



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

HELLISSON DE CASTRO FREITAS BARBOSA BORGES

**PROJETO DE SEMÁFORO SUSTENTÁVEL ALIMENTADO POR SISTEMA
HÍBRIDO**

Palmas/TO

2019

HELLISSON DE CASTRO FREITAS BARBOSA BORGES

**PROJETO DE SEMÁFORO SUSTENTÁVEL ALIMENTADO POR SISTEMA
HÍBRIDO**

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Elétrica para obtenção do título de bacharel em engenharia elétrica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Me. Alcy Monteiro Junior
Banca: Ma. Gisele Souza Parmezani Marinho e Dra. Priscila Oliveira

Palmas/TO
2019

<https://sistemas.uft.edu.br/ficha/>

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

B732p Borges, Helisson de Castro Freitas Barbosa.
Projeto de Semáforo Sustentável Alimentado por Sistema Híbrido. /
Helisson de Castro Freitas Barbosa Borges. – Palmas, TO, 2019.
56 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Elétrica, 2019.

Orientador: Alcy Monteiro Junior

1. Semáforo. 2. Energia Solar. 3. Sistema híbrido. 4. Eletrônica. I. Título

CDD 621.3

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

FOLHA DE APROVAÇÃO

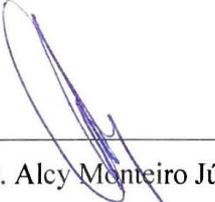
HELLISSON DE CASTRO FREITAS BARBOSA BORGES

PROJETO DE SEMÁFORO SUSTENTÁVEL ALIMENTADO POR SISTEMA HÍBRIDO

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Elétrica para obtenção do título de Bacharel e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 08 / 08 / 2019

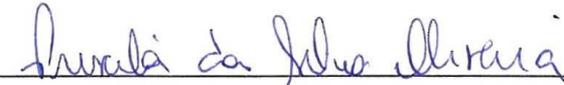
Banca Examinadora



Prof. M^º. Alcy Monteiro Júnior, UFT.



Prof. M^ª. Gisele Souza Parmezani Marinho, UFT.



Prof. Dr^a. Priscila da Silva Oliveira, UFT.

Palmas-TO, 2019

Dedico essa página à Deus e aos meus pais José Donizeti de Freitas Borges e Berenice de Fátima Barbosa Castro por todo apoio que me deram todos esses anos. Dedico também à todos os amigos envolvidos nessa etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por ter me dado forças para continuar trilhando minha vida no rumo certo, também agradeço aos meus pais por tudo que fizeram por mim. Agradeço aos meus amigos que me apoiaram por toda trajetória, principalmente o Blue.

Agradeço aos meus professores por terem me dado todo ensinamento e conhecimento durante todos esses anos. Agradeço também ao Professor Alcy por ter me orientado nesse trabalho de conclusão de curso.

RESUMO

A falta de energia elétrica, provinda da rede pública, que alimentam os semáforos provoca desordem no fluxo de carros e, devido a isso, a implementação de um sistema de apoio em apagões com o uso de banco de baterias e energia solar mostra-se viável e palpável, levando em consideração o potencial energético do estado. A viabilidade de utilização de energia solar no estado do Tocantins é comprovada por seus níveis de irradiação solar. Assim, a alternativa de semáforos sustentáveis, que utilizam energias limpas e renováveis, surge diante do aumento da frota de veículos, congestionamentos, necessidade de ordenar todo o tráfego e adoção de medidas ecológicas para conter problemas ambientais. Uma vez que o sistema esteja balanceado e estável, possibilitará conforto, ordem e diminuirá os prejuízos para a população e a região.

Palavras-chaves: semáforo solar; sistema híbrido; energia solar

ABSTRACT

The lack of electricity, coming from the public network, that feeds the traffic lights cause disorder on the car flow, due to this, an implementation of a support system on blackouts with the use of a battery bank and solar energy becomes viable and tangible, taking in consideration the energetic potential of the state. The viability of using solar energy on the state of Tocantins it's proven by its levels of solar irradiation. Therefore, sustainable traffic lights alternative, that uses clean and renewable energies appears before the rise of the vehicle fleet, traffic jams, need to sort all traffic and adoption of ecologic measures to containing environmental problems. Once the system is balanced and stable, it will enable comfort, order and reduce harm to the population and region.

