conectado ao módulo.

- Fator de forma FF : é o quociente entre a potência máxima da célula fotovoltaica P_{MP} e o produto de tensão de circuito aberto com corrente de curto-circuito, conforme mostra a Equação 2.2

$$FF = \frac{V_{MP} \cdot I_{MP}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (2.2)$$

Onde:

V_{oc} - tensão de circuito aberto;

I_{sc} - corrente de curto circuito;

I_{MP} - corrente no ponto de máxima potência;

V_{MP} - tensão no ponto de máxima potência.

- Eficiência η : A eficiência dos painéis fotovoltaicos podem ser compreendida como sendo um parâmetro que determina o quão efetivo é o processo de conversão de energia solar em energia elétrica. Todavia, a eficiência de um painel é influenciada diretamente pela irradiação e a temperatura ambiente, pois a conversão de energia solar em elétrica depende muito desses dois fatores. (REZENDE; JÚNIOR, 2012; PINHO; GALDINO, 2014)
Em outras palavras, a eficiência pode ser definida como a relação entre potência elétrica produzida pela célula fotovoltaica e a energia solar incidente como mostra a Equação 2.3.

$$\eta = \frac{I_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF}{A \cdot G} \cdot 100\% = \frac{P_{MP}}{A \cdot G} \cdot 100\%$$

(2.3)

Onde:

A - área da célula dada em m^2

G - irradiância solar incidente dada em W/m^2

FF - fator de forma

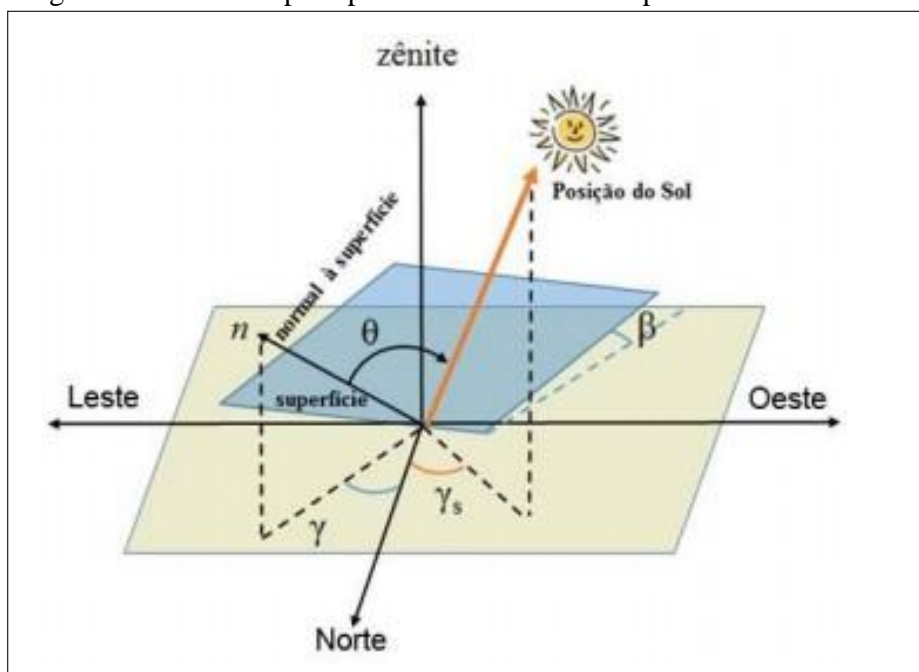
I_{SC} - corrente de curto circuito dada em ampères A

P_{MP} - unidade da potência da célula e do módulo fotovoltaico W_P

Levando em consideração o movimento de translação e rotação da terra compreende-se que o planeta terra recebe radiação solar com ângulos de incidência distintos, conforme o horário e a época do ano. Diante dos fatos citados acima, a instalação dos painéis fotovoltaicos deve-se utilizar um ângulo e desvio azimutal que faculta a maximização da incidência solar sobre elas.

Porém, os ângulos de maior importância ou de interesse no estudo de instalação e aproveitamento de energia solar fotovoltaico são ângulo azimutal, ou desvio azimutal γ e o ângulo da superfície de captação β , estes ângulos estão mostrados na Figura 9. O ângulo azimutal é o ângulo que compreende a projeção entre raios solares e a direção Norte-Sul (horizonte do Observador), variando entre -180° e 180° . O ângulo de captação é o ângulo entre o plano da superfície de interesse (Superfície do painel fotovoltaico) e o plano horizontal, variando de 0° à 90° .

Figura 9 – Ângulos de interesse para posicionamento de um painel solar



Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014)

2.3 Veículos Elétricos

Os Veículos Elétricos cuja sigla em Inglês é VEs (*Electric Vehicles*), são definidas como aqueles veículos que utilizam uma ou mais motores elétricos, e a utilização desses motores podem ser em partes ou completamente para propulsão (movimento criado a partir de uma força que fornece impulso). Os VEs são alimentados a base de eletricidade, e esse procedimento pode ser realizado de forma distintas, dos quais a conexão direta à fonte externa através de plugs ou por meio de utilização de cabos aéreos recorrendo ao sistema de indução magnética que é um processo da reação de oxigênio *O* e hidrogênio *H* com água em uma célula de combustível. Por último, o processo de frenagem que ocorre quando o veículo é freado, também conhecido como energia mecânica de frenagem ou frenagem regenerativa que nada mais é que uma forma de armazenar a energia nas baterias químicas a partir da frenagem. (ENERGIA, 2017)

Existem Vários tipos de VEs, dos quais estão:

- Veículos Elétricos à Bateria BEVs (*Battery Electric Vehicles*): são os veículos puramente elétrico, ou seja, sua potência depende apenas da bateria como fonte de energia elétrica;
- Veículo Elétrico Híbrido HEV (*Híbrid Electric Vehicle*): são veículos que utilizam dois motores para suas atividades, onde o motor principal do veículo é MCI e o motor elétrico serve apenas para melhorar a eficiência do MCI ao abastecer tração em baixa potência;
- VEs Híbrido *Plug-in* PHEV (*Hybrid Electric Vehicle*), esses tipos de veículos além de possuírem motor à combustão interna, também podem receber eletricidade de uma fonte externa;
- VEs Híbrido de longo alcance E-REV (*Extended Range Electric Vehicle*) são aqueles veículos que são alimentado por uma bateria que é abastecido por um gerador acoplado a um MCI. Estes tipos de veículos funcionam de forma semelhante com os veículos puramente elétricos, porém, com uma menor autonomia de bateria (80Km);
- Veículos Elétricos Movidos a Célula de Hidrogênio (FCEV), são os veículos que funcionam a base de combinação do hidrogênio H e oxigênio O. Essa combinação tem como

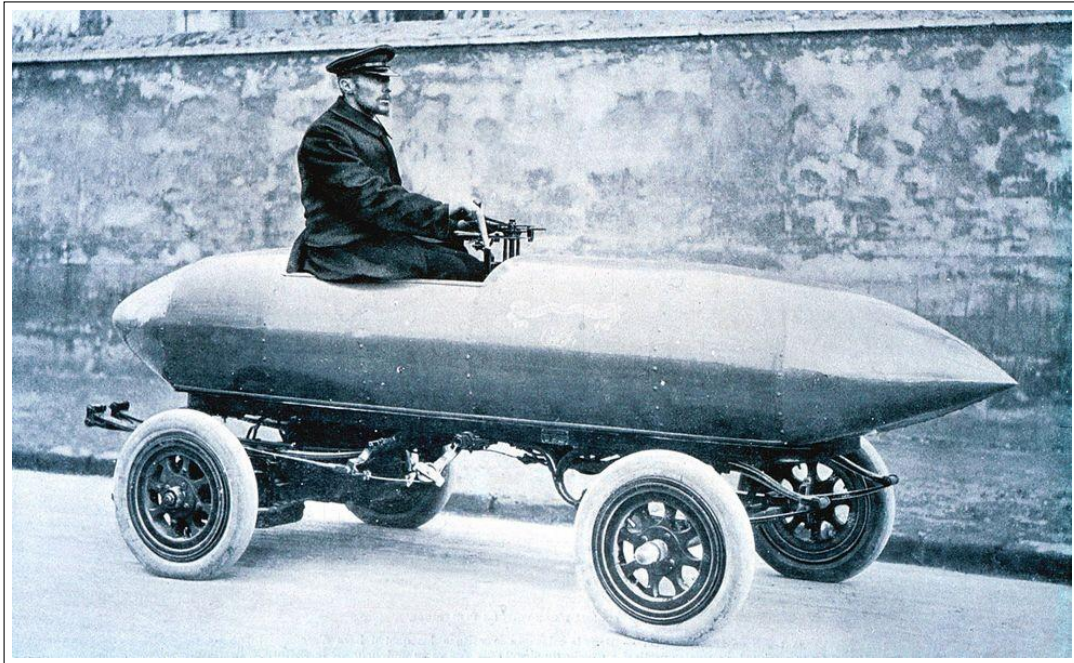
resultado a produção de eletricidade que fará funcionar o motor do veículo. Entretanto, a combinação de H e O não apresentam emissões de escape, ou seja, o resultado desta combinação apenas produz água e calor como subprodutos. Vale ressaltar que os FCEV possuem autonomia semelhante aos veículos movidos a diesel ou a gasolina, cujo alcance varia de 300 à 500 km e eles são considerados superiores à maioria dos VEs. Com esta garantia provenientes das células de H, torna estes tipos de veículos como o mais apropriado para uso em veículos que são destinadas às longas distâncias ou que percorrem longas distâncias, como por exemplo veículos de cargas e não só, mas também para as pessoas que não possuem acesso plug-in em suas residências;

- Vale mencionar também que os Veículos Elétricos Alimentados por Cabos Externos (RPEV), são aqueles veículos que recebem a eletricidade por meio de cabos externos diretamente conectados, no entanto, estão os trólebus (ônibus elétrico), os caminhões em portos e estradas eletrificadas e Veículos Leves sobre Trilhos VLTs. (ENERGIA, 2017)

2.3.0.1 Histórico dos Veículos Elétricos

Apesar de muitos se convencerem que os VEs demonstram ser uma tecnologia nova, a verdade é que os VEs já existiam desde século XIX e os primeiros VEs foram desenvolvidos em Escócia e Estados Unidos de América (EUA). Em 1832-1839 o escocês Robert Anderson construiu o primeiro veículo elétrico em formato de carruagem elétrica conforme ilustrado na Figura 10. (DENTON, 2018)

Figura 10 – Primeiro Veículo Elétrico inventado pelo Robert Anderson em 1832-1839



Fonte: CAR AND DRIVER (2018).

Em 1984, o Norte Americano Thomas Davenport inventou o primeiro veículo elétrico de Corrente Contínua (DC) que realizava trabalho e/ou operava em uma pista redonda (circular) elétrica. Após essas duas grandes invenções na época e com a crise do petróleo teria começado a era dos VEs, que podem ser dividido em três eras, e entre ela pode se destacar prosperidade e falência. (DENTON, 2018)

Primeira era é período que ocorreu entre os anos 1851 a 1900, é um período que os VEs ingressaram no mercado e rapidamente atingiram uma grande aceitação, onde os primeiros VEs concretamente em 1897 foram utilizados como transporte público (táxi) em Nova Iorque. E o interesse pelo VEs só aumentava e 1899 foi construído na França La Jamais Contente que significa O Nunca Feliz e então se tornou o primeiro veículo a trafegar acima de 100Km/h. Contudo, os carros alimentados por eletricidade haviam conquistado vários países e eram os mais comercializados no mercado dos EUA, detendo 28% do mercado. (DENTON, 2018)

Depois da primeira era, veio a era de prosperidade e falência (1901-1950), esta nomenclatura foi dada justamente porque, foi o período que o veículo elétrico atingiu o pico histórico da produção, e posteriormente foram substituídos por veículos alimentados por combustíveis fósseis. Isto aconteceu por diversos fatores, mas os principais fatores são: invenção de

motor de partida elétrica e a viabilidade econômica, pois os combustíveis fósseis são muito mais barato.

