

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**GIOVANE RICARDO CATUZZO**

**PROTÓTIPO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UTILIZAÇÃO EM  
VEÍCULOS**

**TOLEDO**

**2022**

**GIOVANE RICARDO CATUZZO**

**PROTÓTIPO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UTILIZAÇÃO EM  
VEÍCULOS**

**Prototype of a photovoltaic system for vehicle applications**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Sofia Moreira de Andrade Lopes

Coorientador: Prof. Alberto Vinicius de Oliveira

**TOLEDO**

**2022**



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**GIOVANE RICARDO CATUZZO**

**PROTÓTIPO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UTILIZAÇÃO EM  
VEÍCULOS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentada como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Eletrônica da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Sofia Moreira de Andrade Lopes

Coorientador: Prof. Alberto Vinicius de Oliveira

Data de aprovação: 01 de dezembro de 2022.

---

Sofia Moreira de Andrade Lopes  
Mestrado  
Universidade de São Paulo

---

Ednei Luiz Miotto  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Marcos Roberto Bombacini  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**TOLEDO**

**2022**

A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso.

## RESUMO

No Brasil, a maior parte da logística de transporte é feita por vias terrestres rodoviárias, com os motoristas estando na linha de frente desse setor. Dada as dimensões do país, isso implica viagens longas, podendo durar dias. Devido a falta de infraestrutura para descanso, os motoristas precisam dormir e preparar seu próprio alimento no caminhão. Atualmente, existem diversos aparelhos que conseguem trazer mais conforto para esses trabalhadores, como uma geladeira para auxiliar no transporte dos alimentos e aparelhos eletrônicos para auxiliar no entretenimento durante os tempos de parada obrigatórios por lei. Porém esses dispositivos demandam uma carga extra da bateria, que muitas vezes não possui capacidade suficiente, ficando sem carga para dar partida no motor. Uma solução é deixar o motor do veículo ligado para que a bateria mantenha a carga, mas ao fazer isso, o consumo de combustível acaba se elevando, tornando-se economicamente inviável, além de continuar emitindo gases do efeito estufa, degradando o meio ambiente. Com isso, o objetivo deste trabalho é o desenvolver um estudo sobre a utilização de um sistema fotovoltaico de pequeno porte, que possa ser acoplado a um caminhão, a fim de fornecer a potência necessária para alimentar tais equipamentos. A fim de emular um sistema que seria montado em um veículo, foi montado um protótipo, utilizando uma placa fotovoltaica, controlador de carga, bateria e carga de simulação. Utilizando um microcontrolador é possível mensurar a corrente gerada pelo painel durante o dia, e da tensão da bateria, obtendo uma tendência de geração de energia. A partir da curva de geração obtida nas medições, foi possível determinar qual a potência máxima de carga suportada pelo sistema.

Palavras-chave: energia solar; economia de combustível; sistemas *off-grid*; medição de geração.

## **ABSTRACT**

In Brazil, the majority of the goods transported across the country are carried by land routes, with drivers being at the forefront of this sector. Given the size of the country, this implies long journeys, which can last for days. Due to the lack of infrastructure of resting stops, drivers need to sleep and prepare their own food in the truck. Currently, there are several devices that can bring more comfort to these workers, such as a refrigerator to assist in transporting food and electronic devices to assist in entertainment during mandatory stop times. However, these devices demand an extra charge from the battery, which often does not have enough capacity, running out of charge to start the engine. One solution is to leave the vehicle's engine idling so that the battery maintains its charge. On the other hand, the fuel consumption increases, resulting in a unfeasible strategy from an economical perspective, in addition to the emission of greenhouse gases, degrading the environment. Thus, this work aims to develop a study on the use of a small photovoltaic system, which can be coupled to a truck, in order to provide the necessary power to supply such equipment. In order to emulate the photovoltaic system that would be mounted on a vehicle, a prototype was assembled, using solar panel, charge controller, battery and simulation load. A microcontroller is in charge of measuring the current generated by the panel during the day, and the battery voltage value, in order to obtain a trend of energy generation. With the generation curve from the measurements, it was possible to determine the maximum load power value that can be supported by the system.

**Keywords:** solar energy; fuel economy; off-grid systems; generation measurement.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
CFM	<i>Cubic foot per minute</i> (Pés cúbicos por minuto)
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica de S. Brito
HSP	Horas de sol pleno
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MPPT	<i>Maximum power point tracker</i> (Rastreamento de ponto de potência máximo)
PWM	<i>Pulse width modulation</i> (Modulação por largura de pulso)
SIMEPAR	O Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná
TEP	Tonelada equivalente de petróleo
TKU	Tonelada por quilômetro útil
UTC	<i>Coordinated Universal Time</i> (Tempo universal coordenado)

## LISTA DE SIMBOLOS

$c$	Capacidade da bateria (Ah)
$i$	Corrente de descarga (A)
$T$	Tempo (h)
$C$	Consumo de energia (Wh)
$P$	Potência do aparelho (W)
$P_{FV}$	Potência do painel (W)
$C_{TOTAL}$	Consumo total de energia (Wh)
$HSP$	Horas de sol pleno (h)
$P_{max}$	Potência de pico
$V_{mp}$	Tensão em potência máxima
$I_{mp}$	Corrente em potência máxima

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>10</b>
<b>2.1</b>	<b>Sistemas fotovoltaicos autônomos</b>	<b>10</b>
2.1.1	Placas fotovoltaicas	11
2.1.1.1	<i>Demanda e capacidade de geração do painel</i>	11
2.1.2	Controlador de carga	12
2.1.3	Baterias	13
2.1.3.1	<i>Vida útil da bateria</i>	13
2.1.4	Economia de combustível	14
<b>2.2</b>	<b>Microcontrolador Arduíno</b>	<b>15</b>
<b>2.3</b>	<b>Sensor de corrente por Efeito Hall</b>	<b>16</b>
<b>2.4</b>	<b>Divisor de tensão com resistores</b>	<b>17</b>
<b>2.5</b>	<b>Carga Fantasma</b>	<b>17</b>
2.5.1	Cálculo de potência	18
2.5.2	Dissipação de potência	18
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>20</b>
<b>3.1</b>	<b>Dimensionamento da placa, controlador e bateria</b>	<b>20</b>
<b>3.2</b>	<b>Instalação e Orientação da placa</b>	<b>22</b>
<b>3.3</b>	<b>Vantagens e desvantagens</b>	<b>23</b>
<b>3.4</b>	<b>Simulação de um sistema fotovoltaico</b>	<b>24</b>
3.4.1	Medição de geração	24
3.4.2	Carga de simulação	24
3.4.3	Dissipação da potência	26
3.4.4	Código do controlador	29
3.4.5	Realização do teste	29
<b>4</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>38</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>40</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A logística de transporte de cargas é um dos pilares da economia de um país. No Brasil, o meio rodoviário consiste em cerca de 60% da matriz de transporte de cargas (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2014) e possui a maior emissão de gás carbônico em toneladas por quilômetro útil (TKU) se comparado com o meio ferroviário e hidroviário (MARCHETTI e FERREIRA, 2012).

Dentre os profissionais que compõem o setor de logística terrestre estão os caminhoneiros, que em decorrência da necessidade de percorrer longos percursos, acabam passando extensos períodos nas estradas, longe de suas casas. A lei Federal n. 13.103 de 2 de março de 2015, que regulamenta essa profissão, prevê a implantação de pontos de parada e descanso disponível para esses profissionais, com banheiros, refeitórios e locais para repouso. Porém, na realidade, observam-se poucos desses locais, e quando existem muitas vezes não possuem uma infraestrutura adequada (BERNARDINO e SILVA, 2019).

Um estudo realizado pela Confederação Nacional do Transporte (2019) mostra que 31,4% dos caminhoneiros responderam como ponto negativo que a profissão é muito desgastante, com 18,7% pedindo por mais pontos de paradas com o mínimo de conforto. Essa pesquisa também mostra que 32,3% dos caminhoneiros preparam suas refeições na caixa de comida do caminhão.

Atualmente, existem diversos aparelhos que podem melhorar a qualidade de vida de um motorista de caminhão, principalmente quando estão parados, como por exemplo, aparelho de ar-condicionado, geladeira, televisor e outros aparelhos eletrônicos. Porém esses acessórios consomem uma quantidade de energia maior do que a suportada pelas baterias principais do caminhão, fazendo com que este fique muitas vezes sem carga para a partida do motor.

Desta forma, uma alternativa seria manter o motor ligado para que o alternador forneça a energia necessária. Porém, tal possibilidade não é vantajosa, pois isso utiliza combustível, o que aumenta o custo da viagem, além de gerar poluição e ruído. Entretanto, é muito comum que os motoristas utilizem dessa alternativa, deixando o motor ligado ocioso para manter as cargas funcionando, como aquecedor, ar-condicionado, geladeiras, micro-ondas (ASHRAFUR RAHMAN et-al, 2013).

Nos últimos anos a busca por meios alternativos e sustentáveis de geração

de energia vem se intensificando, com a energia solar sendo uma delas, propulsionada devido ao aumento do aquecimento global, por se apresentar como uma fonte de energia renovável e de pouco impacto ambiental. A geração a partir da energia solar apresentou um maior aumento a partir do ano de 2019 para 2020 no quesito oferta interna, somando 61,5% de crescimento em TEP (tonelada equivalente de petróleo) (EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS, 2021).

Com os avanços tecnológicos, o custo por Watt para montar um sistema fotovoltaico caiu de U\$ 79,67 em 1977 para U\$ 0,36 em 2015 (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2018). O aumento da eficiência dos módulos é o maior responsável por esta queda, contribuindo com 23% da redução do preço (KAVLAK; McNERNEY; TRANCIK, 2018).

Neste sentido, a instalação de um sistema fotovoltaico no veículo se torna uma opção viável, pois com a utilização de placas solares tem-se o potencial de gerar a energia necessária para manter cargas extras ligadas sem a necessidade de manter o motor funcionando, além de muitas vezes garantir que tenha energia suficiente para dar a partida no motor sem a necessidade de fazer uma transferência de carga de outro caminhão ou bateria.