Key-words: solar traffic light; hibrid system; solar energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Irradiação anual do Brasil.	17
Figura 2 -Distribuição eletrônica do Germânio (Ge) e Silício (Si).	20
Figura 3 - Simbologia de um Diodo de junção.....	21
Figura 4 - Diodo 1N4007.	22
Figura 5 - Polarização Direta de um Diodo.	22
Figura 6 - Polarização Reversa do Diodo.	23
Figura 7 - Representação de um diodo Zener.	24
Figura 8 - Diodo Zener 1N4742.	24
Figura 9 - Transistores NPN e PNP.....	25
Figura 10 - Representação de um capacitor de planas paralelas.	26
Figura 11 - Capacitor Eletrolítico de 100uF.	26
Figura 12 - Esquemático de ligação de um CI da série 78XX.	27
Figura 13 - Regulador de Tensão variável LM317.....	27
Figura 14 - Exemplo de resistor variável ou Trimpot.	28
Figura 15 - Simbologia de Resistor.	28
Figura 16 - Exemplo de resistor.	29
Figura 17 - Bateria selada 12V e 5Ah.	30
Figura 18 - Arduino UNO.	31
Figura 19 - Diagrama de um Sistema <i>Off-grid</i>	32
Figura 20 - Célula fotovoltaica.	33
Figura 21 - Esquemático de um sistema fotovoltaico conectado à rede.....	34
Figura 22 - Esquemático de um sistema fotovoltaico desconectado à rede.	35
Figura 23 - Esquemático de um sistema híbrido.	36
Figura 24 - Semáforo apagado na Avenida Teotônio Segurado, Palmas/TO.....	37
Figura 25 - Semáforo Solar de Garanhuns PE.....	37
Figura 26 - Radar Solar instalado na cidade de Palmas-TO.....	38
Figura 27 - Controlador de carga ligado ao Paine Solar 55W.....	39
Figura 28 - Baterias para simulação.	40
Figura 29 - Módulo relé 2 posições.	41
Figura 30 - Diagrama de simulação do semáforo.....	42
Figura 31 - Sensor de tensão / divisor de tensão.	43
Figura 32 - Divisor de tensão.	44

Figura 33 - Fonte de alimentação de corrente contínua utilizada.....	47
Figura 34 - Controlador de carga montado.....	47
Figura 35 - Bateria conectada ao circuito.....	48
Figura 36 - Circuito do semáforo montado e conectado ao Arduino Uno.	50
Figura 37 - Fonte de alimentação 220Vca/12Vcc.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados do controlador de carga simulado (Sem bateria).....	39
Tabela 2 - Dados do controlador de carga simulado (com bateria 10,8V).....	40
Tabela 3 - Dados do controlador de carga simulado (com bateria 7,48V).....	40
Tabela 4 - Resultados de tensão e corrente nas lâmpadas.	43
Tabela 5 - Dados coletados da bateria de 10,8V.	49
Tabela 6 - Dados coletados da bateria de 7,45V.	49
Tabela 7 - Comparativo de Tensão x Corrente na Bateria de 7,45V.....	51
Tabela 8 - Comparativo de Tensão x Corrente na Bateria de 10,8V.....	51
Tabela 9 - Valor estimado do sistema híbrido.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNT	Confederação nacional de transporte
<i>On-Grid</i>	Conectado à rede
<i>Off-Grid</i>	Desconectado à rede
PWM	<i>Pulse width modulation</i> – Modulação por largura de pulso
MPPT	<i>Maximum power point tracking</i> – Ponto rastreador de máxima potencia
IDE	Ambiente de desenvolvimento integrado
SI	Silício
GE	Germânio
N	Tipo negativo
P	Tipo positivo
VB	Tensão que circula pelo diodo
TBJ	Transistor bipolar de junção
NPN	Transistor formado por camada negativa-positiva-negativa
PNP	Transistor formado por camada positiva-negativa-positiva
CI	Circuito integrado
R	Resistor
ISIS	Sistema de entrada de esquemático inteligente
VSM	Modulação de sistema virtual
ARES	Roteamento avançado e edição de software
C/C++	Linguagem de programação
UNO	Modelo de <i>hardware</i> arduino
TIP	Transistor <i>Darlington</i>
NA	Normalmente aberto
NF	Normalmente fechado
BAT1	Bateria
D7	Diodo de proteção
L1	Pino digital 1
L2	Pino digital 2
L3	Pino digital 3
DC	Corrente Continua