Em 1912 Charles Kettering inventou motor de partida elétrica, o que facilitou o uso de carros a gasolina, entretanto, essa invenção substituiu a partida manual de veículos a gasolina. Contudo, em 1912 os VEs eram estimado num valor total de 30 mil carros, um valor muito significativo e em década de 30 concretamente em 1935 os números de VEs chegou quase a zero, pois os veículos a combustão interna haviam dominado o mercado devido ao baixo preço do combustível fósseis. (DENTON, 2018)

Segunda era ocorreu nos anos 1951-2000, os fatores que motivaram novamente o interesse pelos VEs é a poluição ambiental e o aumento drástico do valor monetário do petróleo culminando assim no aumento dos seus derivados que alimentam os veículos a combustão interna. Perante este cenário, em 1966 os EUA através do seu congresso introduziu uma lei que recomendava o uso dos VEs como solução para redução de poluição do ar. O embargo da Organização dos Países Exportadores de Petróleo *Opec* sobre o petróleo em 1973 casou aumento dos preços e atraso de fornecimento aos postos, três anos depois a França por sua vez lançou programa denominado *PREDIT* para acelerar a pesquisa e o desenvolvimento de VEs. (DENTON, 2018)

Terceira era ou atualidade, foi o período que os setores públicos e privados se comprometeram com a eletrificação veicular, pois em 2008 o preço de petróleo teria atingido escala recorde. Porém, em 2010 foi lançado o *Nissan Leaf* que é um tipo de veículo elétrico da Nissan. Em 2011, a quantidade de VEs era de 50 mil unidades, ainda em 2011 concretamente em Paris, foi lançado o maior compartilhamento de VEs (*Autolib*), que contava com uma frota de 3 mil veículos, mas o governo Francês não parecia satisfeito, pois se comprometeu em adquirir 50 mil VEs para sua frota até 2015. (DENTON, 2018)

Hoje em dia, os VEs estão presente em muitos países e muitas empresas, dentre os quais destaca-se Ford, Volkswagen, Toyota e Tesla, estão desenvolvendo pesquisas, ao mesmo tempo investindo de uma forma significativa na fabricação de VEs com tecnologias distintas. A Tesla por exemplo, é a empresa mais nova em relação às três outras empresas citados anteriormente, mas ela como sendo uma empresa especializada em veículos elétricos e tecnologias

autônomas têm desenvolvidos VEs de alta categoria cuja as tecnologias são avançadas (Veículos de luxo), ou seja, ela tem desenvolvido VEs inteligentes assim como VEs esportivos.

2.3.1 Veículos Alimentados por Energia Solar Fotovoltaico

A crescente demanda de energia elétrica e o interesse global em redução de CO₂ tem dado oportunidade cada vez mais à geração de energia a partir de fontes alternativas e à facilidade de geração de energia a partir sistemas fotovoltaicos permitiu seu avanço e expansão pelo mundo. Portanto, o avanço nas tecnologias de baterias, capazes de armazenar a energia gerada pela captação dos raios solares durante o dia, tem tornado os projetos de carros solares mais autônomos e convenientes. Mediante estes fatos surgiram inquietações sobre projetar VEs alimentado diretamente pelos sistemas fotovoltaicos, ou seja, pelos painéis solares.

Todavia, os VEs movidos a energia solar não são mais algo apenas da nossa imaginação, contudo ainda sejam poucos os modelos de carros de carros autogeradores, mas ela já é uma realidade, pois algumas empresas já desenvolveram estes veículos, que por alguns são considerados uma combinação sustentável de verdade. O primeiro veículo solar foi desenvolvido pelo norte americano William G. Cobb, ele era funcionário da *General Motors* na época, a invenção de William foi apresentada pela primeira vez na feira "Powerama" da própria montadora e tudo isso ocorreu concretamente em 31 de agosto de 1955 na cidade americana denominada Chicago. É importante enfatizar que a invenção de William era constituído de apenas 6 placas fotovoltaicos de Selênio, que por sua vez alimentava o motor elétrico ligado ao eixo de transmissão do veículo e não era dirigível, pois era meramente um protótipo de 38 centímetros de comprimento. (BLUESOL, 2019)

Em 1958, ou seja, sete anos após a invenção de William foi desenvolvida o primeiro carro solar dirigível pela empresa *Internacional Rectifier Company* que aproveitou o modelo de 1912 do carro elétrico *Baker* e a converteu para funcionar com energia solar fotovoltaica. Foram utilizados cerca de 10.640 células solares fotovoltaicas individuais posicionados sobre o telhado do automóvel com intuito de alimentar sua tração e apesar de todos os trâmites realizados o projeto só foi divulgado 4 ano depois da sua criação. (BLUESOL, 2019)

2.4 Rastreador Solar

Os rastreadores solares são dispositivos utilizados para melhorar a captação de luz solar e conseqüentemente aumentar a eficiência energética de um painel fotovoltaico, pois estes dispositivos têm por objetivo acompanhar todo o percurso do sol durante o nascente e o poente com intuito de manter os painéis fotovoltaicos sempre posicionado e/ou perpendicular à radiação solar visto que a energia solar é a conversão direta da luz do sol sobre os painéis fotovoltaicos. Os estudos de (FROSI *et al.*, 2018) apontam que a utilização destes dispositivos podem aumentar entre 11% à 50% o processo de conversão de energia gerada pelos painéis, porém esses resultados irão depender do local ou a região da instalação.

2.4.1 Tipos de rastreadores solar

Existem vários tipos de seguidores ou rastreadores solares, dos quais dois grandes grupos se destacam: os seguidores de um e de dois eixos. Entretanto, o rastreador de um eixo rotativo é mais simples quando comparado a de dois eixos, pois ela é composta por um único eixo e envolve movimentos mecânicos simples, assim como o processo de controle. Para este tipo de sistema é utilizado um atuador elétrico o qual em muitos casos é alimentado de uma forma externa. Adicionalmente, ela envolve três possíveis formas para seu posicionamento, dos quais são: posicionamento vertical ou com inclinação e o posicionamento horizontal cuja orientação pode seguir apenas sentidos já estabelecidos, podendo ser leste-oeste ou norte-sul. Apesar deste método ser economicamente mais viável em relação a dois eixos, sua precisão tende a ser inferior justamente pelo fato dele poder ser posicionado em relação a dois pólos. Os rastreadores com dois eixos rotativos além de serem mais caros quando comparado com os de um eixo também necessitam de uma área maior para sua instalação devido a sua característica mecânica complexa envolvida no sistema. Apesar disso, eles são mais eficientes em relação aos de um eixo. Os rastreadores de dois eixos rotativos funcionam da seguinte maneira: um dos eixos tem a função de acompanhar a trajetória do sol enquanto que o outro é responsável por ajustar a inclinação. A junção da funcionalidade destes dois eixos resulta em uma melhor taxa de conversão de energia porque, através delas é possível acompanhar todo o percurso do sol. (GODOY, 2019)

2.4.2 Veículos elétricos movidos a energia solar com sistema de rastreamento solar e Arduino

A viabilidade de construção dos VEs alimentados de energia solar fotovoltaica conduziu à possibilidade de integrar a este, um sistema de rastreamento solar visto que os rastreadores solares têm um potencial de maximizar a produção de energia nas células fotovoltaicas. A utilização desta tecnologia pode tornar viável a construção de VEs independentes de baterias que possam realizar percursos durante o período diurno utilizando apenas luz de sol para realização do trabalho (tração), tornando este modelo ainda mais limpa e sustentável. De acordo com (PRATES, 2019), poucos trabalhos foram desenvolvidos sobre esta tecnologia e maior parte das pesquisas realizadas nesta área são oriundos dos países asiáticos. Um grupo dos pesquisadores em Bangladesh desenvolveram um modelo de veículo elétrico híbrido, no qual utilizaram um sistema fotovoltaico com rastreamento solar juntamente com células de combustível de hidrogênio cuja função é de carregar a bateria e consequentemente alimentar o veículo. A junção dessas duas tecnologias permitiu ao veículo uma maior autonomia visto que ela consegue se locomover mesmo nos dias nublados, chuvoso assim como em situações noturnas. A velocidade média atingida por este modelo com rastreador solar foi de 1,01 metros por segundos (m/s). Na Índia foi desenvolvido também um projeto deste mesmo segmento, onde uma dupla de investigadores desenvolveram um veículo controlado via rede de comunicação de Sistema Global para Comunicação Móvel GSM. Um painel fotovoltaico cuja potência de 5 Watts é a fonte responsável por carregar uma bateria de 12V. Este painel foi acoplado a um sistema de rastreamento solar com eixo duplo que realizava as devidas medições de dados da intensidade da luz como uma referência para rastreio, tendo a capacidade de manter o painel sempre na posição de máxima incidência solar sobre o painel. O que dava tranquilidade aos pesquisadores era a capacidade de controle do veículo via celular em longas distâncias sem se preocuparem com a carga das baterias, visto que este acumula a energia necessária a partir do painel fotovoltaico.

2.5 Arduino

A tecnologia em eletroeletrônica, robótica, etc; se encontra em quase tudo que nos rodeia sendo que a maioria delas são projetadas através da plataforma Arduino. O Arduino pode ser entendido com sendo um projeto que abrange *software* e *hardware* cuja a finalidade é fornecer uma plataforma de fácil uso para prototipação de projetos interativos tanto para os engenheiros

assim como para designers, técnicos, hobbistas e pessoas com interesse em desenvolver projetos ou ambientes interativos. O Arduino pode receber uma variedade de sensores nas entradas assim como pode atuar no ambiente a sua volta por controladores de iluminação, motores e além disso ela também pode atuar com uma infinidade de atuadores. A diferença entre um Arduino e um computador convencional é que ele possui menor porte tanto no tamanho e quanto na capacidade de processamento visto que o Arduino utiliza dispositivos distintos para entrada e saída de modo geral, pois os dispositivos que ela utiliza na entrada e na saída são circuitos elétricos ou eletrônicos, ao passo que, computador utiliza mouse e teclados como dispositivos de entrada e para saída utiliza impressoras e monitores.(SLIDESHARE, 2020)

O Arduino se diferencia das outras plataformas disponíveis no mercado, pois ela apresenta um ambiente multiplataforma e pode ser executado em *Linux*, *Windows* e *Macintosh*. Ele possui um *hardware* viavelmente econômica por apresentar baixo custo monetário, apresenta como base um ambiente de fácil utilização que foi baseado em *processing*, sua programação pode ser feita através de um cabo de comunicação USB e este procedimento geralmente não necessita de uma fonte de alimentação, e o mais interessante é que ela possui *software* e *hardware open-source* que permite e facilita a montagem do seu próprio programa sem precisar pagar nada aos criadores originais.(SLIDESHARE, 2020)

Existem vários modelos da placa de Arduino o que permite um projetista escolher um modelo de acordo com a sua necessidade. Essas diversidades do Arduino têm haver com a especificação que cada placa do Arduino possui, por exemplo, tem algumas placas que a sua tensão de entrada varia de 3.3 a 12V e entregam uma tensão de 3.3V na saída, outros possuem tensão de entrada variando de 5 a 12V ou de 7 a 12V, mas os dois modelos entregam uma tensão de saída de 5V. Os modelos mais Utilizados para fins acadêmicos são Arduino *Mega ATmega2560*, *Nano ATmega328*, *Uno ATmega328P*, *Micro ATmega32U4*, etc. (KITS, 2020)