## 1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo de caso sobre a implementação de sistemas fotovoltaicos em veículos, verificando seu funcionamento, retorno de investimento e potencial de geração através de um protótipo para avaliar o desempenho do sistema e de demanda de carga. Deste modo, os objetivos específicos são:

- a) desenvolver um circuito eletrônico de potência que seja alimentado por uma placa solar de 330 W, operado por um controlador de carga de até 24 V, a fim de fornecer energia a uma carga de Corrente Contínua (CC) de até 150 W, estabilizado por um banco de baterias;
- b) elaborar um circuito eletrônico de controle que seja capaz de medir a corrente e tensão fornecidas pelo controlador de carga, alimentado pelo painel solar;
- c) criar um algoritmo de operação do sistema fotovoltaico para um Arduino, a fim de integrar os circuitos eletrônicos de potência e de controle.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Sistemas fotovoltaicos são classificados através de dois critérios, sendo o primeiro relacionado a conexão na saída do gerador, e o segundo relacionado a quantidade de fontes do sistema (MOREIRA, 2021).

No primeiro critério, o sistema fotovoltaico a ser utilizado em um veículo se configura como autônomo, pois não há conexão com a rede de distribuição de energia elétrica. Quanto ao segundo critério, se enquadra como híbrido, pois a bateria será alimentada por um painel solar e por um alternador, somando dois tipos de fontes diferentes.

### 2.1 Sistemas fotovoltaicos autônomos

Os sistemas fotovoltaicos autônomos, também conhecidos como sistemas *off-grid*, são caracterizados por não estarem conectados a rede de distribuição de energia elétrica, normalmente utilizadas para cargas remotas ou móveis. A Figura 1 representa um sistema fotovoltaico autônomo, sendo composto por placas/geradores fotovoltaicos, controladores de carga, baterias para armazenamento e opcionalmente inversores CC-CA, quando existirem cargas de corrente alternada.

**Figura 1 - Representação de um sistema fotovoltaico autônomo e seus componentes**



Fonte: (MOREIRA, 2021)

Segundo Balfour (2016, p. 6), quando se trata de sistemas fotovoltaicos não conectados à rede elétrica, é necessário utilizar uma bateria para fornecer energia nos períodos noturnos, ou para aplicações portáteis como veículos remotos, barcos

e outros tipos de veículos.

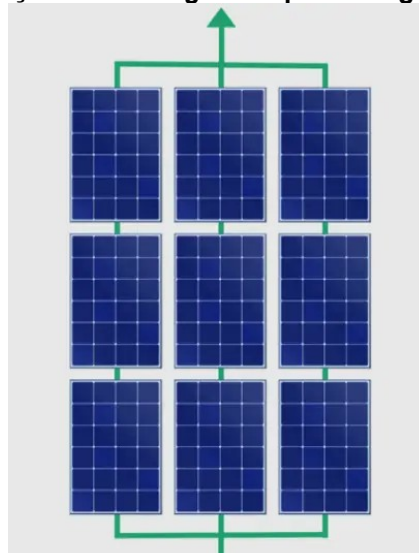
### 2.1.1 Placas fotovoltaicas

A tecnologia de fabricação de placas solares mais utilizadas são as de silício cristalino, com os modelos construtivos das células podendo ser monocristalinas, policristalinas ou filme fino (REIS, 2017).

Os painéis monocristalinos alcançam as melhores eficiências de conversão, porém são mais caros. Os painéis de filme fino têm a vantagem de serem flexíveis, podendo ter mais tipos de aplicações, porém são menos eficientes e tendem a durar menos (BALFOUR, 2016).

Ao montar um sistema fotovoltaico, é necessário levar em conta os valores máximos e mínimos de tensão do controlador de carga, que será escolhido baseado no tipo de ligação dos painéis. Os módulos ligados em série tem sua tensão somada, formando arranjos, chamados de *strings*. Um sistema pode ser formado por várias *strings* que possuam a mesma quantidade de painéis, sendo as *strings* ligadas em paralelo, ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Ilustração de 3 *strings* de 3 painéis ligados em paralelo



Fonte: (McBRIDE, 2022)

#### 2.1.1.1 Demanda e capacidade de geração do painel

Para calcular a capacidade de geração de um sistema fotovoltaico primeiro é

necessária saber o consumo de energia das cargas. Para obter o consumo de uma carga, basta multiplicar a potências do aparelho pelas horas utilizadas durante o dia, exemplificado por (BALFOUR, 2016):

$$C [\text{Wh}] = P [\text{W}] \cdot T [\text{h}], \quad (1)$$

O  $C$  é o consumo de energia da carga;  $P$  é a potência do equipamento; e  $T$  o tempo que o aparelho fica ligado.

A capacidade de geração a partir do efeito fotovoltaico é calculada utilizando-se da irradiância solar na região do planeta onde se encontra o painel. Isso é possível através da densidade de potência incidente, dado em  $\text{W}/\text{m}^2$ .

Como a irradiância não é constante durante o dia, devido a condição climática e a posição do sol, é utilizado como base de cálculo o conceito de horas de sol pleno (HSP), que consiste na soma de toda a irradiância solar de um dia refletidos em algumas horas de máxima geração (FERREIRA, 2019).

A partir disso é possível calcular a potência necessária do painel baseada no consumo diário e na quantidade de horas de sol pleno da região, por meio de:

$$P_{FV} [\text{W}] = \frac{C_{TOTAL} [\text{Wh}]}{HSP [\text{h}]}, \quad (2)$$

O  $P_{FV}$  é a potência do painel fotovoltaico; e  $C_{TOTAL}$  o consumo total obtido ao somar o consumo de todas as cargas.

### 2.1.2 Controlador de carga

Os módulos fotovoltaicos possuem uma tensão de saída que varia dependendo da incidência solar, sendo necessário o uso de um controlador, que tem a função de regular para uma tensão compatível com a da bateria, servindo também como uma proteção para esta.

Para controladores Corrente Contínua (CC), os principais tipos existentes são os seguintes:

- a) *Pulse width modulation* (PWM): Este tipo de controlador regula a tensão

gerada da placa ao aplicar pulsos de corrente com um ciclo variável, com a largura do pulso resultando na tensão desejada.

- b) *Maximum power point tracker* (MPPT): O controlador MPPT utiliza de uma conversão CC/CA interna para que haja uma troca da tensão regulada por uma corrente maior de saída, resultando em uma maior eficiência (BALFOUR, 2016).

### 2.1.3 Baterias

As baterias são um dos principais componentes de um sistema autônomo, sendo na maioria dos casos baterias de chumbo ácido. Também compõem grande parte do investimento, sendo muitas vezes o componente mais caro quando levado em consideração seu tempo de vida útil, por ser consideravelmente menor do que os outros componentes do sistema, como a placa, inversores de tensão e controladores de carga (SVOBODA et-al, 2007).

A capacidade de uma bateria é medida em Ampère-hora (Ah), a partir da qual pode-se estimar o tempo de duração de sua carga baseada na corrente de descarga a que for submetida, podendo ser calculada por (CARNEIRO et-al, 2007):

$$c [\text{Ah}] = i [\text{A}] \cdot T [\text{h}], \quad (3)$$

O  $c$  é a capacidade de carga da bateria;  $i$  a corrente de descarga; e  $T$  o tempo em que foi submetido a descarga.

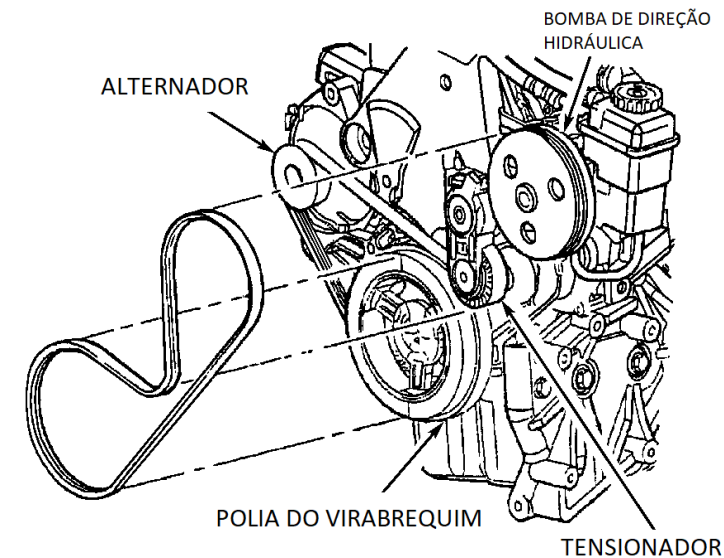
#### 2.1.3.1 Vida útil da bateria

Um dos principais fatores responsáveis por diminuir a vida útil da bateria é utilizar um ciclo completo de carga, descarregando a bateria de sua capacidade máxima até uma descarga profunda. Outros são fatores incluem a descarga de forma rápida e manter a bateria em um baixo estado de carga. Por outro lado, evitar descarregar a bateria completamente, manter em carga de flutuação (alto estado de carga) e descarregá-la lentamente acabam por aumentar consideravelmente sua vida útil (SVOBODA et-al, 2007).

#### 2.1.4 Economia de combustível

O motor a combustão de um veículo possui um alternador acoplado a polia do virabrequim, podendo ser observado na Figura 3, que quando está gerando energia para recarregar a bateria, impõem uma carga ao motor, aumentando o consumo de combustível.

**Figura 3 - Ilustração da correia do alternador do motor de um veículo**



G00033298

Fonte: Adaptado de 2CARPROS (2022)

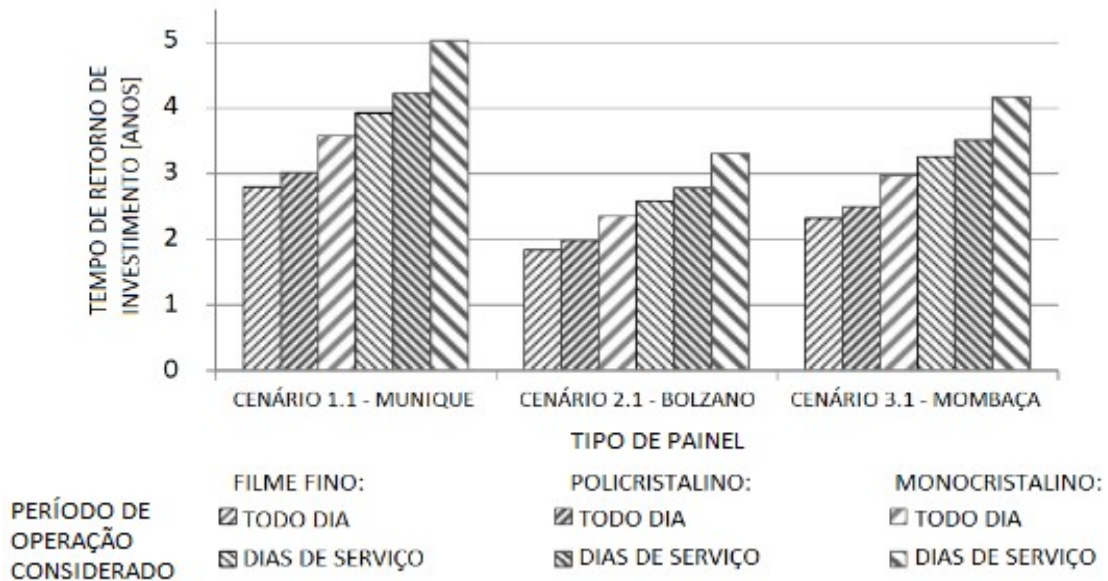
Um alternador possui um regulador de tensão, que tem por função estabilizar a tensão gerada por ele, mesmo com as mudanças de rotação de um motor a combustão. Ele obtém essa regulagem ao modular pulsos no rotor do alternador, responsável por criar o campo girante, que induz campo eletromagnético no estator, gerando energia elétrica. Dessa forma, os alternadores estabilizam tensões de 14 V, chamadas de tensão de flutuação, para baterias de 12 V, e de 28 V para baterias de 24 V (RIRAM e PERREAULT, 2004).