LISTA DE SÍMBOLOS

k	Representa 10^3
μ	Micro
Ω	Unidade De Medida De Resistência - <i>Ohm</i>
F	Unidade De Medida De Capacitância - <i>Faraday</i>
W	Unidade De Medida De Potência - <i>Watts</i>
Wp	Unidade De Medida De Potência De Equipamento Solar – <i>Watt-Pico</i>
A	Unidade De Medida De Corrente- <i>Ampere</i>
V	Unidade De Medida De Tensão - <i>Volt</i>
n	Nano

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Problema de Pesquisa	16
1.1.1	Hipótese	16
1.1.2	Delimitação de Escopo	16
1.1.3	Justificativa	16
1.2	Objetivos	17
1.2.1	Objetivo Geral.....	17
1.2.2	Objetivos Específicos.....	17
1.3	Metodologia	18
1.3.1	Metodologia da Pesquisa	18
1.3.2	Procedimentos Metodológicos.....	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	Semicondutores	20
2.1.1	Diodos	21
2.1.2	Diodo Zener	23
2.1.3	Transistores	24
2.1.4	Capacitores.....	25
2.2	Regulador de Tensão	26
2.3	Resistores	28
2.4	Baterias	29
2.5	Proteus	30
2.6	Arduino Uno	30
2.7	Controlador de Carga	31
2.8	Energia Fotovoltaica	33
2.9	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede	34
2.10	Sistema Fotovoltaico Desconectado à Rede	34
2.11	Sistemas Fotovoltaicos Híbridos	35
3	FALTA DE ENERGIA EM SEMÁFOROS	36
3.1	Semáforo e Radar Solar Sustentável	37
4	DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS	38
4.1	Simulação do Controlador de Carga	38

4.2	Simulação do Sistema <i>No-Break</i> do Semáforo	40
4.3	Montagem do Controlador de Carga	46
4.4	Montagem do Sistema <i>No-Break</i> do Semáforo	49
4.5	Comparativo Dos Resultados	51
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
5.1	Aplicações Futuras	53
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1 INTRODUÇÃO

No ano de 2018, a frota brasileira atingiu a considerável marca de 100 milhões de veículos (CNT, 2018) exigindo um controle de tráfego refinado, como por exemplo, a instalação de semáforos e rotatórias e placas de sinalização. Da utilização de semáforo destaca-se dois impactos antagônicos: a redução de acidentes e o aumento de paradas tanto de veículos e de pedestres (VILANOVA, 2018). Entretanto, cabe aos semáforos o controle ininterrupto do fluxo de veículos ao longo do dia.

O fluxo de veículos e o desenvolvimento econômico de uma região, estão diretamente ligados. Por isso, a interrupção de umas das ferramentas de controle de fluxo acarreta acidentes e prejuízos para a região.

Diante da interrupção desse serviço pela falta de energia elétrica, por exemplo devido a apagões, sugere-se a exploração do potencial energético solar a fim de fortalecer o sistema de tráfego (RIZZO *et al.*, 2015). “O termo ‘Apagão’ foi adotado como referência às interrupções ou falta de energia elétrica, frequentes, como ‘blecautes de longa duração’.” (BAPTISTA, 2016, p.8).

Pode-se dividir o sistema solar fotovoltaico em dois grupos, *on-grid* ou *off-grid* que simplificada mente significa sistema conectado ou desconectado à rede respectivamente (OLIVEIRA, 2016). O sistema conectado à rede é mais utilizado em centros urbanos e usinas solares, e o sistema desconectado em lugares isolados, onde há nenhum ou pouco acesso à energia elétrica proveniente das concessionárias.

Um sistema de geração fotovoltaico *off-grid*, ligado em paralelo à rede da concessionária que alimentaria o semáforo, auxiliaria nos momentos de interrupções ou instabilidades na alimentação principal (rede da concessionária). Estes sistemas fotovoltaicos autônomos são muito importantes na eletrificação de propriedades rurais, comunidades isoladas, bombeamento de água e sistemas de telecomunicações (VILLALVA *et al.*, 2012, p.54).

Em geral, os sistemas fotovoltaicos são constituídos por módulos solares que são capazes de fornecer energia à rede através de um inversor em sua modalidade *on-grid* ou, armazenar energia em um banco de baterias por meio de um controlador de carga quando em *off-grid* (BORTOLOTO *et al.*, 2017). O controlador de carga é um componente de fundamental importância, para monitorar a tensão da bateria, controlar o carregamento e descarregamento prevenindo sobrecarga e descarga profunda das baterias (FARIAS *et al.*, 2016).