3 METODOLOGIA

Devido a impossibilidade da utilização do laboratório de energia renovável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), por causa de isolamento social, ocasionado pelo , este projeto foi desenvolvido na sua íntegra em casa. No referencial teórico, foram estudados os conceitos da energia solar fotovoltaico, modelos de veículos elétricos e dispositivos de rastreadores em que foram verificadas outras aplicações e sua adaptação para um sistema de rastreamento solar. Desta forma surgiu a ideia de utilização do Arduino. Ao longo da pesquisa, foram encontrados modelos de programação adaptável à aplicação deste projeto, facilitando assim a montagem dos componentes eletrônicos. O processo de desenvolvimento do projeto compreende-se 4 etapas que são descritas a seguir:

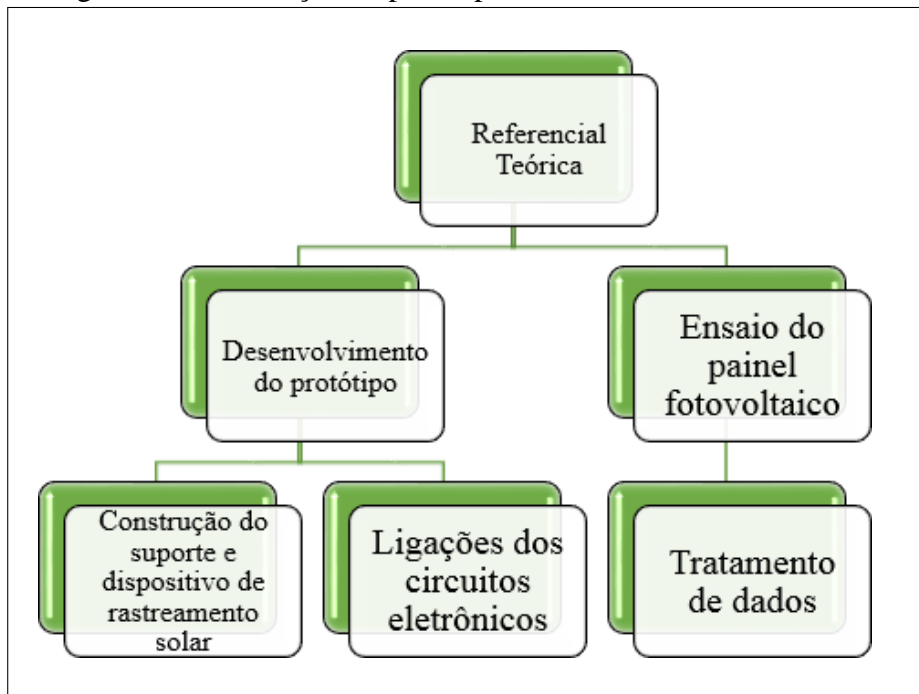
Etapa 1: trata-se da caracterização do painel utilizado no projeto;

Etapa 2: descreve o desenvolvimento do veículo;

Etapa 3: descreve a adaptação do suporte orientável e dispositivo de rastreamento;

Etapa 4: refere-se aos testes realizados com o veículo.

Figura 11 – Diagrama de construção do protótipo

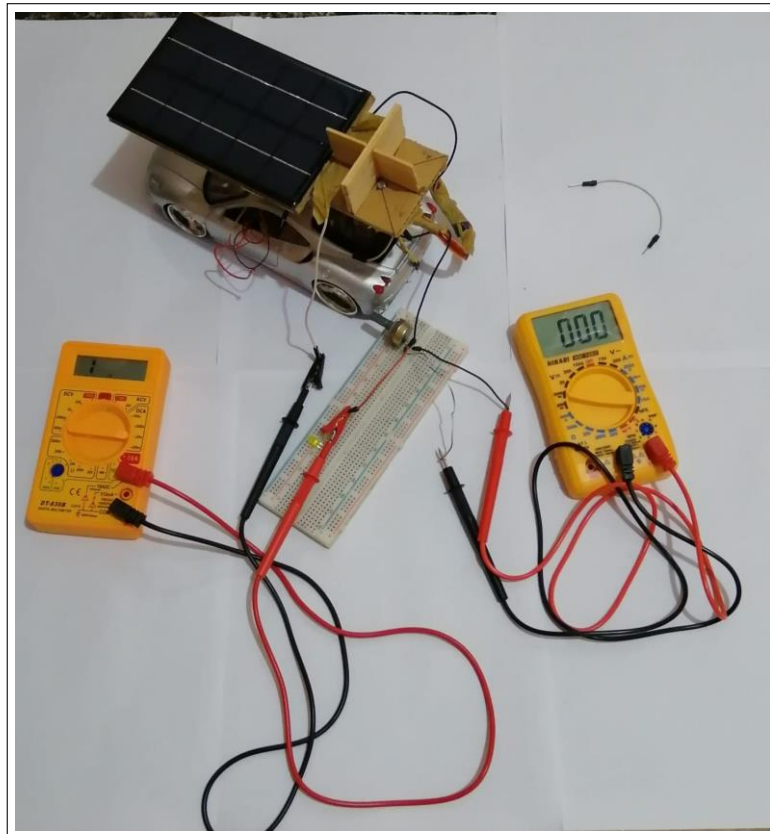


Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO PAINEL FOTOVOLTAICO

Para caracterização do painel recorreu-se à análise da curva característica onde se utilizou a metodologia de (NETO *et al.*, 2017), que consiste na montagem de circuito apresentado na Figura 5, utilizando o painel, amperímetro, voltímetro e um potenciômetro de $10K\Omega$ conforme discriminado na Figura 12.

Figura 12 – Montagem do protótipo do veículo elétrico alimentado pela energia solar



Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014)

Para medir a corrente foi conectado um multímetro em série com o painel, e um segundo multímetro foi conectado em paralelo com o painel cujo a função é de medir a tensão. Sabendo que os multímetros podem medir a tensão e a corrente em DC assim como em Corrente Alternada (AC), no entanto, foi necessário configurar estes aparelhos em DC visto que a energia gerada na placa é emitida em DC. Contou-se com auxílio de um *protoboard* para efetuar as devidas ligações, entretanto, conectou-se o potenciômetro em paralelo com a placa, onde este teve a função de uma carga variável. Depois da montagem do circuito, foi realizado o teste de campo com o experimento, concretamente entre 12 e 13 horas. Iniciou-se o procedimento com a carga nula no potenciômetro e em seguida, foi variando o mesmo até atingir o valor

máximo da sua carga, anotando-se os valores da tensão e corrente respectivamente as diversas cargas do potenciômetro. Com os dados coletados referente ao teste, foi utilizado *Latex table* para construção das tabelas e o Excel para construir uma curva característica referente à tensão *versus* corrente (VxI) e uma outra curva característica referente à tensão *versus* potência (VxP). Lembrando que a potência P é dado pela Equação 3.1.

$$P = V \cdot I \tag{3.1}$$

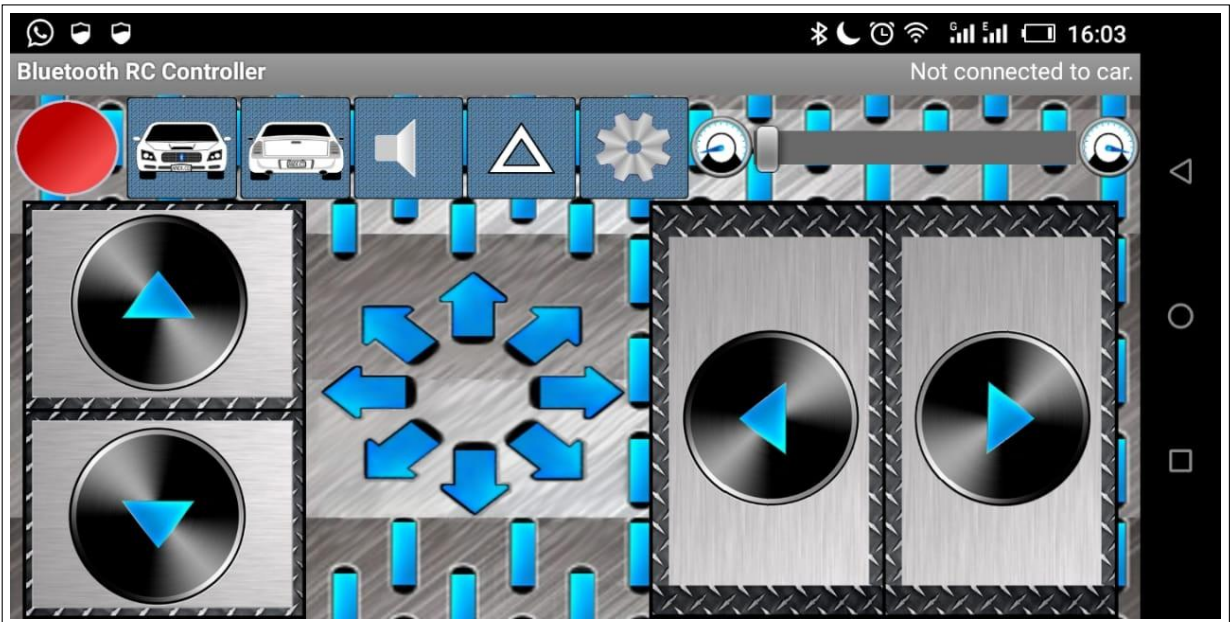
3.2 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Para construção do protótipo, adaptou-se uma carcaça de um carrinho de controle remoto simples, na qual foi retirado todos os componentes e circuitos elétricos e eletrônicos envolvidos neste excepto os dois motores de DC com a tensão de operação de 3 a 6 V e 1 W de potência. Fez-se uma nova instalação de circuitos elétricos e eletrônicos, onde foram utilizados os seguintes componentes:

- Arduíno Nano;
- Um Módulo de Bluetooth HC 05;
- Um Mini Ponte H L298N;
- Um Buzzer Ativo;
- Uma placa de PBC Ilhada;
- Quatro Leds;
- Quatro Resistores de 220Ω e um Resistor de 10KΩ.
- Jumpers Machos e Fêmeas e Fios;
- Estanho de solda;
- Uma Bateria de 9V.

Optou-se por desenvolver um sistema que poderia ser controlado através de um celular android, visto que era possível realizar este procedimento a partir de uma placa Arduino Nano carregando um código nela conforme apresentado em Anexo A o que lhe torna responsável por receber e emitir um sinal ao sistema quando acionado a partir do aplicativo celular denominado *Arduino Bluetooth Car* conforme ilustrado na Figura 13.

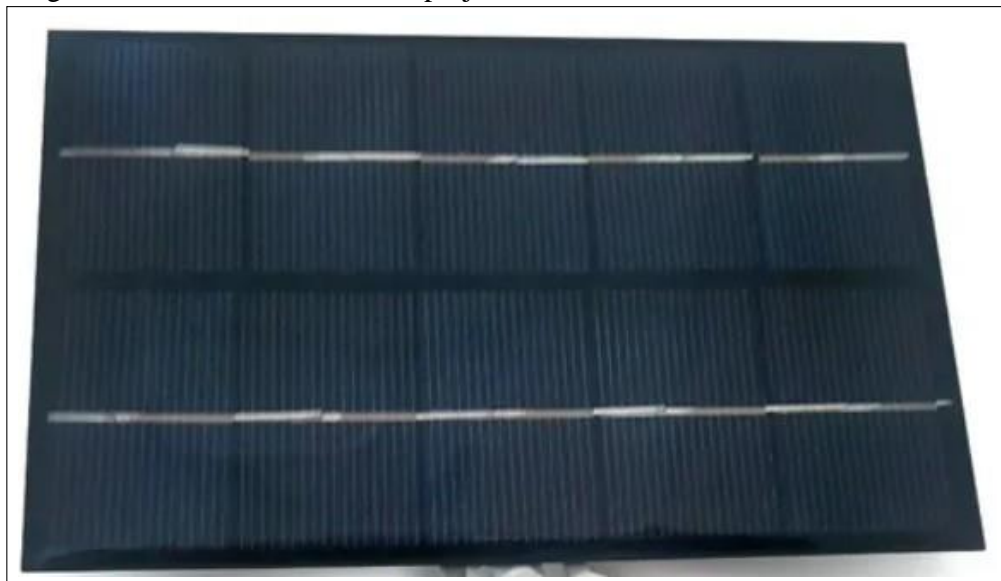
Figura 13 – Interface do aplicativo Arduino *Bluetooth Car*



Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014)

Adicionalmente, utilizou-se uma bateria de 9V que serviu para alimentar o Arduino e os demais componentes supracitados excepto a os dois motores que são alimentados por uma bateria recarregável de 3.7V que é recarregado diretamente por uma mini placa solar. A mini painel solar utilizado para atender a necessidade energética dos dois motores e o dois servo motores, possui uma tensão de saída de 5V, a corrente de 900mA, 5W de Potência e dimensões de 145x90x3mm conforme mostrado na Figura 14.