O sistema fotovoltaico pode manter a bateria sempre carregada, diminuindo a carga gerada por meio do alternador sobre o motor a combustão, além de eliminar a necessidade de manter o motor ligado apenas para manter a bateria carregada, reduzindo o consumo de combustível e de poluição do ar e sonora.

Considerando apenas a economia de combustível proporcionada através do painel durante as horas de trabalho do veículo, o tempo de retorno do investimento

se dá em menos de 2 anos. A Figura 4 demonstra que o tempo de retorno depende do tipo de painel, e principalmente do cenário onde será utilizado, devido a irradiância solar naquele local. (KRONTHALER; MATURI; MOSER; ALBERTI, 2014).

**Figura 4 - Tempo de retorno de investimento de um painel de 1m<sup>2</sup> (Instalado no defletor de vento do caminhão)**



Fonte: Adaptado, (KRONTHALER; MATURI; MOSER; ALBERTI, 2014)

Além disso, um sistema de geração fotovoltaico tem potencial para servir de alternativa a manter o motor ligado de forma ociosa para recarregar a bateria, pois esse método consome aproximadamente 100 litros de combustível em um ano ao deixar o motor ligado por 10 minutos todos os dias. Não apenas isso, mas ao manter o motor funcionando, ocorre o aumento do desgaste de peças e de troca de fluidos, resultando em mais gastos (ASHRAFUR RAHMAN et-al, 2013).

## 2.2 Microcontrolador Arduíno

O Arduíno é uma plataforma de *hardware open source* que consistem principalmente de um microcontrolador Atmel, memórias *flash*, *bootloader* e circuito de alimentação. Pode ser programado através de uma interface de desenvolvimento própria utilizando linguagem de programação C++ (NAYYAR e PURI, 2016). A Figura 5 apresenta um Arduíno modelo UNO.



**Figura 5 - Placa do microcontrolador Arduino modelo UNO**

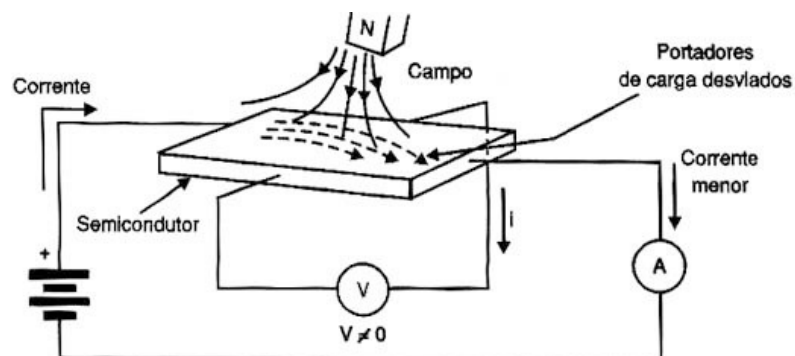


Fonte: (NAYYAR e PURI, 2016).

### 2.3 Sensor de corrente por Efeito Hall

O efeito Hall, descoberto em 1879 por Edwin Herbert Hall, demonstrou que quando aplicado um campo magnético perpendicularmente a um fluxo de corrente de um condutor, as cargas sofrem uma deflexão. Esse efeito gera uma diferença de potencial no condutor, proporcional a corrente que nele flui. Dessa forma, é possível mensurar a corrente no circuito (PINTO, 2010). A Figura 6 ilustra o funcionamento de um sensor por efeito Hall.

**Figura 6 - Ilustração de um sensor por efeito Hall**



Fonte: (INSTITUTO NEWTON C. BRAGA, 2013).

O sensor ACS712 utiliza do efeito Hall para fazer a medição da corrente que flui por um condutor, o qual gera um campo magnético. Este sensor possui variantes com capacidade de medir correntes de  $\pm 5$  A,  $\pm 20$  A e  $\pm 30$  A, gerando um sinal de tensão analógica com uma resolução de 66 mV/A a 185 mV/A (ALLEGRO MICROSYSTEMS, 2022).

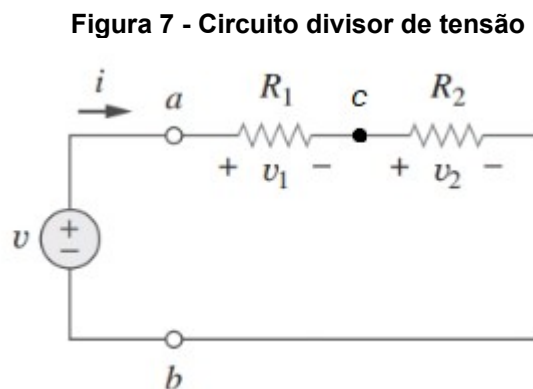
## 2.4 Divisor de tensão com resistores

Uma forma simples de medição de tensão pode ser feita através de um circuito divisor de tensão, Figura 7, no qual utiliza-se dois resistores ligados entre a tensão de referência de medição e a tensão a ser medida, onde a tensão entre os dois resistores é obtido pela seguinte equação (ALEXANDER e SADIKU, 2013).

$$v_c [V] = \frac{R_2 [\Omega]}{R_1 [\Omega] + R_2 [\Omega]} \quad (4)$$

O  $V_c$  é a tensão no ponto c;  $R_1$  o valor do resistor 1; e  $R_2$  o valor do resistor 2.

A partir disso, é possível fazer uma leitura através de um controlador de uma faixa de tensão menor e através da proporção entre os dois resistores obter o valor da tensão.



Fonte: Adaptado, ALEXANDER e SADIKU, 2013.

## 2.5 Carga Fantasma

Também conhecidos como *dummy load* são equipamentos elétricos com a função de simular uma carga elétrica, a fim de testar um sistema de forma controlada, oferecendo uma forma de dissipar a energia em forma de calor através de resistências. São normalmente utilizadas para testar amplificadores de áudio, dessa forma submetendo a uma grande carga sem produzir ruído. Também costumam ser utilizados para teste de fontes de corrente contínua.

### 2.5.1 Cálculo de potência

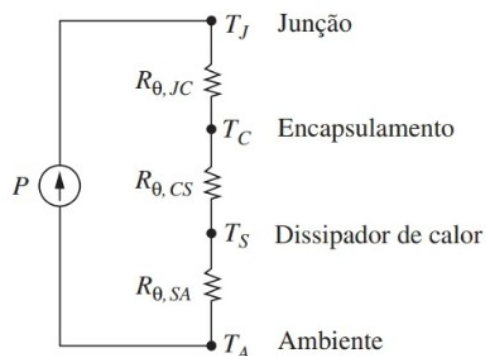
A potência consumida ou gerada por um elemento, a partir do conceito físico geral, se dá através da razão entre trabalho realizado e o tempo durado. Para equipamentos elétricos é possível obter a potência instantânea através do produto da tensão sobre o elemento e a corrente que o atravessa (ALEXANDER e SADIKU, 2013).

### 2.5.2 Dissipação de potência

Componentes eletrônicos consomem energia elétrica convertendo em energia térmica em forma de calor, sendo esse consumo correspondente as perdas na sua operação. Esse aumento de temperatura pode danificar o componente se não dissipado para o ambiente, atingindo a temperatura máxima que o dispositivo suporta (HART, 2012).

Ao analisar a potência dissipada em calor por um dispositivo, pode-se fazer uma analogia a um circuito elétrico, Figura 8, no qual uma potência em Watt é aplicado a uma resistência térmica, obtendo-se uma diferença de temperatura entre os dois pontos.

**Figura 8 - Circuito equivalente para análise de dissipação de potência**



**Fonte: HART, 2012.**

Pode-se então obter a temperatura na junção do componente a partir de:

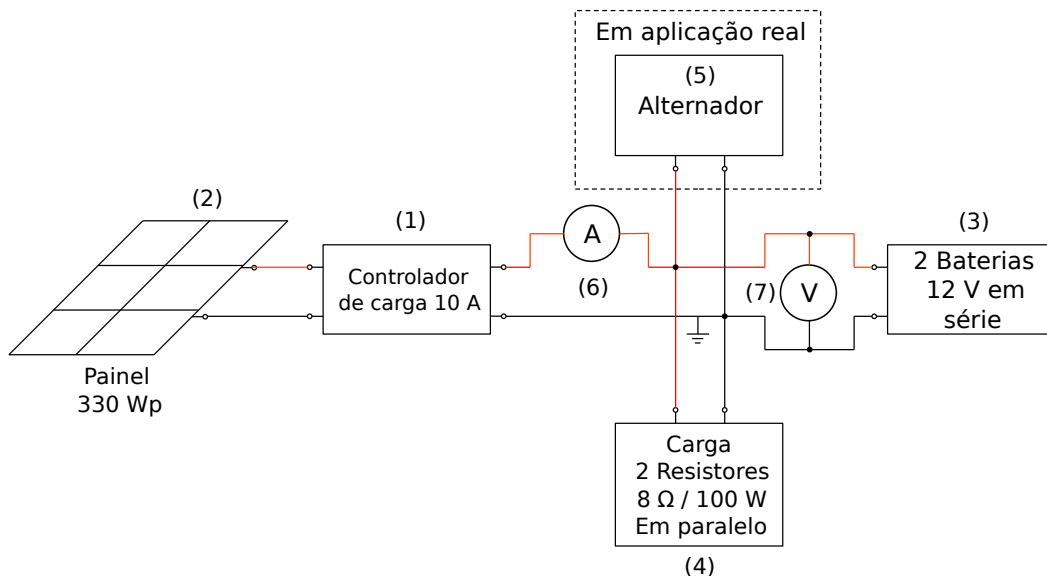
$$T_J [^{\circ}\text{C}] = P [\text{W}](R_{\theta, JC} [^{\circ}\text{C}/\text{W}] + R_{\theta, CS} [^{\circ}\text{C}/\text{W}] + R_{\theta, SA} [^{\circ}\text{C}/\text{W}]) + T_A [^{\circ}\text{C}] \quad (5)$$

sendo  $T_J$  a temperatura de junção do componente;  $P$  a potência dissipada no componente;  $R_{\theta,JC}$  a resistência térmica entre junção e encapsulamento;  $R_{\theta,CS}$  a resistência térmica entre encapsulamento e dissipador;  $R_{\theta,CS}$  a resistência térmica entre dissipador e ambiente; e  $T_A$  a temperatura ambiente.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O circuito fotovoltaico proposto neste trabalho para ser acoplado a um veículo é representado pela Figura 9, com o controlador de carga (1) da placa (2) ligado diretamente a bateria (3), em paralelo com a carga (4) e o alternador (5), não sendo necessário alterações nas ligações elétricas já existentes do veículo. Para a parte de medição, o sensor de corrente por efeito Hall (6) é inserido após o controlador de carga, enquanto que o sensor de tensão por resistores divisores de tensão (7) é posto em paralelo com as baterias.