Os controladores de carga são divididos em três tipos, sendo eles: *On/Off*, *PMW* (*Pulse Width Modulation*, Modulação por Largura de Pulso) e *MPPT* (*Maximum Power Point Tracking*, Ponto Rastreador de Máxima Potência) (FARIAS *et al.*, 2016). O tipo *On/Off* é o mais simples, sem controle nenhum de entrada e saída, ele apenas entrega à bateria a tensão de saída dos módulos. O *PWM*, consegue manter o controle de tensão para o carregamento da bateria, porém, com uma baixa eficiência, já o *MPPT* faz o controle preciso de tensão com máxima eficiência.

1.1 Problema de Pesquisa

O país conta com um grande número de semáforos que mantêm a ordem no tráfego de veículos, funcionando ininterruptamente 24 h/dia e como única fonte de alimentação a energia elétrica da concessionária (BORBA, 2013, p.9). Tendo como base essa necessidade de atender essa demanda, este trabalho consiste em solucionar a desordem nos cruzamentos devido à falta de energia elétrica nos semáforos, sugerindo a utilização de outra forma de alimentação auxiliar.

1.1.1 Hipótese

Uma das possíveis soluções encontradas para o problema da falta de energia elétrica em semáforos de cruzamento, seria uma forma de suprir a ausência de energia elétrica da rede pública, utilizando fontes renováveis de energia, como por exemplo a solar.

Dessa forma, um sistema de geração própria de energia, armazenada em baterias, satisfaria a necessidade de eletricidade na falta de energia, mantendo o controle do tráfego e evitando acidentes.