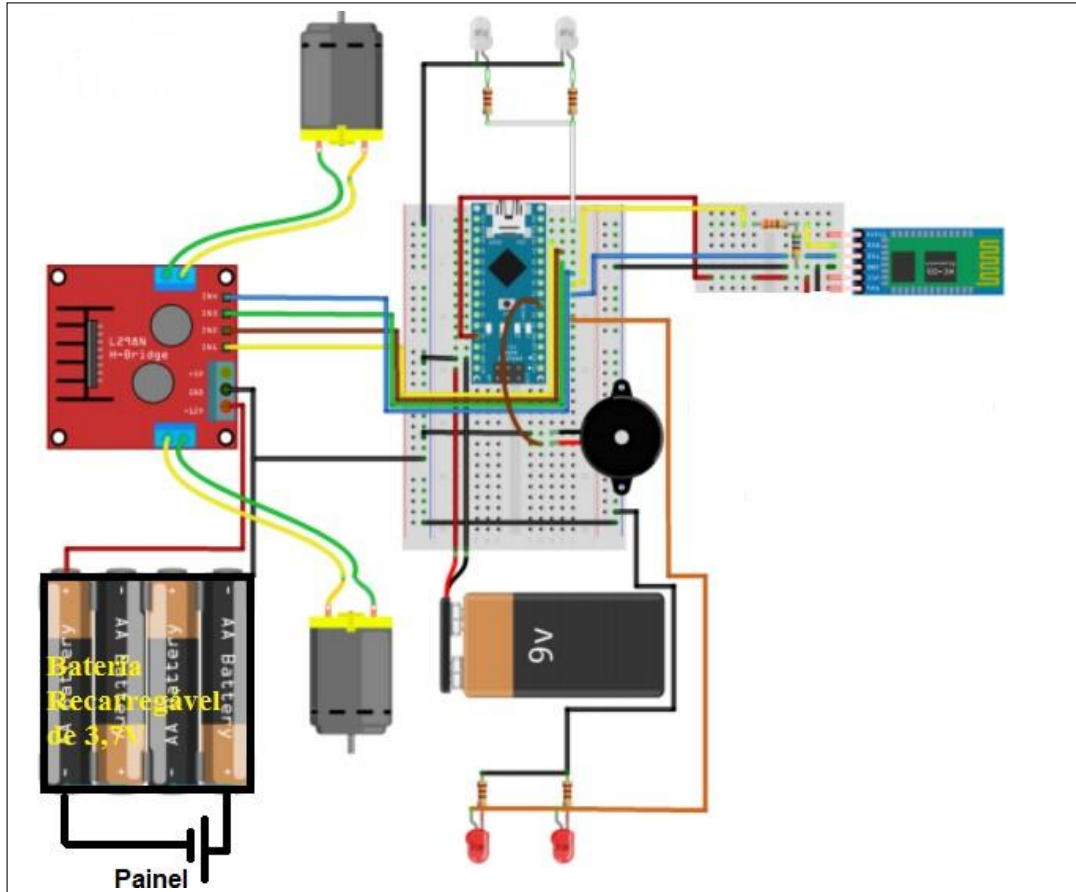
Figura 14 – Painel utilizado no projeto



Fonte: Mercado Livre, 2021

ligações feitas, ou seja, o circuito instalado no protótipo pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 – Circuito Elétrico do veículo

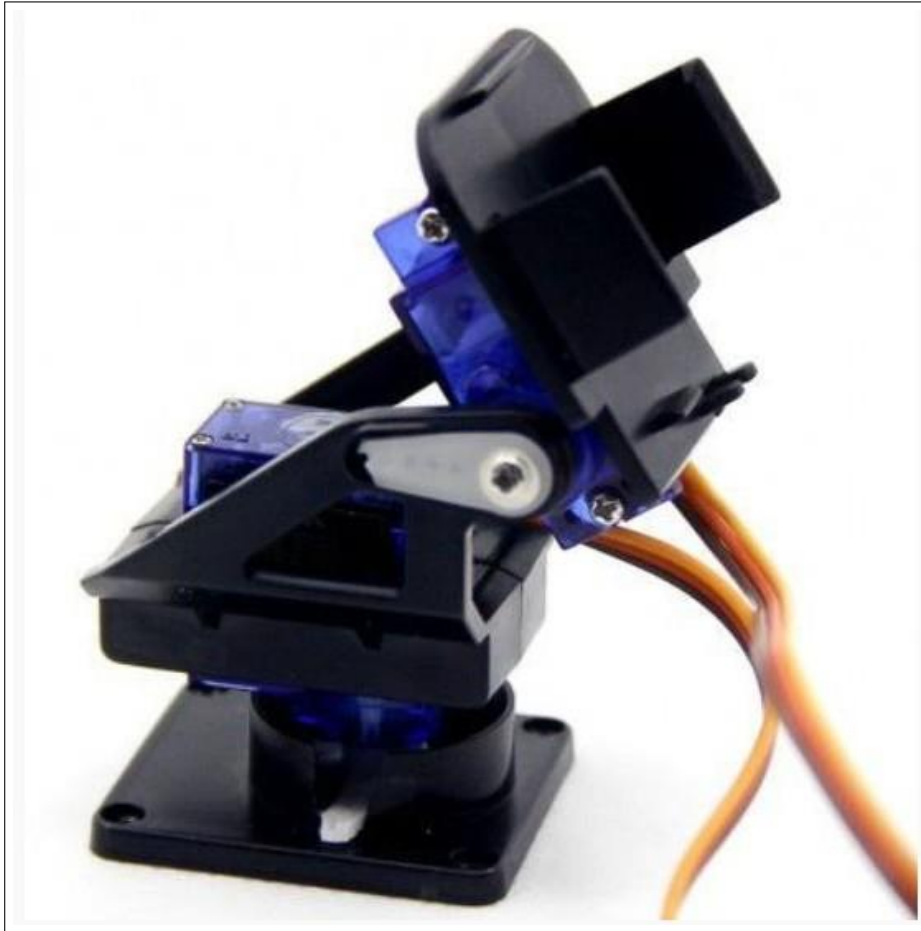


Fonte: Autor, 2021

3.2.1 Suporte Orientável

Nesta etapa, optou-se por adaptar o Pan Tilt, que é um suporte feito para direcionar uma câmera automaticamente, no eixo vertical (Pan) e horizontal (Tilt) utilizando dois servomotores, a combinação desses dois movimentos realizados por esses dois eixos e que tem como objetivo proporcionar uma amplitude de movimento capaz de alcançar as posições necessárias de acordo como movimento do sol. O suporte utilizado é apresentado na Figura 16, normalmente, este tipo de suporte vem desmontado, porém fez-se a sua montagem, onde foi fixado um servo motor na base de cabeça para abaixo e segundo servo motor que foi fixado de lado. Com o auxílio das outras peças, foi possível realizar uma fixação segura dos servo motores de acordo com a necessidade do projeto.

Figura 16 – Suporte Orientável Pan Tilt



Fonte: Arducore, 2021

3.2.2 Construção do Dispositivo de Rastreamento

Esta etapa compreende-se uma abordagem de rastreamento baseada em sensores Resistor Dependente de Luz (LDR's), capaz de posicionar continuamente o PV (mini placa solar). Para desenvolvimento do dispositivo de rastreamento foi utilizado os seguintes materiais: quatro resistores de $10K\Omega$, quatro LDR's de 5mm, uma placa de Arduino Uno e dois servomotores, palitos de picolé e papelão. Os sensores LDR's têm a capacidade de captar a intensidade da luz incidente sobre ela na sua superfície sensível. Eles são construídos a partir de um material semicondutor de alta resistência elétrica e possuem apenas dois terminais e não têm polaridade, ou seja a sua resistência varia conforme a intensidade de luz incide sobre eles. Os LDR's mais comuns possuem maior sensibilidade à luz visível, mas existem vários que possibilitam uma maior sensibilidade à luz infravermelha. Um sensor LDR's pode ser verificado na Figura 17.

Figura 17 – Resistor dependente de luz LDR



Fonte: COMPIC, 2021

Um servomotor é apresentado na Figura 18 e pode ser entendida como sendo um motor que pode ser controlado sua posição angular através de um sinal PWM, em outras palavras, pode-se dizer que um servomotor é atuador eletromecânico para posicionar um objeto e mantê-lo numa determinada posição. Isso é possível porque, ele possui um circuito que verifica o sinal de entrada e em seguida faz a comparação do mesmo com a posição atual do eixo. Um servomotor diferencia-se dos motores de DC ou motores de passo que podem girar indefinidamente, pois o um servomotor possui a liberdade de variação do ângulo de 0 a 180°. Eles geralmente possuem três fios (pinos) de cores diferentes que determinam sua ligação, onde a cor vermelha representa alimentação positiva, preto ou marrom representa terra GND e a cor laranja, amarelo ou branca representa pino digital de entrada e de saída.(SILICIO, 2021)

Figura 18 – MICRO SERVO 9G SG90 TOWERPRO



Fonte: Adaptado de Baú da Eletrônica, 2021

Arduíno Uno Rev3 ATmega328P é mostrado na Figura 19 , é uma das lindas de plataforma Arduíno que foi utilizado como microcontrolador para sistema de rastreamento. Uma plataforma de Arduíno tem autonomia de interagir com diversos meios através de conexões dos dispositivos que capturam informações de um determinado ambiente ou que podem ser controlados, o LDR's é um dos dispositivos que enquadra nessa descrição (plataforma Arduíno).

Figura 19 – Placa de Arduíno Uno Rev3 ATmega328P

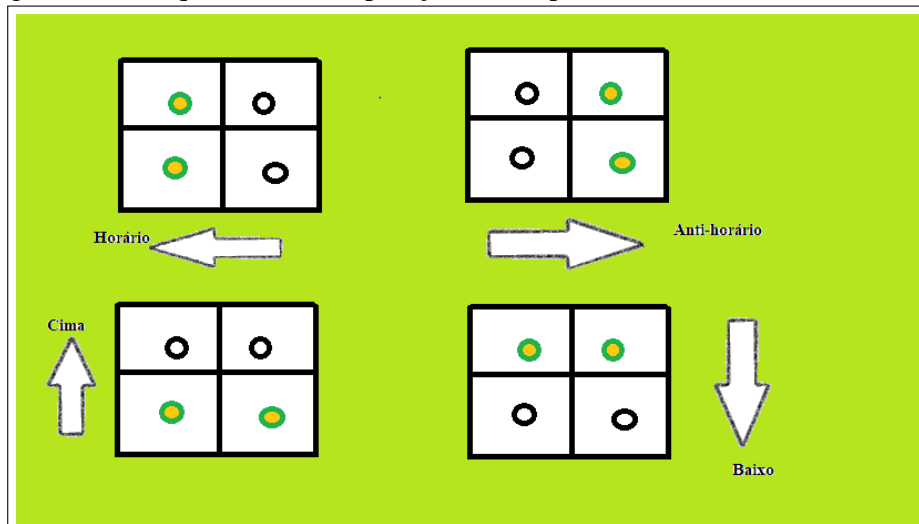


Fonte: Adaptado de ELECTROFUN, 2021

Na construção do dispositivo de rastreamento foram agregados os em uma placa de papelão quadrada com os lados iguais de 6cm, e este foi repartido em quatro quadrantes, as orientações de instalações dos sensores de luminosidade foram feitas com base nas orientações norte, sul, leste e oeste. Foi adotado este método, justamente, para minimizar a interferência da luz de sol nas leituras de cada sensor, permitindo assim o dispositivo de rastreamento uma ampla capacidade de coordenação dos eixos.