**Figura 9 - Esquema de ligação dos componentes do sistema fotovoltaico acoplados ao sistema elétrico do veículo**



Fonte: Autor, 2022.

Como o alternador possui um regulador de tensão, este só opera enquanto a bateria estiver abaixo da tensão de flutuação de 28 V, no caso de uma bateria de 24 V. A placa solar associado ao controlador de carga também mantém a tensão da bateria próxima a esta tensão de flutuação, operando em paralelo com o alternador.

#### 3.1 Dimensionamento da placa, controlador e bateria

Como o sistema opera em 24 V (tensão das baterias em série), a placa precisa gerar uma tensão acima deste valor, que será regulada com o auxílio de um

controlador de carga.

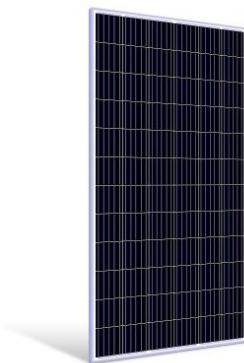
Nesse sentido, pode-se utilizar duas placas de menor potência (menos de 200 W), associadas em série, pois estas possuem tensão máxima menor do que 24 V. Também é possível utilizar apenas uma placa de maior potência, cuja tensão de pico exceda os 24 V.

Considerando que a placa deva alimentar uma geladeira de caminhão de 65 W, ligada 24 horas, obtêm-se através da equação (1) um consumo de 1560 Wh.

Utilizando a equação (2) pode-se calcular a potência de geração nominal da placa para a carga 1560 Wh diárias. Considerando 5 horas de sol pleno, próximo a média anual no estado do Paraná (ALVES, LIRA, 2018, p. 4), obtêm-se que a potência da placa deva ser de no mínimo de 312 W.

Uma placa com capacidade de gerar 330 W (Figura 10) é capaz de manter a carga com o auxílio de uma bateria, desconsiderando-se as perdas do controlador, condutores e da própria bateria.

**Figura 10 - Painel solar fotovoltaico 330 W, marca OSDA**



Fonte: NEOSOLAR (2022)

Como o sistema fotovoltaico será todo em corrente contínua, não se faz necessário o uso de inversores de tensão CC-CA, diminuindo bastante o custo do sistema, além de evitar perdas de energia nas conversões.

**Tabela 1 - Datasheet do painel solar de 330 W, marca OSDA**

Especificações	Valor
Potência de pico (Pmax)	330 W
Tensão em potência máxima (Vmp)	37,26 V
Corrente em potência máxima (Imp)	8,86 A

Fonte: NEOSOLAR (2022)

Após analisar o *datasheet* do painel escolhido (Tabela 1), foi definido que o controlador de carga precisa operar em 24 V, pois a tensão em potência máxima do painel é superior a este valor. Outro quesito para a escolha é a corrente nominal, devendo ser superior a corrente em potência máxima da placa, no caso, o valor comercial será de 10 A. Na Figura 11 é apresentado um controlador com as características necessárias para o sistema projetado.

**Figura 11 - Controlador de carga PWM, marca Epever**



Fonte: NEOSOLAR (2022)

Para saber a capacidade de carga necessária para a bateria durar o período noturno, quando não há geração de energia, pode-se utilizar a equação (3), considerando que o período sem irradiação solar seja de 12 horas, é necessário uma bateria com capacidade de no mínimo 21,6 Ah.

Para veículos de grande porte como caminhões e ônibus, as baterias têm capacidades de carga comerciais entre 100 Ah a 200 Ah. Nesse sentido a bateria principal já presente no veículo é suficiente para ser utilizada no sistema fotovoltaico.

### **3.2 Instalação e Orientação da placa**

O local adequado para a instalação da placa fotovoltaica é a parte superior da cabine do caminhão, podendo ser fixada no próprio defletor de vento quando possuir. Em caminhões com uma carroceira do tipo baú, poderá ser instalada no teto desta. A Figura 12 mostra um painel do tipo filme fino instalado no defletor de vento de um caminhão.

**Figura 12 - Painel solar do tipo filme fino instalado no defletor de ar de um caminhão**



Fonte: Recortado de North American Council for Freight Efficiency (2019)

Devido ao sistema estar montado em um veículo, se este for montado com uma inclinação com o horizonte, pode haver momento em que a inclinação acabe por influenciar negativamente a radiação incidente no painel. Neste caso, o ideal seria montar o painel sem inclinação, porém fatores como espaço podem impossibilitar esse tipo de montagem.

### **3.3 Vantagens e desvantagens**

Montar um sistema fotovoltaico em um veículo possui pontos positivos e negativos, que muitas vezes não precisam ser considerados em um sistema convencional com montagem estática. Nos pontos positivos têm-se:

- a) como o sistema será montado em um veículo, não é necessário o uso de inversores de tensão CC-CA, pois as cargas utilizadas serão em tensão contínua;
- b) o veículo já possui baterias, um dos componentes mais caros de um sistema autônomo, reduzindo os custos da montagem do sistema; e
- c) devido as cargas serem menores quando comparadas à de uma residência, um único módulo solar já é capaz de atender a demanda, tornando o sistema mais acessível.

Já para as desvantagens e desafios, nota-se os seguintes pontos:

- a) devido ao veículo estar sempre se deslocando, não é possível montar o painel com a inclinação que se beneficie melhor da latitude em que está instalado;
- b) o acúmulo de poeira sobre o vidro da placa se torna maior, diminuindo a



- eficiência de geração da placa; e
- c) um painel de 330 W ocupa uma área de quase 2 m<sup>2</sup>, o que pode ser um empecilho para encontrar o espaço para fixar o painel em um veículo.

### 3.4 Simulação de um sistema fotovoltaico

Para certificar que a placa fotovoltaica consegue fornecer a energia necessária para manter as cargas durante o período em que o caminhão está parado, foi montado um sistema de acordo com a Figura 9, porém foi feita fora do veículo, com uma placa, o controlador de carga e uma resistência para simular a carga dos acessórios, com as características dimensionadas na seção 3.1, nesse sentido o sistema não contou com o alternador, com apenas a placa solar fornecendo energia à bateria.

Para o experimento, a placa foi colocada em um local que esteja exposto ao sol durante todo o dia. A placa foi colocada sem inclinação com o horizonte, com ajuda de um nível.

#### 3.4.1 Medição de geração

Utilizando o circuito do Arduino foi possível medir a energia fornecida pelo painel durante o dia. Para fazer a medição da tensão fornecida pelo controlador de carga, foi utilizado um circuito divisor de tensão com resistores de 22 k $\Omega$  e 2,2 k $\Omega$ , obtendo uma proporção de 10:1 da tensão na porta analógica para a tensão a ser medida.

A medição de corrente é feita utilizando o sensor ACS712 30A, o qual apresenta uma tensão de 2,5 V para uma corrente de 0 A nos terminais de medição, e a partir desse valor, uma variação de 66 mV/A aplicado ao sensor, dessa forma medindo entre -30 A a 30 A.

#### 3.4.2 Carga de simulação

Foram utilizados dois resistores de 8  $\Omega$  / 100 W em paralelo, Figura 13, cuja resistência medida de ambos é de cerca de 9  $\Omega$ , Figura 14 (os cabos do multímetro somam 0,9  $\Omega$  a medição, Figura 15), devido a tolerância do resistor, resultando em

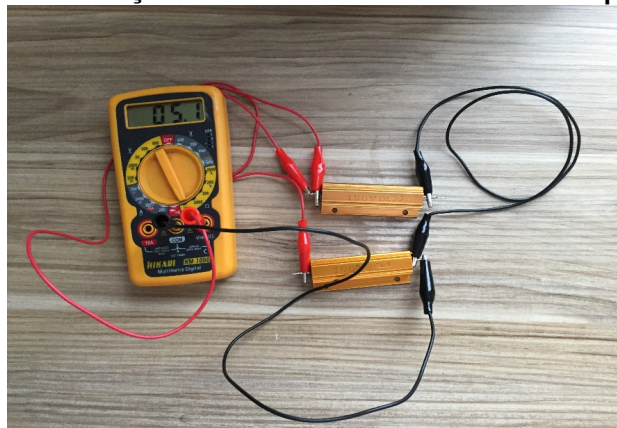
uma resistência equivalente de  $4,2 \Omega$ . Como a tensão fornecida pelo painel é flutuante, considerando uma tensão de  $25 \text{ V}$ , a potência dissipada nos resistores será aproximado de  $150 \text{ W}$ , como serão associados em paralelo, a potência será dividida entre os dois, não ultrapassando os  $100 \text{ W}$  para os quais foram projetados.

**Figura 13 - Resistores de  $8 \Omega / 100 \text{ W}$**



Fonte: Autor, 2022.

**Figura 14 - Medição de resistência dos resistores em paralelo**



Fonte: Autor, 2022.

**Figura 15 - Resistência dos cabos do multímetro**



Fonte: Autor, 2022.

### 3.4.3 Dissipação da potência

Para dissipar os 150 W, foi necessário um dissipador de calor com ventilação forçada, Figura 16, a fim de obter uma resistência térmica menor do que  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C/W}$ , garantindo que a temperatura dos resistores não exceda a máxima suportada.