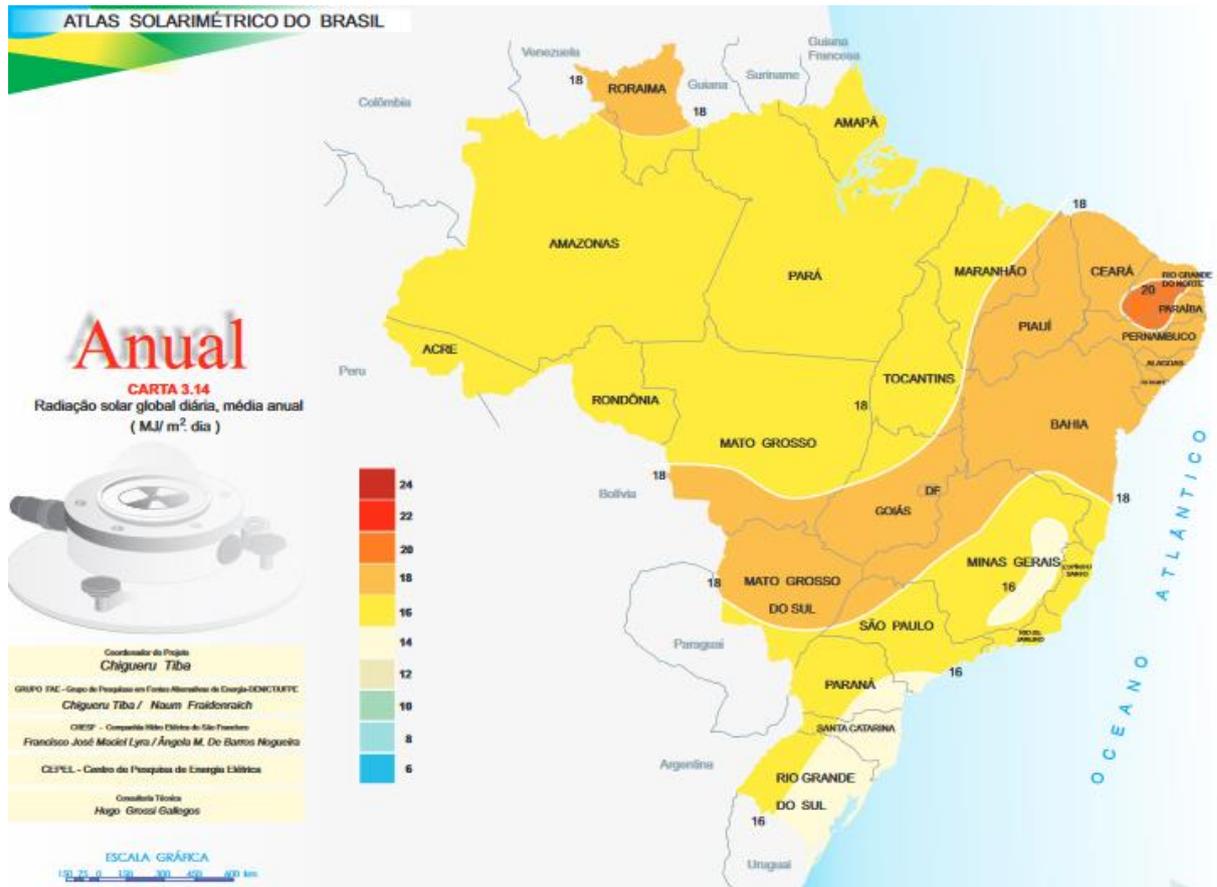
1.1.2 Delimitação de Escopo

No que compete o assunto do trabalho, será feito um sistema para atender a necessidade de energia elétrica pelo semáforo, possibilitando na simulação e implementação de um protótipo de controlador de carga para compor um semáforo solar.

1.1.3 Justificativa

Até mesmo as áreas de menor irradiação do mapa brasileiro, superam os melhores sítios de isolamento da Alemanha, que é um dos países com maior capacidade instalada fotovoltaica (FRAUNHOFER, 2015). A fim de ilustrar tal afirmação é mostrado na Figura 1 a capacidade de geração de energia solar do Brasil.

Figura 1 - Irradiação anual do Brasil.



Fonte - ATLAS SOLARIMETRICO DO BRASIL (2000).

Através da análise da Figura 1, pode-se assim afirmar que é possível a implementação de um sistema de semáforos solares que mantenham o tráfego de veículos fluindo normalmente mesmo em situações de falta de energia elétrica, devido a boa incidência de irradiação solar no território brasileiro. Com o intuito de evitar transtornos, desconforto e prejuízos para a população, o trabalho se concentra em sanar essa necessidade de manter um sistema viário em pleno funcionamento e a possibilidade de um protótipo de controlador de carga para baratear os custos (SANTOS *et al.*,2015).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo do trabalho consiste na criação de um protótipo de controlador de carga para auxiliar em um sistema fotovoltaico híbrido para a alimentação de semáforo solar.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar as consequências de falta de energia para o controle de tráfego;
- Buscar uma alternativa sustentável;
- Criação de um protótipo de controlador de carga para um semáforo solar híbrido;
- Controlar o fluxo de veículos de modo contínuo e sem interrupções;

1.3 Metodologia

1.3.1 Metodologia da Pesquisa

A metodologia desse trabalho baseia-se no método hipotético-dedutivo devido a necessidade de encontrar uma solução para o problema em questão.

a) Sob o ponto de vista de sua natureza

Por se tratar de uma possível implementação e melhoria de um sistema, utiliza-se uma pesquisa aplicada.

b) Sob o ponto de vista da forma de abordagem do problema

Pesquisa qualitativa, buscando uma solução viável e utilizável.

c) Sob o ponto de vista de seus objetivos

Trata-se de uma pesquisa descritiva para descrever uma solução e buscar resultados positivos para a demanda atual.

1.3.2 Procedimentos Metodológicos

O método de pesquisa neste trabalho é o de estudo de caso, no qual tem-se uma demanda que precisa ser solucionada, podendo assim implementar a solução e interpretar os resultados. Para cumprir com o objetivo proposto anteriormente, foram feitos estudos de eletrônica, para uso de componentes eletrônicos na criação do protótipo de controlador de carga, como os seguintes elementos:

- Semicondutores;
- Diodos;
- Transistores;
- Resistores;
- Reguladores de tensão;
- Capacitores;
- Relés;
- Baterias;
- Módulos fotovoltaicos;

Ligado ao conhecimento em *softwares* para as devidas simulações como o *Proteus*, plataforma para criação de circuito elétricos com uma vasta gama de componentes. A plataforma *Arduino IDE*, é utilizada para programação de seus microcontroladores, como o *Arduino UNO*.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Semicondutores

A base desse projeto é constituída por componentes eletrônicos chamados de semicondutores que apresentam um papel importante em cada processo, desde a geração da energia elétrica pelos módulos até o controle de carga da bateria. São ferramentas bastante utilizadas por engenheiros eletrônicos, devido seu fácil manuseio e ampla aplicação em diferentes etapas de utilização da energia elétrica.