Foi desenvolvido um sistema de rastreamento de dois eixos (biaxial), que permite monitoramento no sentido horário e anti-horário, de baixo para cima ou de cima para baixo, no entanto, os LDR's trabalham em dupla para determinar os movimentos dos servomotores como pode ser observado na Figura 20.

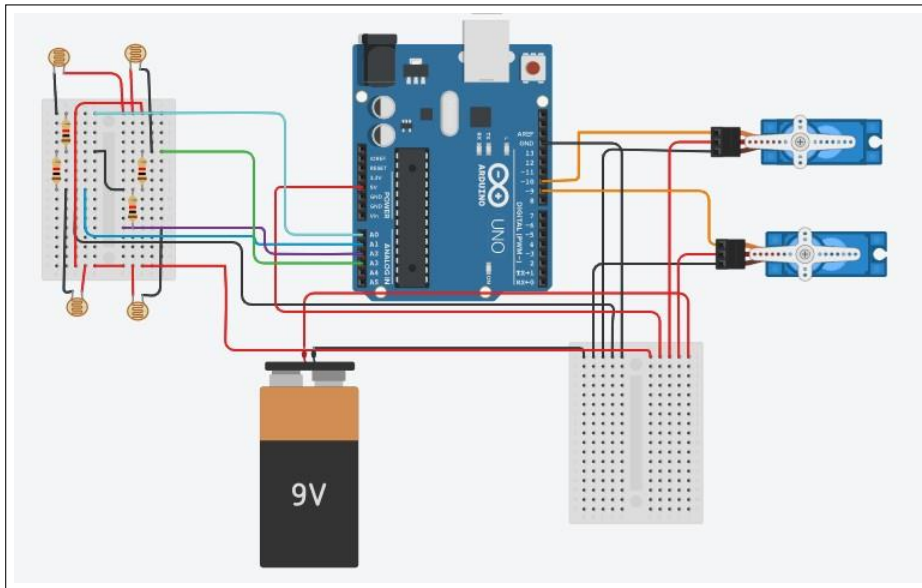
Figura 20 – Esquemática de operação do dispositivo de Rastreamento



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021

A sincronia dos servomotores e os LDR's deve-se a programação de um algoritmo feito no Arduino conforme mostrado no Anexo B. Através desse algoritmo, realizou-se a montagem dos circuitos eletrônicos, onde as conexões estipuladas no microcontrolador Arduino Uno estão ilustradas na Figura 21.

Figura 21 – Circuito Elétrico do sistema de Rastreamento



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021

A figura 22 mostra o projeto final com o suporte e dispositivo de rastreamento fixada em cima do veículo.

Figura 22 – Projeto final



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021

3.3 MECANISMO DE ENSAIO PARA TESTE DO RASTREADOR

Após a montagem dos circuitos de dispositivo de rastreamento, realizou-se dois teste nos locais diferentes, respectivamente em casa e ar livre. O fato deve-se ao interesse de verificar a eficiência do dispositivo. Porém preferiu-se realizar os testes práticos em ambiente externo porque, fornece uma melhor incidência solar aos sensores. O local externo escolhido foi quintal da minha casa visto que o mesmo possui uma ampla área sem obstáculos que poderiam interferir na incidência de captação.

3.3.1 Teste de Rastreamento Móvel no Ambiente Interno e Externo

Os testes de rastreamento móvel foram feitos em duas etapas cujo a finalidade é de obter uma resposta por parte do dispositivo de rastreamento quando submetido a uma luz. Entretanto, na primeira etapa, utilizou-se a lanterna de um celular androide para realizar os testes, inicialmente colou-se o dispositivo de rastreamento em cima de uma mesa e em seguida alimentou-se o mesmo com uma bateria de 9V, após daquilo posicionou-se a lanterna do celular em frente ao painel e em seguida ligou-se a lanterna e foi alterado o mesmo várias vezes. O dispositivo por sua vez faz o rastreamento da luz através dos sensores se deslocando ao encontro da maior incidência luminosa posicionando assim a placa solar de forma perpendicular à fonte de iluminação (lanterna). Na segunda etapa, que compreende realização de testes no ambiente externo, onde foi utilizado o sol como a fonte de luminosa. Este processo foi realizado num dia totalmente nublado com a temperatura de 29°C e 77% da umidade do ar, de acordo com dados meteorológico de Redenção Ceará. Iniciou-se o processo com o painel no sentido vertical e em seguida alimentou-se o dispositivo de rastreamento e logo após o mesmo fez-se o rastreio da incidência da luz de sol e posicionou o painel no sentido horizontal, ou seja, ele conseguiu posicionar o painel de forma perpendicular a luz de sol.

3.4 Teste de Desempenho Elétrico do Painel Fotovoltaico

Nesta seção buscou-se avaliar o desempenho do painel fotovoltaico com sistema de rastreamento solar denominado móvel e o sistema sem rastreamento solar denominado fixo. Foi quantificado a potência gerada pelo painel fotovoltaico nos dias, nublado, parcialmente nublado e Ensolarado. Foi necessário essas avaliações, justamente, para avaliar a interferência de nuvens.

3.5 Procedimento de Ensaio do Protótipo

Nesta etapa, buscou-se analisar a eficiência do protótipo com base na velocidade atingida pelo mesmo com o dispositivo de rastreamento solar e sem o dispositivo de rastreamento solar, Procurando verificar a viabilidade de uso desta tecnologia nesta aplicação. Para realização de teste, criou-se um percurso retangular com comprimento de 5 metros e e largura de 4 metros, e para cada lado do retângulo foi definido uma reta, totalizando assim em 4 retas que foram percorridos pelo veículo separadamente. Para o calculo da velocidade utilizou-se a Equação 3.2, que é a razão da distância pelo tempo.

$$V = \frac{S}{t} \tag{3.2}$$

Onde:

- V é a velocidade dada em (m/s);
- t - tempo dado em segundos (s);
- S - deslocamento, medida em metros (m).

Para medir a distância que o protótipo irá percorrer, utilizou-se uma fita metro de construção civil e o cronometro de celular para cronometrar o tempo.

4 RESULTADOS

Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos a partir dos experimentos realizados com o painel fotovoltaico, dispositivos de rastreamento solar na área interna e externa. As conclusões das experiências foram relacionados através do desempenho elétrico do painel fotovoltaico com o rastreador (móvel) e sem o rastreador (fixo) solar. Serão apresentados também os resultados da caracterização do painel fotovoltaico utilizado para o desenvolvimento do protótipo. Ainda serão apresentados os resultados da potência gerada do sistema fixo e o sistema com o rastreador solar nos dias, nublado, parcialmente nublado e ensolarado, por fim o desempenho do protótipo para cada um dos sistemas.

4.1 CURVA CARACTERÍSTICA

Os dados coletados para construção da curva característica do painel fotovoltaico estão apresentados na Tabela 1, como os valores de tensão, corrente e potência de acordo com o procedimento do (NETO *et al.*, 2017). Os valores de maior importância na caracterização do painel fotovoltaico foram determinados, onde tensão de circuito aberto V_{oc} obtida no experimento corresponde 5,80 V e corrente de curto circuito I_{sc} corresponde 0,59 A.

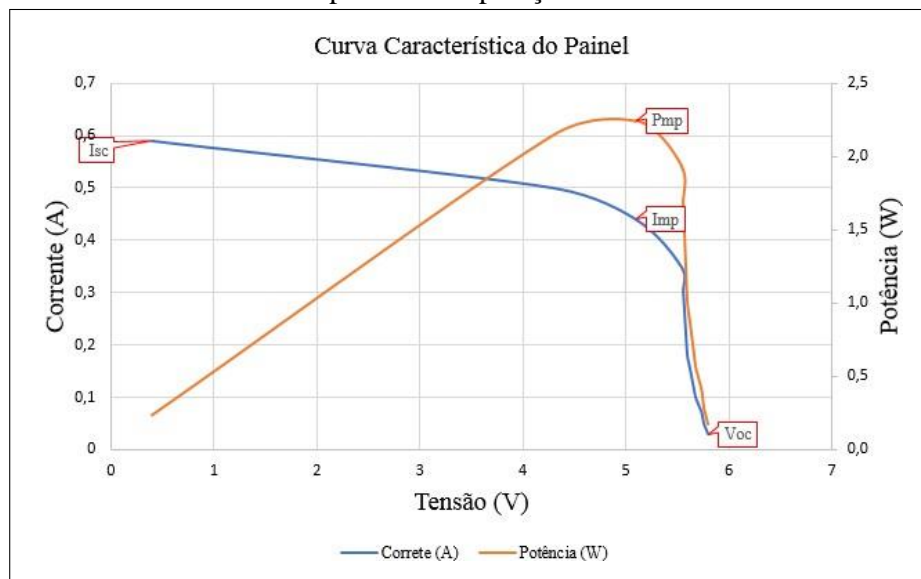
Tabela 1 – Valores obtidos no teste elétrico do painel para construção de curva característica

Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)
5,8	0,03	0,2
5,78	0,04	0,2
5,76	0,05	0,3
5,74	0,07	0,4
5,72	0,08	0,5
5,7	0,09	0,5
5,68	0,1	0,6
5,66	0,12	0,7
5,65	0,13	0,7
5,62	0,16	0,9
5,6	0,18	1,0
5,58	0,24	1,3
5,56	0,3	1,7
5,54	0,35	1,9
5,1	0,44	2,2
4,3	0,5	2,2
0,4	0,59	0,2

Fonte: Autor, 2021

Porém, os resultados obtidos na construção da curva característica coincide com a literatura e poderão ser observados na Figura 23, onde destacam-se as curvas de tensão *versus* corrente (VxI) associada a curva de tensão *versus* potência (VxP), sob condição de campo. Os valores obtidos através das curvas são: potência máxima P_{mp} de 2,2 W, tensão máxima de pico V_{mp} de 5,1 V, corrente de máxima de pico I_{mp} de 0,44 A. Esses valores eram necessário para dimensionamento do projeto (protótipo).