**Figura 16 - Dissipador de alumínio com dois coolers de 80 mm**



**Fonte: Autor, 2022.**

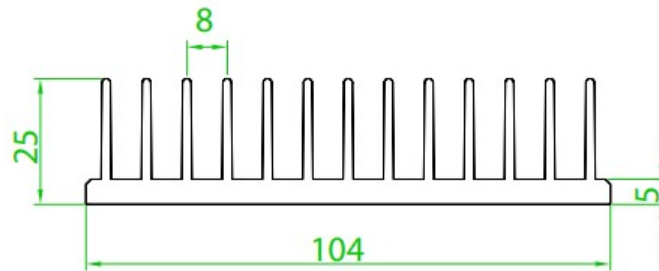
Para isso foi utilizado um dissipador com as características do modelo HS10425L, da marca HS dissipadores, demonstrado pelas Figuras 17 e 18, que possui resistência térmica de  $2,14\text{ }^{\circ}\text{C/W}$  para um comprimento de 4" sem ventilação forçada. O dissipador possui dois coolers que oferecem vazão de 50 *Cubic foot per minute* (CFM), o que convertido para velocidade de ar, considerando que são coolers de 80x80mm, a velocidade do ar na superfície do dissipador será de 3,5 m/s.

**Figura 17 - Perfil do dissipador**



**Fonte: Autor, 2022.**

**Figura 18 - Dissipador HS10425L da marca HS dissipadores**



Fonte: (HS DISSIPADORES, 2022).

A partir da velocidade do ar, é possível utilizar o gráfico com a curva de resistência térmica com a velocidade de ar na superfície do dissipador, Figura 19, fornecido pelo fabricante do dissipador, obtendo uma resistência térmica para o conjunto de 0,6 °C/W para um comprimento de 4".

**Figura 19 - Curva Resistência Térmica em relação a Velocidade do ar para o dissipador**

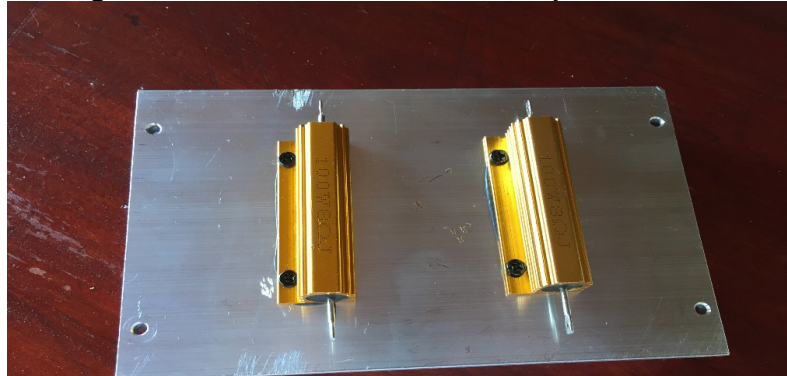


Fonte: (HS DISSIPADORES, 2022).

É utilizada pasta térmica para melhor contato entre os resistores e o dissipador de calor, considerando assim a resistência entre encapsulamento e dissipador de 0,1 °C/W.

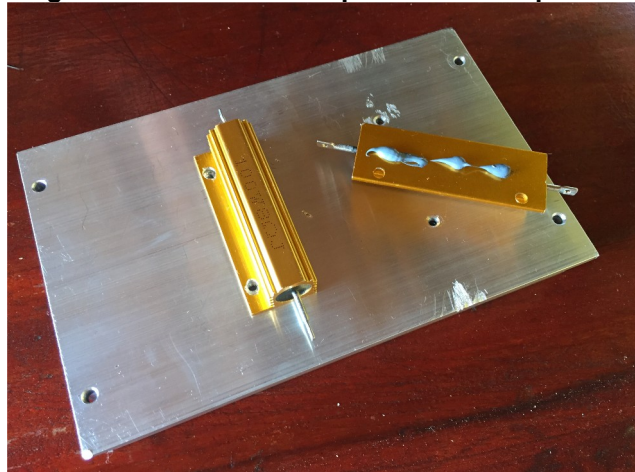
Os resistores são fixados na parte inferior do dissipador, igualmente distanciados, Figura 20. Para melhor condução térmica entre encapsulamento e dissipador, foi aplicado pasta térmica entre as partes, podendo ser observado pela Figura 21. A montagem final do dissipador pode ser vista na Figura 22.

**Figura 20 - Resistores fixados ao dissipador de calor**



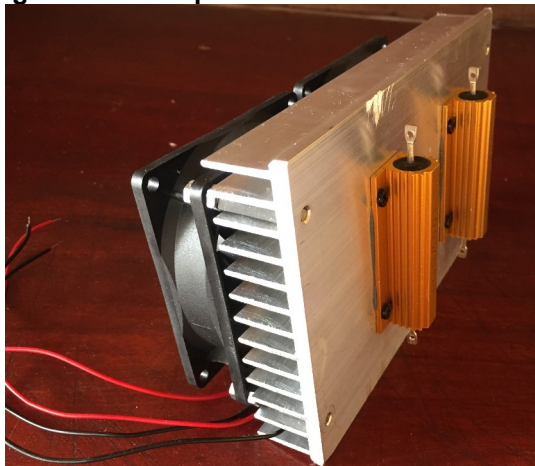
Fonte: Autor, 2022.

**Figura 21 - Resistor com pasta térmica aplicada**



Fonte: Autor, 2022.

**Figura 22 - Dissipador e resistores montados**



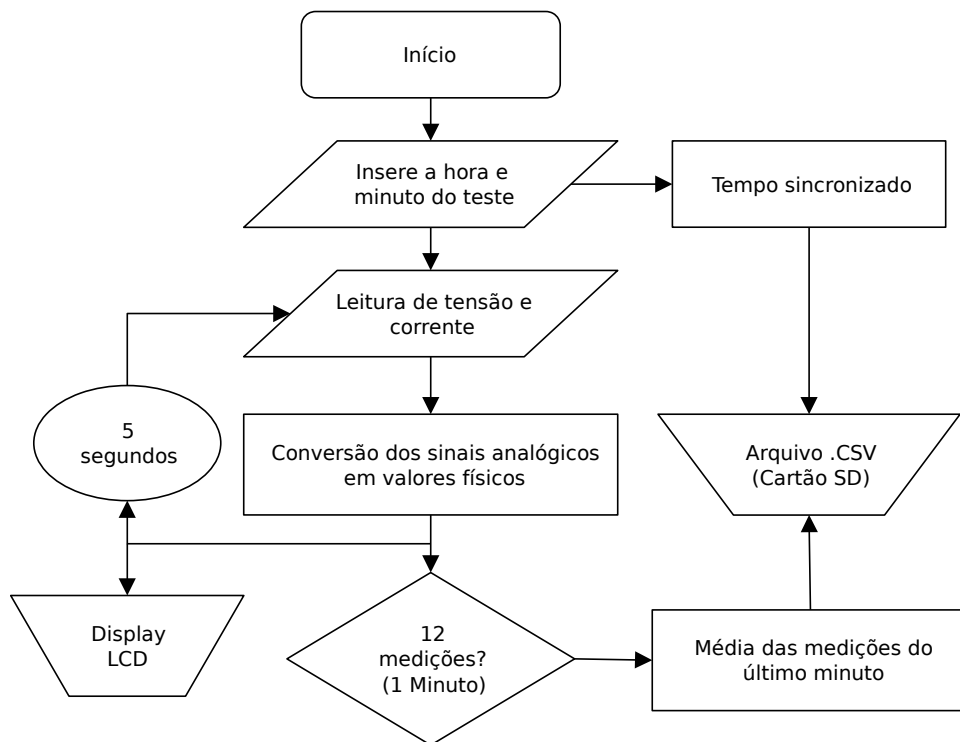
Fonte: Autor, 2022.

### 3.4.4 Código do controlador

O código do microcontrolador faz as medições de corrente e tensão em um intervalo de 5 segundos e apresenta os valores no LCD. Após 1 minuto, é feita uma média das últimas 12 medições feitas, e então armazena os valores em um arquivo de valores separados por vírgula, no cartão SD acoplado ao microcontrolador. Na Figura 23 é possível observar um diagrama de blocos do funcionamento do código

Após os testes é possível transferir o arquivo gerado e armazenado no SD para um computador, e aberto em um editor de planilha, podendo então criar um gráfico de tendência a partir das medições.

**Figura 23 - Diagrama de blocos do código implementado**



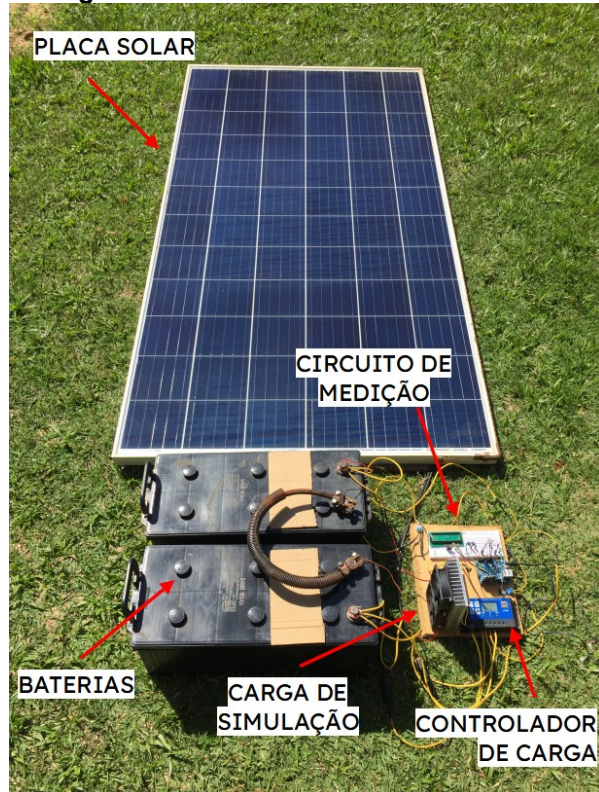
**Fonte: Autor, 2022.**

### 3.4.5 Realização do teste

O sistema montado no dia do teste, Figura 24, é composto pela placa, duas baterias de 12 V em série e a parte de medição do projeto, Figura 25, que é composto pelo controlador de carga do painel solar, o conjunto de resistores e dissipador de potência para simular a carga e o microcontrolador, que possui um

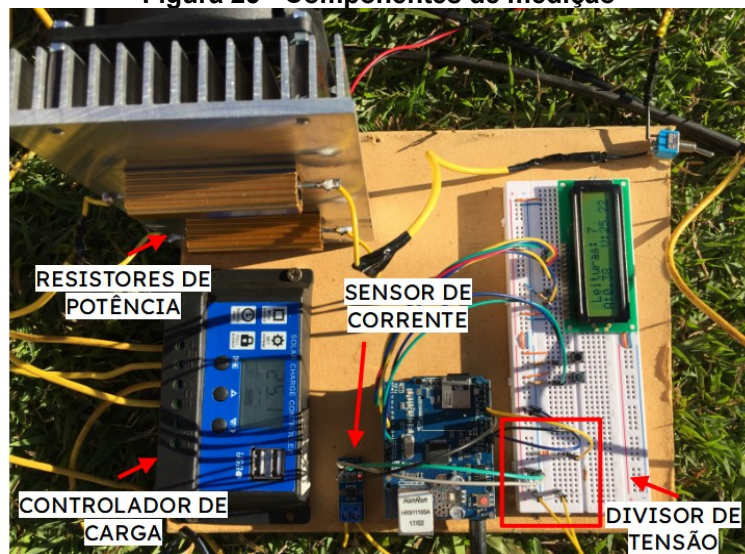
cartão SD para armazenar os dados coletados durante o período de testes, o sensor de corrente, divisor de tensão e um LCD mostrando os valores medidos e o número de leituras armazenadas no cartão.