A condutividade de um material semicondutor está interposta à alta condutividade de um condutor e baixa condutividade de um isolante (MELLO *et al.*, 1980). Essa característica do semicondutor deve-se as suas ligações covalentes, onde sua camada de valência apresenta um meio termo, diferentemente de um condutor que apresenta uma fraca ligação entre os elétrons na camada de valência ou um isolante que traz uma forte ligação entre os elétrons na camada de valência.

“Os materiais semicondutores possuem quatro elétrons em sua camada mais externa (camada de valência)” (BOYLESTAD, 2012), e como a estabilidade de um elementos químico só ocorre com a presença de oito elétrons em sua última camada, logo, os semicondutores por estarem no meio termo podem “doar” ou “receber” elétrons, dependendo da sua temperatura e resistência que são indiretamente proporcionais, ou seja, quanto maior a temperatura menor será a resistência do material e vice-versa. Os materiais semicondutores mais utilizados do mercado são Silício (Si) e Germânio (Ge), os quais são classificados como semicondutores devido a sua distribuição eletrônica, mostrado na Figura 2.

Figura 2 -Distribuição eletrônica do Germânio (Ge) e Silício (Si).

Germânio (Ge)	Silício (Si)
K 2	K 2
L 8	L 8
M 18	M 4
N 4	

Fonte - MELLO (1980) – Restaurado.

A ligação entre elementos químicos, que é o ato de dar ou ganhar elétrons de outro elemento, pode gerar impurezas. As impurezas são classificadas como doadoras ou aceitadoras (CARNEIRO, 2010).

Impurezas doadoras ou impurezas do tipo *N*, são assim chamadas, pela ligação de um isolante (número de elétrons na camada mais externa maior que quatro elétrons - pentavalente) à um semicondutor, gerando assim, um ou mais elétrons com uma fraca ligação junto ao núcleo. Em contrapartida, as Impurezas Aceitadoras são as ligações feitas entre um condutor e um semicondutor, como a camada de valência de um condutor é menor que quatro elétrons (trivalente), sua ligação covalente com um semicondutor sempre faltará elétrons, formando lacunas, podendo aceitar elétrons, formando assim impurezas do tipo *P*. A junção dos tipos *N* e *P* é um sistema físico que forma alguns dos componentes mais utilizados pela eletrônica, como os diodos e transistores.

2.1.1 Diodos

Diodos são elementos não-lineares fundamentais de circuito eletrônico, com apenas dois terminais com características corrente-tensão não-linear (SEDRA, 2007). Sua formação é uma junção da camada tipo *N* com a camada do tipo *P*, por se tratar de um semicondutor, também conhecido como diodo semicondutor de junção.

Esse componente é constituído por 2 polos terminais, ânodo (junção tipo *P*) e cátodo (junção tipo *N*), e são separados em vários tipos de diodos, como por exemplo o diodo Zener, diodo retificador, fotodiodo e etc. (MELLO, 1980). A polarização do diodo é feita de dois modos, polarização direta e polarização indireta. Sua simbologia é mostrada na Figura 3 e o diodo utilizado no projeto é mostrado na Figura 4.

Figura 3 - Simbologia de um Diodo de junção.



Fonte - SEDRA (2007).

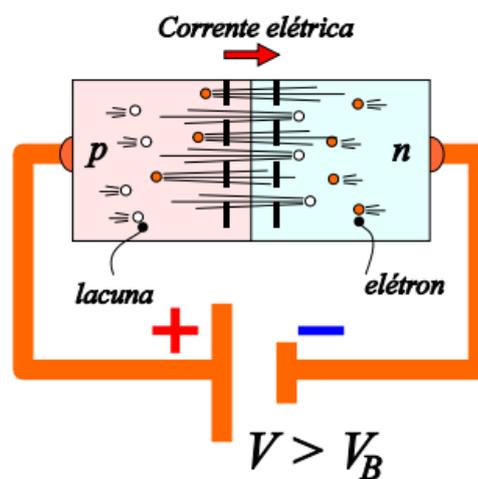
Figura 4 - Diodo 1N4007.



Fonte - Autoria própria.