Figura 23 – Curva característica do painel em operação

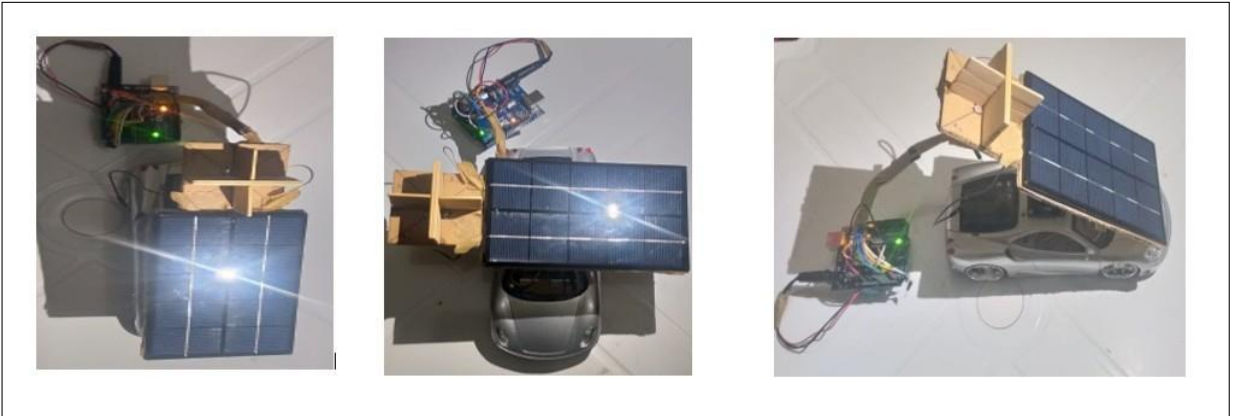


Fonte: Autor, 2021

4.2 EXPOSIÇÃO DO SISTEMA DE RASTREAMENTO

Através dos testes realizados conforme detalhado no ambiente interno e externo utilizando-se o painel fotovoltaico acoplado a um sistema de rastreamento solar fixada em cima do veículo. Para realização de teste no ambiente interno, utilizou-se uma mesa plástica como apoio, e sobre ela foi colocada e mantida fixo o veículo para fins de testes, no entanto, posicionou-se a lanterna de um celular *Android* em diferentes posições com intuito de verificar a resposta do rastreador quanto a sua capacidade de rastreamento conforme a variação da luminosidade emitida pela lanterna. As respostas dos testes podem ser observados na Figura 24

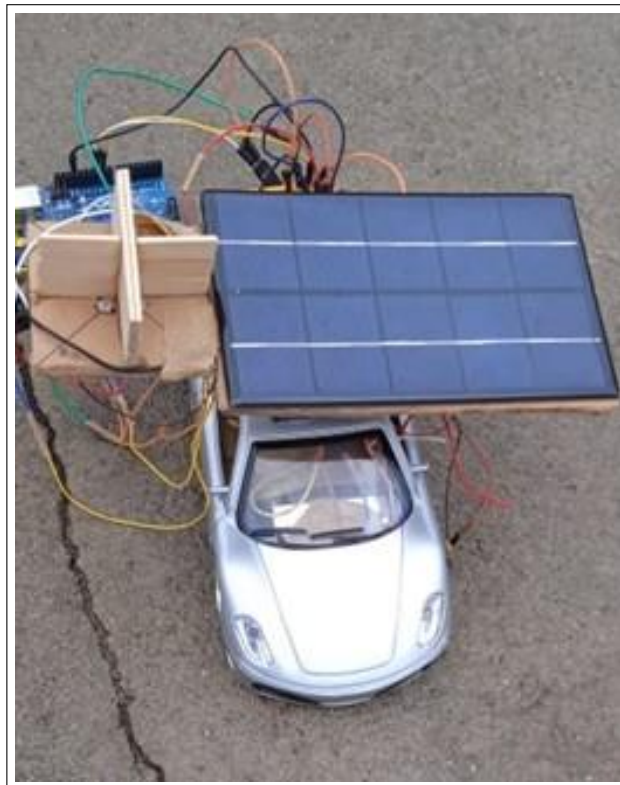
Figura 24 – Imagens capturadas no momento de teste do rastreador no ambiente interno em diferentes posições



Fonte: Autor, 2021

Em seguida foi realizado o teste em ambiente externo cuja a finalidade é de avaliar a capacidade do rastreador quando submetida a luz do sol. Pode-se observar a partir da Figura 25 que o dispositivo de rastreamento responde a incidência da luz solar sobre o painel, mantendo-o sempre perpendicular ao sol. Porém os resultados obtidos nos testes tanto no ambiente interno, assim como no ambiente externo foram satisfatório.

Figura 25 – Imagens capturadas no momento de teste do rastreador no ambiente externo



Fonte: Autor, 2021

4.3 Teste de Desempenho Elétrico do Painel Fotovoltaico

Nesta etapa, procurou-se avaliar as potências geradas com e sem o sistema de rastreador solar nos três dias que foram realizados coleta de dados. Entretanto, foram escolhidos os dias nublado, parcialmente nublado e ensolarado, correspondendo assim as seguintes datas: 30 de março de 2021, 31 de março de 2021 e 02 de abril de 2021. Estas análises foram realizadas justamente para poder aproximar o máximo possível os resultados da realidade, visto que nem todo dia será ensolarado. Os resultados coletados estão discriminados nas Tabelas 3, 4 e 5, onde os pontos foram mensurados de meia em meia hora de forma simultânea para cada uma das situações, num período de 8 à 17 horas, descartando assim os horário fora do intervalo citado acima visto que os valores de energia do painel é baixa.

4.3.1 Tempo Nublado

A Tabela 2 discrimina os valores de tensão, corrente e potência mensuradas durante a coleta dos dados no dia 30 de março de 2021. Com os valores obtidos foi possível a construção do gráfico de horas *versus* potência gerada pelo painel fotovoltaico em um dia nublado para os dois sistemas (fixo e móvel), e o mesmo pode ser observado na Figura 26.

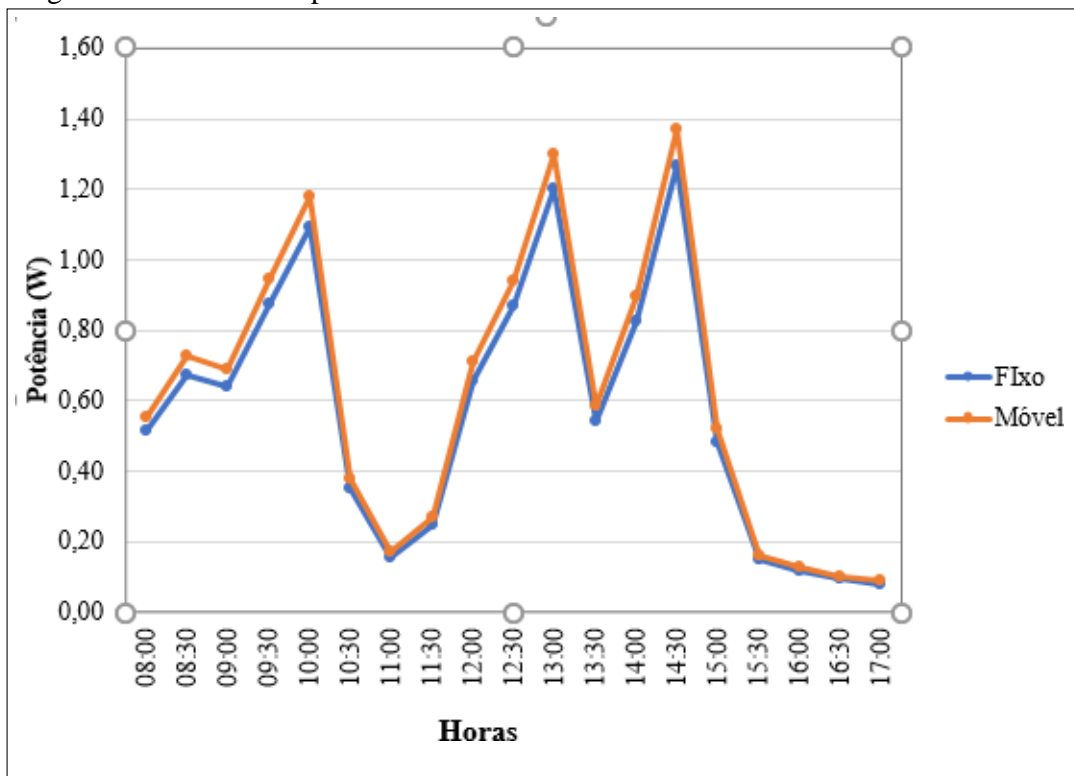
Tabela 2 – Valores registrados no teste do desempenho elétrico do painel no dia nublado

Hora	Fixo			Móvel		
	Tensão (V)	Corrente(A)	Potência (W)	Tensão (V)	Corrente(A)	Potência (W)
8:00	5,72	0,090	0,51	5,89	0,120	0,71
8:30	5,66	0,119	0,67	5,83	0,125	0,73
9:00	5,34	0,119	0,64	5,50	0,125	0,69
9:30	5,68	0,154	0,87	5,85	0,161	0,94
10:00	5,59	0,196	1,09	5,76	0,205	1,18
10:30	5,2	0,067	0,35	5,36	0,071	0,38
11:00	5,17	0,030	0,16	5,33	0,032	0,17
11:30	5,39	0,046	0,25	5,55	0,048	0,27
12:00	5,68	0,116	0,66	5,85	0,122	0,71
12:30	5,55	0,156	0,87	5,72	0,164	0,94
13:00	5,49	0,219	1,20	5,65	0,230	1,30
13:30	5,66	0,096	0,54	5,83	0,101	0,59
14:00	5,64	0,146	0,83	5,81	0,154	0,89
14:30	5,65	0,224	1,27	5,82	0,235	1,37
15:00	5,63	0,085	0,48	5,80	0,090	0,52
15:30	5,29	0,028	0,15	5,45	0,030	0,16
16:00	5,16	0,022	0,12	5,31	0,024	0,12
16:30	5,07	0,019	0,09	5,22	0,020	0,10
17:00	4,99	0,016	0,08	5,14	0,017	0,09

Fonte: Autor, 2021

Através da Figura 26 é possível também verificar que o dispositivo de rastreamento solar não teve um bom rendimento por conta da baixa intensidade da incidência solar no painel porque, normalmente quando o tempo é fechado pelas nuvens, a maior parte da radiação é refletida, no entanto, isso acaba por afetar a incidência solar na superfície terrestre e consequentemente na superfície do painel fotovoltaico, o que acarreta no seu rendimento também.

Figura 26 – Curvas de potência fixo e móvel em um dia Nublado



Fonte: Autor, 2021

4.3.2 Tempo Parcialmente Nublado

Em seguida apresenta-se os valores coletados no dia 31 de março de 2021, que compreende um dia parcialmente nublado, onde os valores da potência gerado pelo painel tanto para o sistema fixo e quanto para o sistema móvel estão discriminados na Tabela 3.

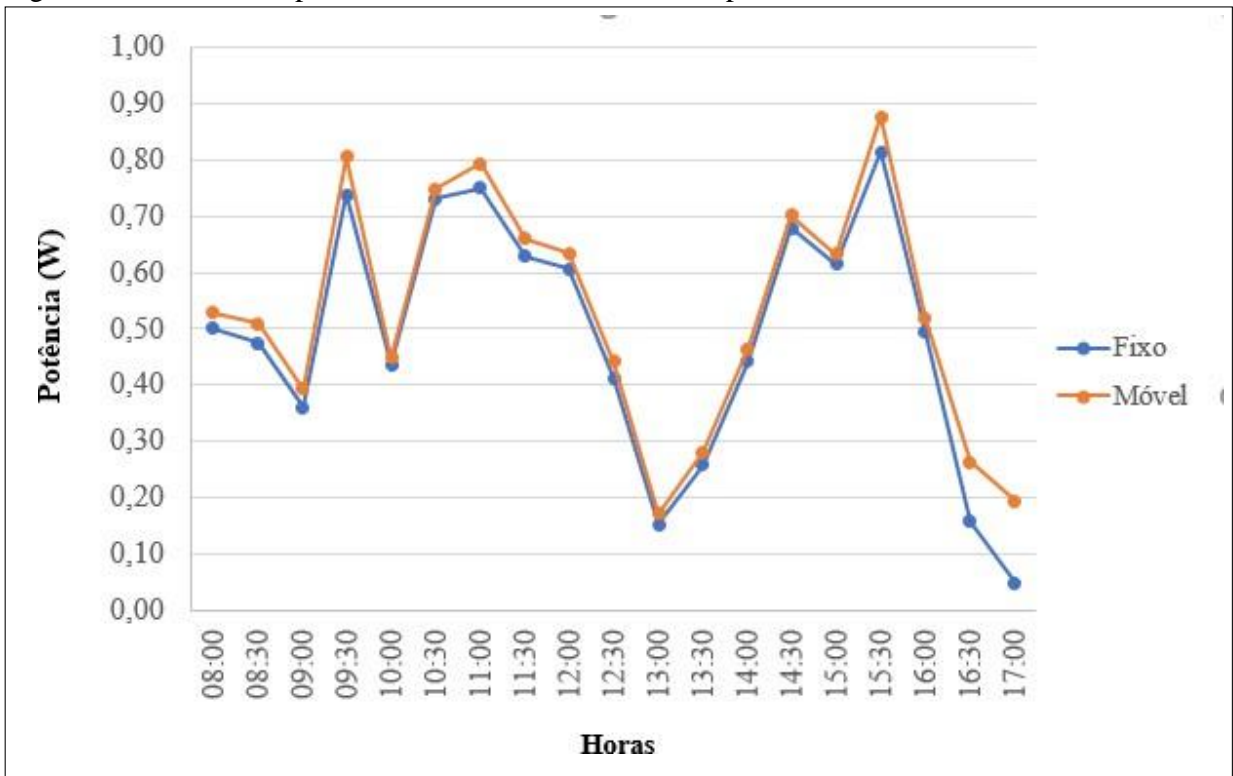
Tabela 3 – Valores registrados no teste do desempenho elétrico do painel no dia parcialmente ensolarado