**Figura 24 - Sistema fotovoltaico testado**



Fonte: Autor, 2022.

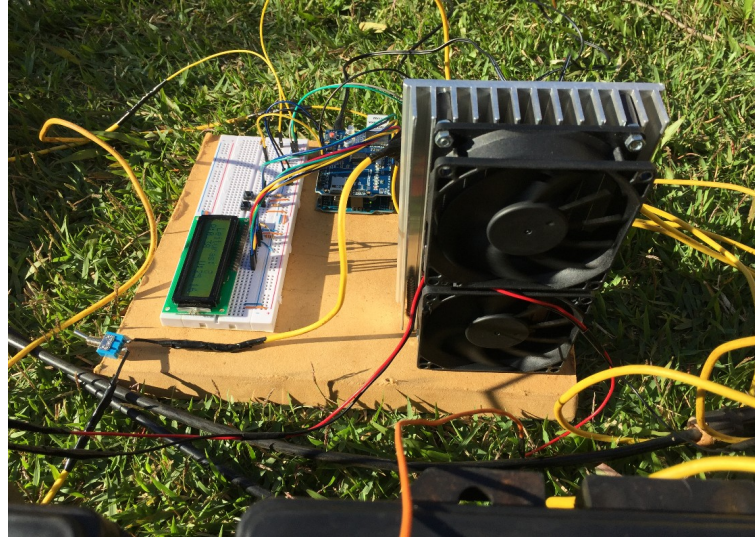
**Figura 25 - Componentes de medição**



Fonte: Autor, 2022.

Os ventiladores dos dissipadores são de 12 V, cada ventilador foi ligado a uma bateria, a fim de manter o balanceamento do consumo. A Figura 26 mostra uma visão lateral dos componentes de mediação.

**Figura 26 - Vista lateral da parte de medição**



**Fonte: Autor, 2022.**

O Arduino foi conectado a uma fonte externa, ligada a rede elétrica, devido a entrada de tensão do Arduino ser de 5 V a 12 V. Além disso proporciona uma maior estabilidade para o controlador, evitando que fique sem energia durante o processo de medição.



#### 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A fim de validar os valores coletados pelo controlador durante os testes, foi realizado uma calibração da escala feita no código, utilizando como base de comparação a medição com um multímetro.

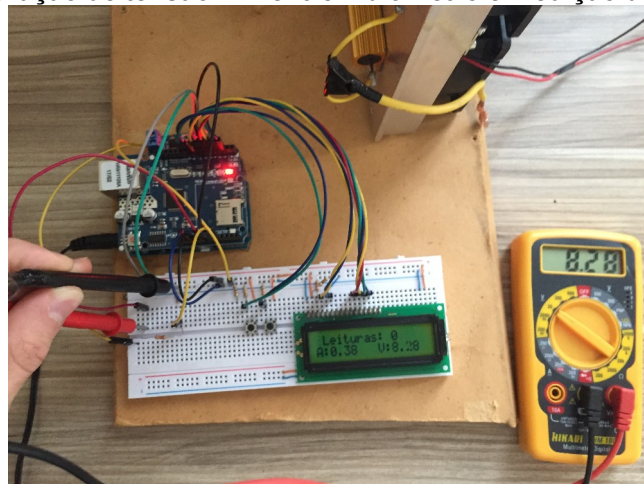
Para verificação do valor de tensão, foi aplicado 5 V, 3,3 V e a tensão de entrada proveniente direto da fonte, obtida no pino Vin do microcontrolador. Os valores podem ser verificados nas Figuras 27, 28 e 29. A diferença na medição é devido ao valor dos resistores do divisor de tensão possuir tolerância de 5%, além da limitação do conversor analógico-digital do microcontrolador, que possui resolução de 10 bits.

**Figura 27 - Comparação de tensão de 5 V entre multímetro e medição do microcontrolador**



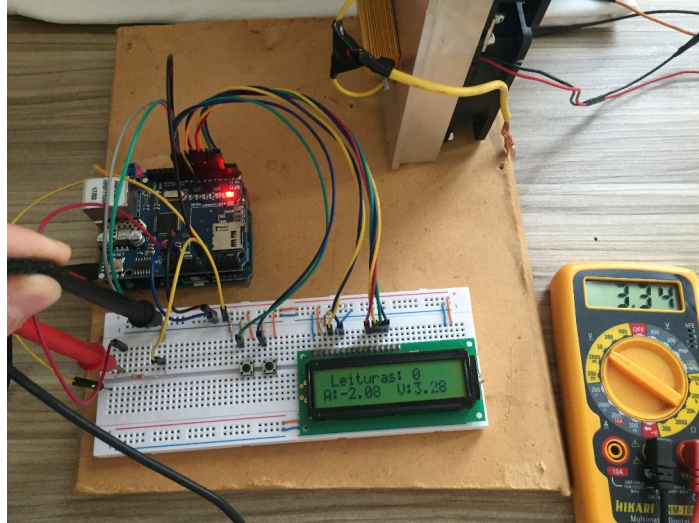
Fonte: Autor, 2022.

**Figura 28 - Comparação de tensão VIN entre multímetro e medição do microcontrolador**



Fonte: Autor, 2022.

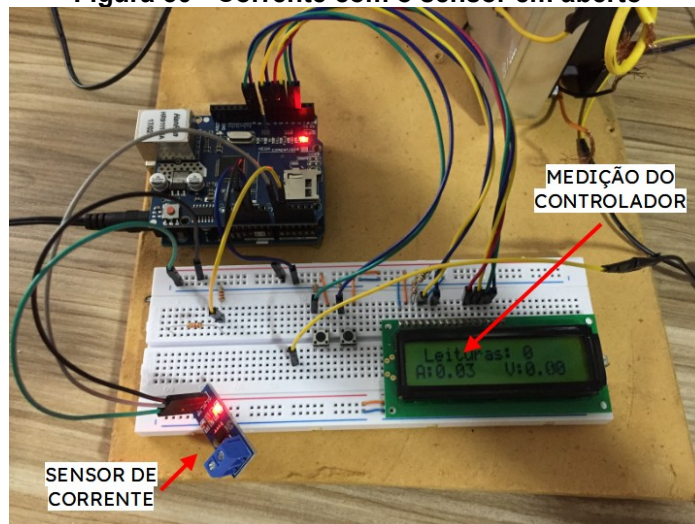
**Figura 29 - Comparação de tensão de 3,3 V entre multímetro e medição do microcontrolador**



Fonte: Autor, 2022.

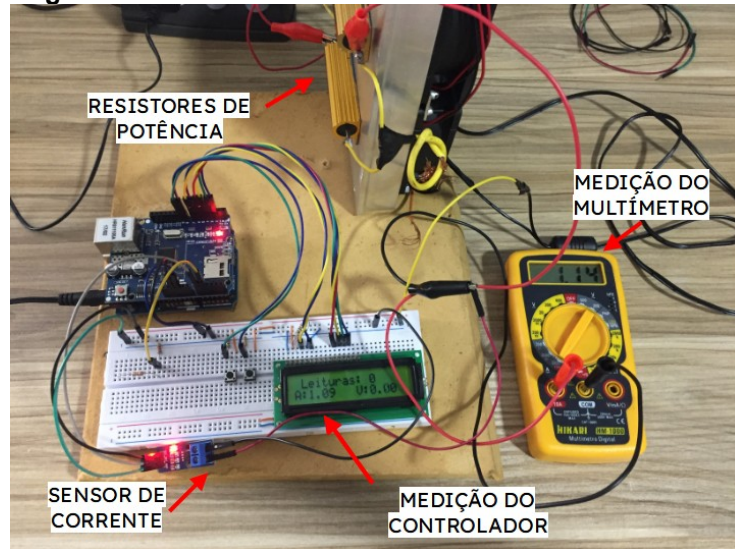
No caso do sensor de corrente por efeito Hall, foi utilizada uma outra fonte de 5 V aplicada aos resistores de potência, em série com o multímetro em escala de corrente e com o sensor de efeito hall, Figuras 30 e 31. Devido ao sensor ter um intervalo de medição de -30 A a 30 A, somado a resolução de 10 bits do microcontrolador, o sinal fica sensível a ruídos, apresentando variações em relação ao valor real esperado.

**Figura 30 - Corrente com o sensor em aberto**



Fonte: Autor, 2022.