A polarização direta do diodo é dada pela junção positiva do diodo ser polarizada positivamente pela fonte de alimentação, fazendo com que os elétrons sejam repelidos para a zona de depleção (região central da junção $P-N$), dependendo da tensão, podendo ultrapassar a barreira potencial entre as duas junções. Ao superar a barreira de potencial, os elétrons da região N são repelidos para o lado P , preenchendo os ‘buracos’ ou ‘lacunas’, produzindo uma corrente elétrica através do componente, fazendo com que entre em condução (OLIVEIRA, 2013). Como mostrado na Figura 5, o qual V_b é a tensão necessária para vencer a barreira de potencial.

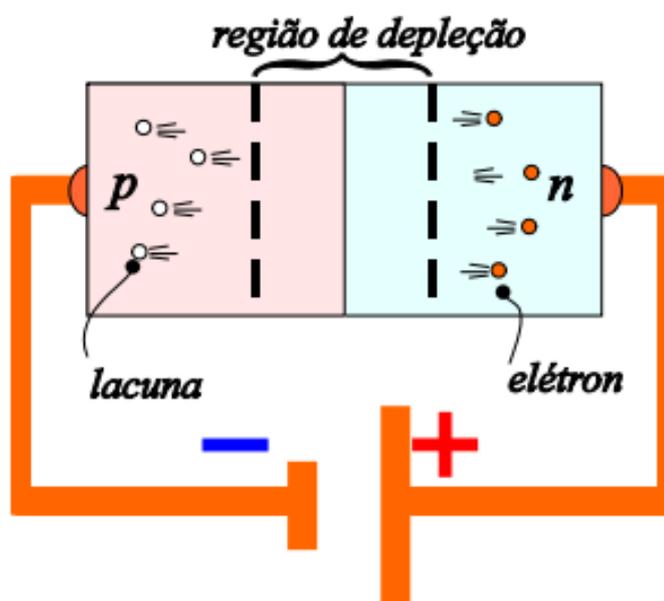
Figura 5 - Polarização Direta de um Diodo.



Fonte - OLIVEIRA (2013).

A polarização inversa do diodo é dada pela ligação do polo positivo da fonte ao polo negativo do diodo (junção N). A inversão das polaridades, causa uma atração do material tipo P e conseqüentemente aumentando a zona de depleção, fazendo com que o diodo entre em corte (SEDRA, 2007), demonstrado na Figura 6.

Figura 6 - Polarização Reversa do Diodo.



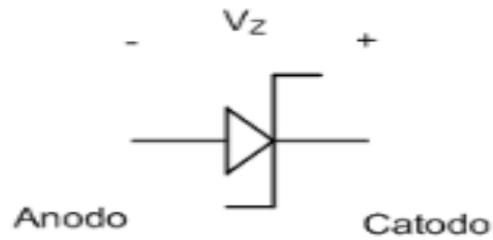
Fonte - OLIVEIRA (2013).

2.1.2 Diodo Zener

Um outro tipo de diodo muito utilizado na eletrônica é o diodo de ruptura ou diodo Zener, que são diodos que operam em sua região de ruptura. Diodos de ruptura, apresentam tensão de operação, resistência dinâmica e potência pré-definidas pelo seu fabricante, as quais apresentam características quase lineares, sendo bastante utilizados em reguladores de tensão (SEDRA, 2007).

O funcionamento de um diodo Zener é baseado em sua polarização inversa, isto é, mesmo com o bloqueio da tensão, existe uma corrente de fuga circulando pelo diodo, gerando um campo elétrico. A proporção que a tensão cresce, o campo magnético também cresce, podendo acelerar os elétrons livres, provocando o rompimento das ligações covalentes, fazendo com que os portadores de cargas provoquem mais e mais elétrons, tornando um efeito “avalanche” que é chamado de ruptura Zener, o ponto onde se inicia a operação do Diodo (MELLO, 1980). A simbologia do Diodo Zener é mostrada na Figura 7 e o diodo Zener utilizado no projeto é mostrado na Figura 8.

Figura 7 - Representação de um diodo Zener.



Fonte - BOYLESTAD(2012).

Figura 8 - Diodo Zener 1N4742.