Hora	Fixo			Móvel		
	Tensão (V)	Corrente(A)	Potência (W)	Tensão (V)	Corrente(A)	Potência (W)
8:00	5,6	0,09	0,50	5,75	0,09	0,53
8:30	5,44	0,09	0,47	5,65	0,09	0,51
9:00	5,3	0,07	0,36	5,61	0,07	0,39
9:30	5,43	0,14	0,74	5,75	0,14	0,81
10:00	5,62	0,08	0,44	5,6	0,08	0,45
10:30	5,8	0,13	0,73	5,75	0,13	0,75
11:00	5,52	0,14	0,75	5,67	0,14	0,79
11:30	5,4	0,12	0,63	5,5	0,12	0,66
12:00	5,68	0,11	0,61	5,76	0,11	0,63
12:30	5,3	0,08	0,41	5,52	0,08	0,44
13:00	5,25	0,03	0,15	5,7	0,03	0,17
13:30	5,33	0,05	0,26	5,62	0,05	0,28
14:00	5,7	0,08	0,44	5,8	0,08	0,46
14:30	5,83	0,12	0,68	5,84	0,12	0,70
15:00	5,77	0,11	0,62	5,75	0,11	0,63
15:30	5,6	0,15	0,81	5,84	0,15	0,88
16:00	5,65	0,09	0,49	5,75	0,09	0,52
16:30	5,26	0,03	0,16	5,25	0,05	0,26
17:00	4,84	0,01	0,05	4,85	0,04	0,19

Fonte: Autor, 2021

Já em um dia parcialmente nublado pode constatar que o dispositivo de rastreamento teve rendimento um pouco melhor quando comparado com o um dia completamente nublado, conforme mostrado na Figura 27. Os resultados obtidos poderiam ser melhor se não fosse pela interferência de chuva durante o dia.

Figura 27 – Curvas de potência fixo e móvel em um dia parcialmente nublado



Fonte: Autor, 2021

4.3.3 Tempo Ensolarado

Para um dia totalmente ensolarado, os resultados obtidos são muito mais satisfatório quando comparado com os dois primeiros dias (nublado e parcialmente nublado), pois num dia ensolarado é possível verificar com maior clareza o rendimento alcançado com a utilização do dispositivo de rastreamento. Esses resultados podem ser observados na Figura 28 e Tabela 4.

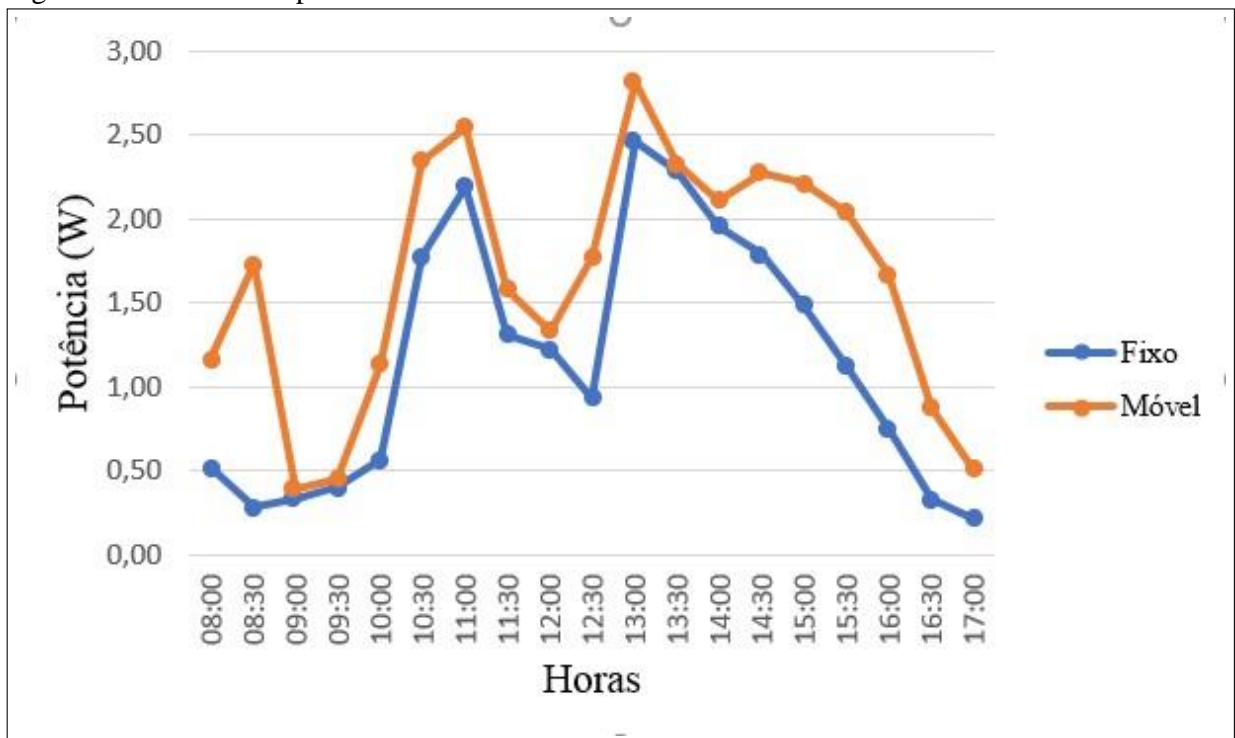
Tabela 4 – Valores registrados no teste do desempenho elétrico do painel no dia ensolarado

Hora	Fixo			Móvel		
	Tensão (V)	Corrente(A)	Potência (W)	Tensão (V)	Corrente(A)	Potência (W)
8:00	5,78	0,09	0,52	5,82	0,2	1,16
8:30	5,7	0,05	0,29	5,77	0,3	1,73
9:00	5,6	0,06	0,34	5,65	0,07	0,40
9:30	5,71	0,07	0,40	5,68	0,08	0,45
10:00	5,64	0,1	0,56	5,67	0,2	1,13
10:30	5,39	0,33	1,78	5,46	0,43	2,35
11:00	5,49	0,4	2,20	5,54	0,46	2,55
11:30	5,7	0,23	1,31	5,65	0,28	1,58
12:00	5,57	0,22	1,23	5,56	0,24	1,33
12:30	5,52	0,17	0,94	5,9	0,3	1,77
13:00	6,16	0,4	2,46	6	0,47	2,82
13:30	6,02	0,38	2,29	5,97	0,39	2,33
14:00	5,76	0,34	1,96	5,71	0,37	2,11
14:30	5,96	0,3	1,79	6	0,38	2,28
15:00	5,96	0,25	1,49	5,98	0,37	2,21
15:30	5,93	0,19	1,13	6,01	0,34	2,04
16:00	5,8	0,13	0,75	5,97	0,28	1,67
16:30	5,48	0,06	0,33	5,48	0,16	0,88
17:00	5,45	0,04	0,22	5,71	0,09	0,51

Fonte: Autor

Se analisado com atenção a Figura 28, pode-se perceber que as potências geradas pelo painel fotovoltaico em diferentes horários do dia são maiores com o uso de rastreador solar quando comparado com sistema sem o uso de rastreador solar, principalmente nas primeiras e últimas horas do dia, e isso acontece porque, para um sistema fixo naquele intervalo de tempo o painel não faz um ângulo de 90° com o sol, ou seja, ele não está direcionado para a maior incidência solar, quanto estes fatos ocorrem afeta também o rendimento do PV uma vez que a conversão de luz de sol sobre painel em eletricidade é feita de forma direta.

Figura 28 – Curvas de potência fixo e móvel em um dia ensolarado



Fonte: Autor, 2021

4.3.4 Ensaio do Protótipo

Nesta etapa fez-se os testes do protótipo com intuito de mensurar e comparar o rendimento dos dois sistema, entretanto Os resultados obtidos durante teste do protótipo são discriminados na Tabela 5, qual destaca-se os valores das velocidades médias obtidas durante os teste de protótipo.

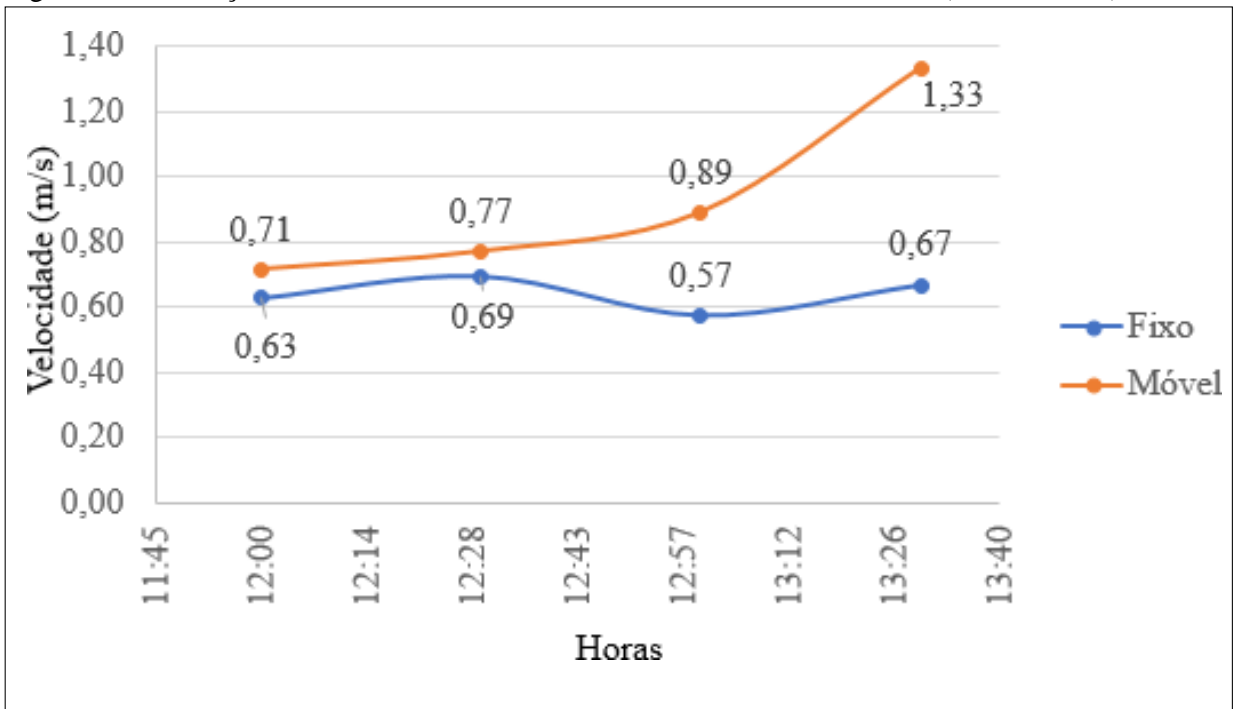
Tabela 5 – Velocidades do protótipo com e sem rastreador solar em diferentes posições

Hora	Referencial	Distância	Fixo		Móvel	
			Tempo (s)	Velocidade (m/s)	Tempo (s)	Velocidade (m/s)
12:00	Norte	5	8	0,63	7	0,71
12:30	Sul	5	7,2	0,69	6,5	0,77
13:00	Oeste	4	7	0,57	4,5	0,89
13:30	Leste	4	6	0,67	3	1,33

Fonte: Autor

A Figura 29 apresenta a variação de velocidade em relação os horários, onde pode-se constatar que o sistema móvel teve uma eficiência melhor em todos os horários em comparação com o sistema sem o uso do rastreador.