**Figura 31 - Corrente fixa medida no multímetro e sensor**

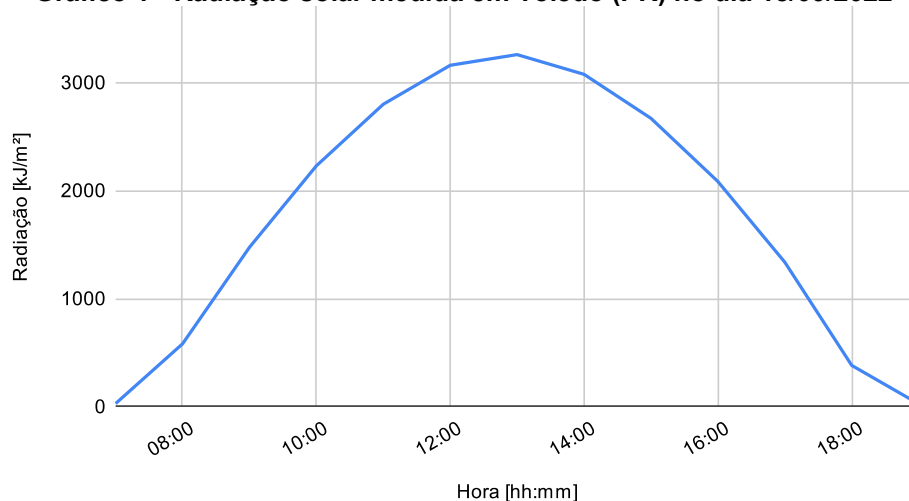


**Fonte: Autor, 2022.**

O teste foi realizado no dia 18 de setembro de 2022, com tempo de céu aberto, sendo esta época do ano mais próxima ao solstício de inverno, cuja inclinação da terra com o sol na latitude da cidade de Toledo, Paraná, onde foram realizados os testes, acabam penalizando a capacidade de geração da placa.

Utilizando dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o dia do teste, podemos analisar a radiação global [kJ/m<sup>2</sup>] Gráfico 1, para a estação S835 do SIMEPAR, localizada próximo a área urbana de Toledo.

**Gráfico 1 - Radiação solar medida em Toledo (PR) no dia 18/09/2022**



**Fonte: INMET e SIMEPAR, 2022.**

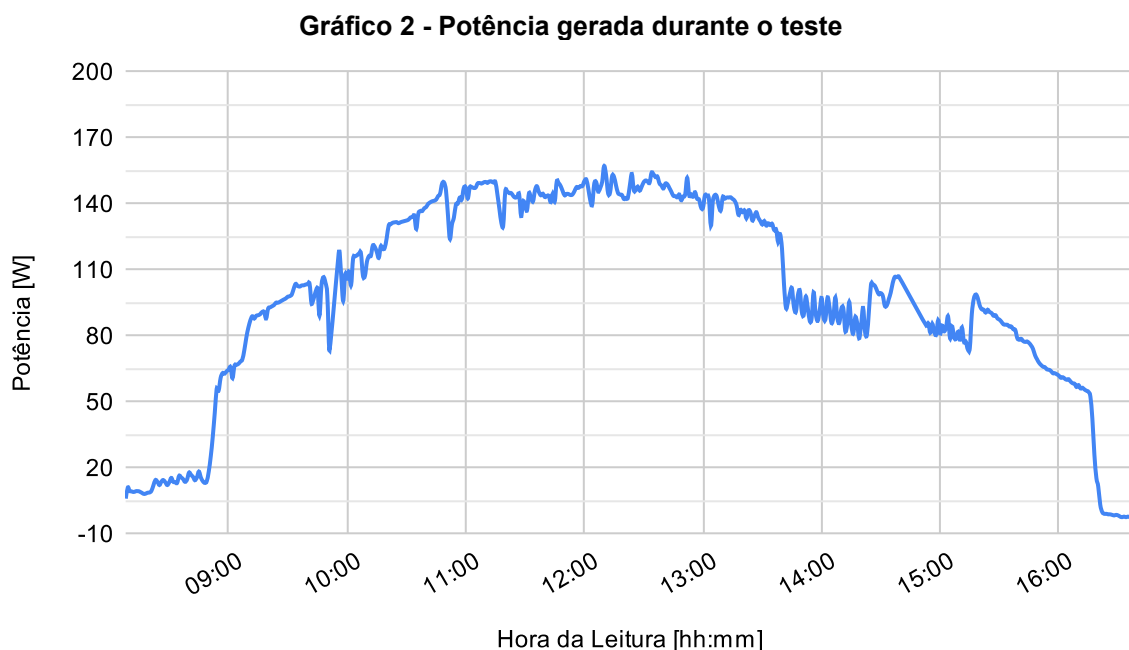
Após realizar os testes com a placa, foi obtido o arquivo com os valores de corrente e tensão medidos durante o dia. Em um momento do teste, o Arduino

precisou ser reiniciado, mas devido a forma que foi elaborado a lógica, foi necessário apenas reinserir a hora daquele momento seguindo assim com as medições e armazenamento dos valores.

Em outro momento a placa precisou ser movida alguns metros para que não ficasse na sombra de uma construção, nesse momento o Arduíno acabou marcando alguns valores zerados, voltando a funcionar normalmente em seguida. Para elaborar os gráficos, foi desconsiderada estas medições.

O arquivo de valores separados por vírgula gerado no dia do teste estão disponíveis no *github*, juntamente ao código comentado utilizado no microcontrolador no dia do teste. O link para a pasta se encontra nas referências.

No Gráfico 2, é apresentada a curva de tendência da potência fornecida pela placa durante o dia. É possível perceber a partir do gráfico que a potência inicia e se mantém em 5 W a 20 W durante os primeiros 40 minutos do teste, e em um intervalo de 3 minutos salta para 60 W. O mesmo comportamento pode ser notado mais próximo ao final do teste, no qual a potência diminui de forma gradual e em um período de 2 minutos cai para um valor negativa, intervalo no qual a placa para de fornecer energia, e a bateria então começa a fornecer energia para manter o controlador de carga ligado.



**Fonte: Autor, 2022.**

Ao analisar os dados obtidos, fazendo uma média da potência medida

minuto a minuto em uma hora e somando os valores, obtêm-se quantidade de energia gerada de 852,09 Wh, Tabela 2. Ao dividir esse valor para uma carga ligada constantemente durante 24 horas, esse sistema tem uma autonomia de manter uma carga de 35,5 W.

**Tabela 2 - Quantidade de energia produzida em cada hora do dia**

Período (h)	Quantidade de Energia (Wh)
8	13,90
9	94,34
10	131,75
11	144,95
12	146,86
13	131,72
14	91,57
15	81,52
16	15,49
Total	852,09

Fonte: Autor, 2022.

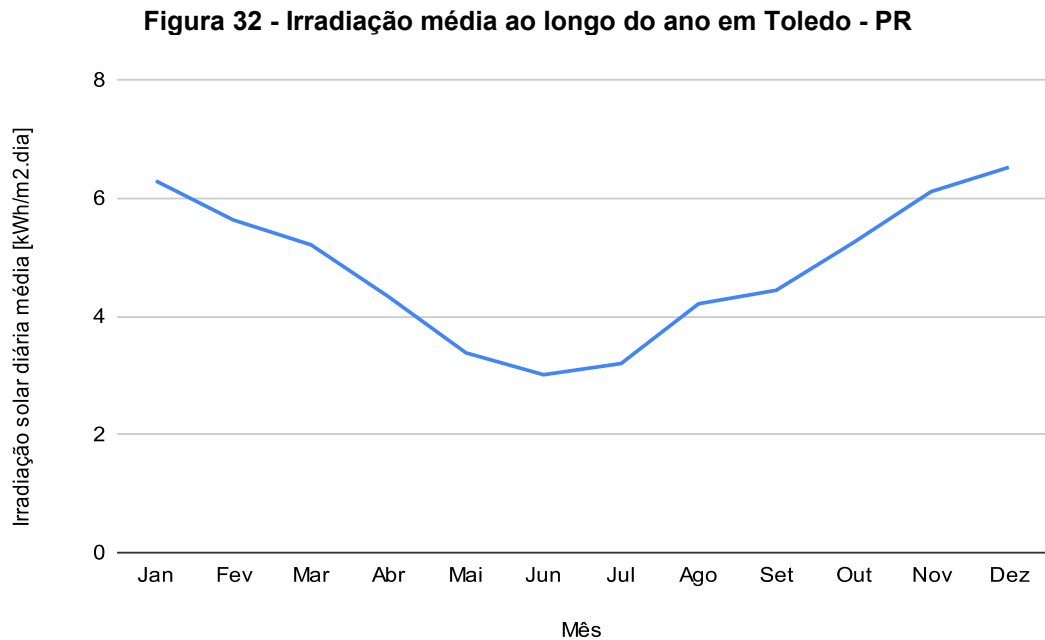
Essa potência obtida de 35,5 Wh, apesar de ser menor do que o esperado de 65 W para o refrigerador, pode ser suficiente para estender a carga o suficiente até que o motorista volte para a estrada, onde o alternador também fornecerá energia para a bateria.

Nesse sentido, também seria possível utilizar uma placa com uma potência de geração maior, atentando-se ao espaço físico disponível para a fixação do painel e também a corrente que o controlador de carga suporta.

A fim de verificar o valor gerado, é possível utilizar o valor da irradiância do Gráfico 1. Como o valor é medido em hora, ao dividir por 3,6 (3600 segundos dividindo 1000), para obter o valor em  $W/m^2$ . Como a placa possui uma área próxima de  $1 m^2$ , ao multiplicar pela eficiência da placa, cerca de 15%, obtêm-se que para as 11 horas UTC, 8 horas horário local, a potência esperada de geração se aproxima dos 10 W observados na medição. Esta relação pode ser observada em outros períodos do dia.

Outro fator que pode ser analisado é o potencial solar da região. Através dos dados fornecidos pelo Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica de S. Brito (CRESESB), Figura 32, nota-se que para os meses de junho e julho a irradiação é cerca da metade comparada aos meses de dezembro e janeiro. Isso

sugere que para uma análise mais completa, o teste com o sistema deveria ser realizado em vários períodos do ano.



**Fonte: CRESESB, 2022.**

Se considerar para o custo da montagem do sistema o valor de R\$1.000,00, considerando um painel fotovoltaico, controlador de carga e os cabos e conectores, é possível fazer uma análise de retorno de investimento baseado na economia de combustível proporcionada em relação a manter o motor ligado ocioso para carregar a bateria.

Ao manter o motor ligado uma hora por dia para que a bateria não descarregue, é consumido nesse intervalo 1,5 L de combustível, resultando em R\$10,00 de economia para cada hora. Ao dividir o investimento inicial pela economia em horas, seriam necessárias 100 horas equivalentes de economia de combustível para o sistema se pagar. Se em dois dias da semana o sistema evitasse que o motor ficasse ligado por uma hora por dia, é estimado que o retorno do investimento fique próximo de um ano.

## 5 CONCLUSÃO

Ao agregar o conhecimento obtida durante a graduação, foi possível desenvolver uma ideia de aplicação de fontes de energias renováveis, somado a outros conceitos aprendidos ao longo da formação. A partir desse objetivo, foi possível relacionar a geração fotovoltaica com veículos, com o intuito de verificar se seria viável tal aplicação.

O objetivo de simular um sistema fotovoltaico trouxe alguns desafios, como o da carga fantasma, que além de necessitar resistores de potência, foi necessário uma dissipação com ventilação forçada.

Como o veículo já possui baterias, e suas cargas utilizam corrente contínua, isso facilitou o desenvolvimento do trabalho e do protótipo, pois isso eliminou a necessidade de inversores de tensão. Durante o desenvolvimento também foi possível verificar através de outros estudos que o sistema fotovoltaico pode funcionar juntamente ao alternador do veículo de forma paralela.

A energia gerada no teste foi abaixo do esperado quando levado em consideração a potência da placa utilizada. Esse resultado pode ser explicado devido ao período do ano em que o teste foi realizado e ao controlador PWM, extraindo menos da capacidade de geração do painel.

É importante ressaltar também que no estudo foi considerado um sistema estático, não levando em conta condições como sujeira, mudança de local, sombra de estruturas e outros aspectos que degradam a geração do sistema fotovoltaico.

Dentro da proposta de aplicar o sistema fotovoltaico em um veículo, este trabalho se limitou a analisar a capacidade de geração de um sistema de pequena escala que possa ser integrado a um veículo. Desta forma, outros pontos como uma análise mais aprofundada quanto a economia de combustível proporcionada por esta aplicação ficaram no campo teórico.

Contudo, os resultados, apesar de abaixo do esperado, agregam para a análise de aplicação do sistema. Visto que já existem casos onde ocorrem essa aplicação, o trabalho vem com o intuito de oferecer alguns dados quanto a geração do sistema, auxiliando na tomada de decisão no investimento.

Por fim, a partir da análise dos resultados, é possível observar pontos para estudos futuros, realizando o teste em outros períodos do ano, cobrindo a variação de irradiância. Do ponto de vista tecnológico, pode ser considerado uma análise do

mesmo sistema utilizando um controlador MPPT, que por ser mais eficiente na conversão, pode extrair mais da placa, visto que o sistema precisa ser compacto.



## REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew N O. **Fundamentos de Circuitos Elétricos com Aplicações**. Porto Alegre: Grupo A, 2013. E-book. ISBN 9788580551730. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#!/books/9788580551730/>>. Acesso em: 15 dez. 2022.
- ALLEGRO MICROSYSTEMS, **ACS712**. 2022. Disponível em: <<https://www.allegromicro.com/en/products/sense/current-sensor-ics/zero-to-fifty-amp-integrated-conductor-sensor-ics/acs712>>. Acesso em: 15 dez. 2022.
- ALVES, Dionatas R. S.; LIRA, Marcos A. T. **Estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação de energia solar fotovoltaica em unidade consumidora no aeroporto de teresina no estado do Piauí**. Gramado: VII Congresso Brasileiro de energia solar, 2018. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/567>>. Acesso em: 15 dez. 2022.
- ASHRAFUR RAHMAN, S. M.; MASJUKI, H. H.; KALAM, M.A.; ABEDIN, M. J.; SANJID, A.; SAJJAD, H. **Impact of idling on fuel consumption and exhaust emissions and available idle-reduction technologies for diesel vehicles – A review**. Energy conversion and management, v. 74, p. 171-182, 2013.
- BALFOUR, John. **Introdução ao Projeto de Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2016. E-book, Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#!/books/9788521635314/>>. Acesso em: 15 dez. 2022.
- BERNARDINO, Diogo M.; SILVA, Joaquim Francisco. **Condições de trabalho dos caminhoneiros: Uma análise dos pontos de apoio, parada e descanso disponibilizados aos caminhoneiros em Anápolis-GO**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Tecnologia em Logística), Instituto Federal de Goiás, Anápolis, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/388>>. Acesso em: 15 dez. 2022.
- CARNEIRO, R. L.; MOLINA, J. H. A.; ANTONIASSI, B.; MAGDALENA, A. G.; PINTO, E. M. **Aspectos essenciais das Baterias Chumbo-Ácido e Princípios Físico-Químicos e Termodinâmicos do seu Funcionamento**. Niterói: Revista Virtual de Química, 2007. Disponível em: <<http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v9n3a06.pdf>>. Acesso em :15 dez. 2022.
- CATUZZO, G. **Coleta-e-armazenamento-de-dados-de-corrente-e-tensao**. Brasil, 2022. Disponível em: <<https://github.com/GiovaneC/Coleta-e-armazenamento-de-dados-de-corrente-e-tensao.git>>. Acesso em: 15 dez. 2022.
- CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE S. BRITO, **Ferramenta de dado de potencial Solar**. Rio de Janeiro: CRESESB. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 15 dez 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa perfil dos caminhoneiros**. Brasília: CNT, 2019. Disponível em: <<https://cnt.org.br/perfil-dos-caminhoneiros>> Acesso em: 15 dez. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Relatório Síntese 2021: Ano base 2020**. Rio de Janeiro: EPE, 2021. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/BEN\\_S%C3%Adntese\\_2021\\_PT.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/BEN_S%C3%Adntese_2021_PT.pdf)>. Acesso em: 15 dez. 2022.

FERREIRA, João Paulo J. **A energia solar e o conceito de horas de sol pleno**. Rio de Janeiro: CEFET, 2019. Disponível em: <[https://www.academia.edu/43589298/A\\_ENERGIA\\_SOLAR\\_E\\_O\\_CONCEITO\\_DE\\_HORAS\\_DE\\_SOL\\_PLENO?from=cover\\_page](https://www.academia.edu/43589298/A_ENERGIA_SOLAR_E_O_CONCEITO_DE_HORAS_DE_SOL_PLENO?from=cover_page)>. Acesso em: 15 dez. 2022.

HART, Daniel W. **Eletrônica de potência: análise e projetos de circuitos**. Porto Alegre: Grupo A, 2012. E-book. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580550474/>>. 15 dez. 2022.

HS DISSIPADORES. **Catálogo HS Dissipadores 2022**. São Paulo: HS Dissipadores, 2022. Disponível em: <<https://www.hsdissipadores.com.br/catalogo.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Nota técnica da Logística dos Transportes no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. Disponível em: <[https://geoftp.ibge.gov.br/organizacao\\_do\\_territorio/redes\\_e\\_fluxos\\_geograficos/logistica\\_dos\\_transportes/Nota\\_tecnica\\_da\\_Logistica\\_dos\\_Transportes\\_no\\_Brasil\\_2014\\_20191031.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/redes_e_fluxos_geograficos/logistica_dos_transportes/Nota_tecnica_da_Logistica_dos_Transportes_no_Brasil_2014_20191031.pdf)>. Acesso em: 14 maio

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. Rio de Janeiro: IPEA, 2018. Disponível em: <[http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8400/1/TD\\_2388.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8400/1/TD_2388.pdf)>. Acesso em: 14 maio 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, **Dados históricos anuais**. Brasília: INMET. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

INSTITUTO NEWTON C. BRAGA, **Como funcionam os sensores por efeito Hall**. 2013. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/6640-como-funcionam-os-sensores-de-efeito-hall-art1050>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

KAVLAKA, Goksin; McNERNEYA, James; TRANCIK, Jessika E. **Evaluating the causes of cost reduction in photovoltaic modules**. Cambridge, MA, USA: Institute for Data, Systems and Society, Massachusetts Institute of Technology, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/am/pii/S0301421518305196>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

KRONTHALER, L.; MATURI, L.; MOSER, D.; ALBERTI, L. **Vehicle-integrated**

**Photovoltaic (ViPV) systems:** Energy production, Diesel Equivalent, Payback Time; an assessment screening for trucks and busses. *In*: Ninth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER). 2014, Monte-Carlo, Monaco. pp. 1-8, doi: 10.1109/EVER.2014.6844150.

MARCHETTI, Dalmo dos Santos; FERREIRA, Tiago Toledo. **Situação atual e perspectivas da infraestrutura de transportes e da logística no Brasil.** In: BNDES 60 anos: perspectivas setoriais. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2012. p. 232-270. Disponível em: <<http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1981>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

McBRIDE, Ali. **Solar Panel Wiring Basics:** An Intro to How to String Solar Panels. Aurorasolar, 2022. Disponível em: <https://www.aurorasolar.com/blog/solar-panel-wiring-basics-an-intro-to-how-to-string-solar-panels/>. Acesso em: 15 dez. 2022.

MOREIRA, José Roberto S. **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.** Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2021. E-book, Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521636816/>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

NAYYAR, A.; PURI, V. **A Review of Arduino board's, lilypad's & Arduino shields.** Jalandhar, 2016.

NEO SOLAR. **Painel Solar Fotovoltaico 330W** - OSDA ODA330-36-P. 2022. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-330w-osda-oda330-36-p.html>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

NEO SOLAR. **Controlador de Carga PWM 10A 12/24V** - Epever Viewstar VS1024AU. 2022. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/controlador-carga-pwm-10a-12-24v-epever-viewstar-vs1024au.html>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

NORTH AMERICAN COUNCIL FOR FREIGHT EFFICIENCY. **Solar panels (Tractors).** NACFE, 2019. Disponível em: <<https://nacfe.org/technology/solar-panels-2/>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

PINTO, J. F. **Magnetometria por efeito Hall.** Dissertação de Mestrado (Física) UFPE, Recife, 2010. Disponível em: <[https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6921/1/arquivo853\\_1.pdf](https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6921/1/arquivo853_1.pdf)>. Acesso em 15 dez. 2022.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica.** 3. ed. Barueri: Editora Manole, 2017. E-book, Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555762242/>>. 15 dez. 2022.

RIRAM, Ige; PERREAULT, David J. **Automotive Power Generation and Control.** IEEE Transactions on power electronics, v. 19, n. 3, Maio 2004.

SVOBODA, V.; WENZL, H.; KAISER, R.; JOSSEN, A.; BARING-GOULD, I.; MANWELL, J.; LUNDSAGER, P.; BINDNER, H; CRONIN, T; NØRGÅRD, P; RUDELL, A.; PERUJO, A.; DOUGLAS, K.; RODRIGUES, C.; JOYCE, A.; TSELEPIS, S.; BORG, N. van der; NIEUWENHOUT, F.; WILMOT, N.; MATTERA, F.; SAUER, D. U.. **Operating conditions of batteries in off-grid renewable energy systems.** Solar Energy, v. 81, n. 11 p. 1409-1425, Novembro 2007.

2CARPROS. **Serpentine and timing belt diagrams**. Disponível em:  
<<https://www.2carpros.com/diagrams/dodge/neon/2000>>. Acesso em: 15 dez. 2022.