Figura 29 – Variação de velocidade do sistema com e sem rastreado solar (móvel e fixo)



Fonte: Autor, 2021

Percebe-se através dos dados obtidos durante os testes que o sistema com rastreador solar possuem valores maiores em todas as posições quando comparados com o sistema sem rastreador solar. No entanto, a velocidade média atingida pelo o veículo sem o rastreador solar é de 0,64 m/s e com o rastreador solar é de 0,93. Entretanto, teve-se um rendimento de 45% com rastreador. Os valores de velocidades obtidos neste estudo está de acordo com o esperado pela literatura, pois se comparamos, por exemplo, o valor da velocidade média com o uso de rastreado obtido neste estudo veremos que está próximo do valor obtido em um modelo similar que foi desenvolvida pela (PRATES, 2019), pois obteve-se naquele estudo uma velocidade média de 0,85 m/s com o uso de rastreador solar e sem uso de rastreador obteve-se um valor de 0,65 m/s.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O propósito deste trabalho é apresentar uma tecnologia que possa ser eficiente para geração de energia elétrica dos painéis fotovoltaicos com intuito de ser aplicado em VEs, com a finalidade de reduzir emissões de poluentes emitidos pelos meios de transportes na atmosfera. O manejo e controle do veículo elétrico e o sistema de rastreador solar tiveram uma atenção especial. Quanto as dificuldades enfrentadas no desenvolvimento do protótipo pode-se destacar a dificuldade em acoplar os componentes eletrônicos na placa, complexidade de ligações dos circuitos e falta de recursos. Buscou-se analisar e comparar os resultados obtidos em um sistema com e sem o rastreador solar em um dia nublado, parcialmente nublado e ensolarado. Com base nos resultados obtidos através das coletas de dados e testes realizados percebeu-se que o sistema com rastreador solar funcionou melhor no dia ensolarado, pois nesse dia foi possível quantificar com maior clareza através dos gráficos os valores de potência para o sistema com e sem rastreador solar.

Em análise do sistema com uso de rastreador solar denominado sistema móvel operou conforme desejado no projeto, sendo que acompanhou o trajeto do sol e posicionou sempre que for necessário o painel fotovoltaico de forma perpendicular a maior irradiância solar. Entretanto a velocidade média obtido em sistema móvel foi de 0,93 m/s e rendimento de 45% em relação ao sistema fixo. No entanto, pode-se apostar nessa tecnologia para melhoramento de eficiência dos veículos elétricos.

O estudo deixou a desejar alguns fatos como por exemplo, avaliar a energia gerado pelo painel em um longo período visto a irradiação solar pode variar de acordo com estação do ano. Para trabalhos futuros este pode ser ponto de partida.

REFERÊNCIAS

- BLUESOL. **Carros Movidos a Energia Solar Já São Uma Realidade Acessível: Veja Como Você Pode Ter o Seu**. 2019. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/carros-movidos-a-energia-solar/>.
- CARVALHO, C. H. R. de. **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros**. [S. l.], 2011.
- DENTON, T. **Veículos elétricos e híbridos**. [S. l.]: Editora Edgard Blücher Ltda, 2018.
- DRUMM, F. C.; GERHARDT, A. E.; FERNANDES, G. D.; CHAGAS, P.; SUCOLOTTI, M. S.; KEMERICH, P. D. da C. Air pollution from the burning of fuels derived from petroleum in motor vehicles. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 66–78, 2014.
- ELÉTRICA, A. N. de E. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. [S. l.]: Aneel, 2002.
- ENERGIA, F. Carros elétricos. **Rio de Janeiro**, 2017.
- ENERGÉTICA, E. de P. Relatório síntese / ano base 2018. **Empresa de Pesquisa Energética**, 2019.
- FROSI, F.; CHESINI, I. J. G. D.; BONA, J. C. D. Análise comparativa da produção de energia de um seguidor solar de dois eixos para a região de farroupilha-rs. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar**, apr 2018.
- GODOY, L. G. K. de. **PROJETO DE UM RASTREADOR SOLAR DIGITAL DE UM EIXO COMPARADO A UM RASTREADOR ANALÓGICO**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019.
- GOLDENSTEIN, M.; AZEVEDO, R. L. S. d. Combustíveis alternativos e inovações no setor automotivo: será o fim da "era do petróleo"? Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2006.
- GUARIEIRO, L. L.; VASCONCELLOS, P. C.; SOLCI, M. C. Poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis: uma breve revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 3, n. 5, p. 434–445, 2011.
- KITS, S. **Modelos e tipos de Arduino**. 2020. Disponível em: <https://blog.smartkits.com.br/tipos-de-arduino/>.
- MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Energia solar fotovoltaica: uma breve revisão. **Revista virtual de química**, v. 7, n. 1, p. 126–143, 2015.
- NASCIMENTO, C. A. D. Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica. **Diss. Universidade Federal de Lavras**, 2004.
- NETO, M. M.; ZANETTI, W.; PIAZENTIN, J. Ensaio para obtenção das características elétricas de uma célula fotovoltaica para aplicação em um rastreador solar. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v. 14, n. 25, 2017.
- PACHECO, F. Energias renováveis: breves conceitos. **Conjuntura e Planejamento**, v. 149, p. 4–11, 2006.

PETRÓLEO, A. E. B. D.; BIOCOMBUSTÍVEIS, G. N. E. Agência nacional do petróleo, gás natural e biocombustíveis. **Acesso em 23 de julho de 2019**, v. 18, 2019.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. [S. l.], 2014.

PRATES, T. C. Veículo elétrico movido a energia fotovoltaica com sistema de rastreamento solar. Universidade Federal da Fronteira Sul, 2019.

REN21. **RENEWABLES 2020 GLOBAL STATUS REPORT**. [S. l.], 2020.

REZENDE, J. O.; JÚNIOR, S. C. G. Determinação de processos para levantamento prático das curvas características de painéis fotovoltaicos. In: **Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Uberlândia**. [S. l.: s. n.], 2012.

SCHERER, L. A.; SESSEGOLO, M. E. D.; BARCAROLO, T. B.; EDLER, M. A. R. Fonte alternativa de energia: energia solar. **XX Seminário Interinstitucional de ensino, pesquisa e extensão**. Universidade de cruz Alta/RS, 2015.

SILICIO, P. V. de. **O que é Servomotor? Controlando um Servo com Arduino**. 2021. Disponível em: <https://portal.vidadesilicio.com.br/o-que-e-servomotor/>.

SLIDESHARE. **APOSTILA ARDUINO Com aplicações baseada na placa: ARDUINO UNO**. 2020. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/FabioSouza9/apostila-arduino-27488918>.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: guía del usuario**. [S. l.]: Saraiva Educação SA, 1983.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica - Conceitos e Aplicações**. [S. l.: s. n.], 2012.

ANEXO A –

```
// Controle do carinho
// BIBLIOTECAS
include "motor.h"
include <SoftwareSerial.h>
include "PiscaLed.h"

// Definições dos pinos
define pinFarol 12
define pinLanterna 3
define pinBuzina 4

define pinRz 5
define pinTz 6

// DEFINIÇÕES
define LIGADO HIGH
define DESLIGADO LOW

// INSTANCIANDO OBJETOS
SoftwareSerial btSerial(pinRz, pinTz); // RX, TX

// DECLARAÇÃO DE FUNÇÕES
PiscaLed farol(pinFarol, 350);
PiscaLed lanterna(pinLanterna, 350);

// DECLARAÇÃO DE VARIÁVEIS
char comando;
bool estadoFarol, estadoLanterna, estadoPisca;

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

```
btSerial.begin(9600);

    pinMode(pin1, OUTPUT);
pinMode(pin2, OUTPUT);
pinMode(pin3, OUTPUT);
pinMode(pin4, OUTPUT);

    pinMode(pinBuzina, OUTPUT);

    digitalWrite(pinFarol, LOW);
digitalWrite(pinLanterna, LOW);
digitalWrite(pinBuzina, LOW);

    estadoFarol = estadoLanterna = estadoPisca = DESLIGADO;

    Serial.println("Fim Setup");
delay(1500);

    void loop()

        if (estadoPisca)
farol.loop();
lanterna.loop();

        if (btSerial.available())
comando = btSerial.read();

        switch (comando)

case 'F':
```

```
moveFrente();  
break;
```

```
case 'I':  
frenteDireita();  
break;
```

```
case 'G':  
frenteEsquerda();  
break;
```

```
case 'R':  
direita();  
break;
```

```
case 'L':  
esquerda();  
break;
```

Fonte: Adaptado de Brincando com ideias, 2021

ANEXO B –

```

include <Servo.h> // include Servo library

// 180 horizontal MAX
Servo horizontal; // horizontal servo
int servoh = 90; // 90; // stand horizontal servo

int servohLimitHigh = 180;
int servohLimitLow = 65;

// 65 degrees MAX
Servo vertical; // vertical servo
int servov = 90; // 90; // stand vertical servo

int servovLimitHigh = 120;
int servovLimitLow = 15;

// LDR pin connections
// name = analogpin;
int ldrlt = 2; //LDR top left - BOTTOM LEFT ← BDG
int ldrrt = 3; //LDR top right - BOTTOM RIGHT
int ldrlb = 0; //LDR down left - TOP LEFT
int ldrrb = 1; //ldr down right - TOP RIGHT

void setup()

Serial.begin(9600);
// servo connections
// name.attach(pin);
horizontal.attach(9);
vertical.attach(10);
horizontal.write(180);

```

```
vertical.write(45);  
delay(3000);
```

```
void loop()
```

```
int lt = analogRead(ldrLt); // top left  
int rt = analogRead(ldrRt); // top right  
int ld = analogRead(ldrLd); // down left  
int rd = analogRead(ldrRd); // down right
```

```
    // int dtime = analogRead(4)/20; // read potentiometers
```

```
    // int tol = analogRead(5)/4;
```

```
    int dtime = 10;
```

```
    int tol = 50;
```

```
        int avt = (lt + rt) / 2; // average value top
```

```
int avd = (ld + rd) / 2; // average value down
```

```
int avl = (lt + ld) / 2; // average value left
```

```
int avr = (rt + rd) / 2; // average value right
```

```
        int dvert = avt - avd; // check the diffirence of up and down
```

```
int dhoriz = avl - avr; // check the diffirence og left and rigt
```

```
        Serial.print(avt);
```

```
Serial.print();
```

```
Serial.print(avd);
```

```
Serial.print();
```

```
Serial.print(avl);
```

```
Serial.print();
```

```
Serial.print(avr);
```

```
Serial.print();
```

```
Serial.print(dtime);
```

```
Serial.print();
```

```
Serial.print(tol);
```

```
Serial.println();
```

Fonte: Adaptado de Brown Dog Gadgets, 2021