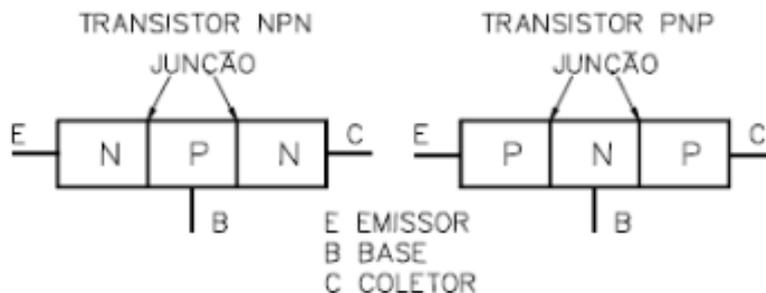
Fonte - Autoria própria.

2.1.3 Transistores

Transistor bipolar de junção (TBJ) é um semicondutor formado por três camadas extrínsecas, criado pela *Bell Labs*, nos Estados Unidos da América, em meados dos anos 50 (OLIVEIRA, 2013). Sua formação é constituída de três camadas que podem ser dispostas de duas maneiras: tipo NPN e tipo PNP.

O transistor NPN é formado por duas camadas do tipo N e uma camada do tipo P, já o transistor PNP, é formado por duas camadas do tipo P e uma camada do tipo N, como mostrado na Figura 9. O TBJ é constituído por 3 terminais, sendo eles: emissor, coletor e a base.

Figura 9 - Transistores NPN e PNP.



Fonte - BOYLESTAD (2012).

A camada intermediária do transistor é chamada de Base e sua função é controlar o fluxo de elétrons que circula no componente. As camadas externas recebem o nome de Coletor e Emissor, ambas possuem o mesmo tipo de semiconductor dopado tipo N ou tipo P, porém, a dopagem do terminal emissor possui maior nível comparado à dopagem do terminal coletor (MELLO, 1980). A polarização da base do transistor é necessária para o deslocamento de corrente pelo dispositivo, caso não haja, a corrente será nula.

Os transistores tem uma ampla aplicação na eletrônica, podendo ser utilizado em diversos tipos de circuitos, sendo para chaveamento ou para ganho. O transistor utilizado para ganho é o do tipo *Darlington*, que é um MOSFET formado por dois transistores bipolares de junção, que apresenta um ganho devido ao produto dos ganhos de cada TBJ interligado internamente.

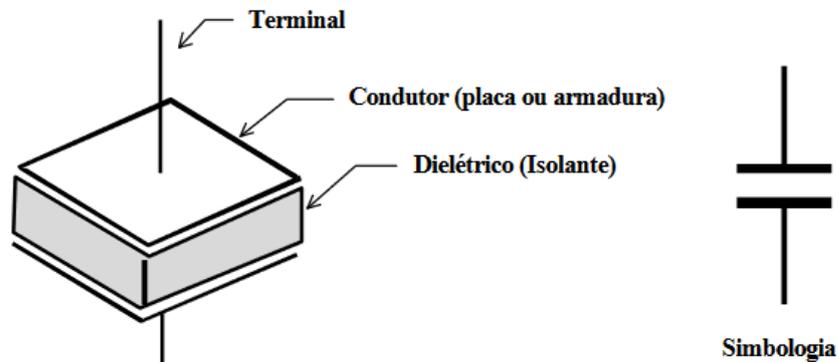
2.1.4 Capacitores

Capacitor ou condensador é um componente eletrônico que serve para armazenar energia elétrica como campo elétrico em seu interior. Existem diferentes tipos de capacitores no mercado, como o eletrolítico, cerâmico e o de poliéster. O capacitor de placas paralelas é constituído por duas placas condutoras paralelas com a presença de um material dielétrico entre elas, as placas normalmente são feitas de alumínio ou cobre, já o dielétrico é um material mau condutor, como o plástico ou cerâmico (MUSSOI e VILHAÇA, 2000).

O capacitor eletrolítico, o qual é utilizado no projeto, possui uma característica de polarização, o qual é constituído por um ânodo e um cátodo. Os capacitores são bastante utilizados como filtros em circuitos, devido sua capacidade de armazenar energia elétrica em forma de campo elétrico, sua oposição às variações de tensão em seus terminais, capacidade de permitir sinais de alta frequência e bloquear sinais de baixa frequência. A simbologia do

capacitor é demonstrada na Figura 10 e o capacitor utilizado no protótipo pode ser verificado na Figura 11.

Figura 10 - Representação de um capacitor de planas paralelas.



Fonte - MUSSOI e VILHAÇA (2000).

Figura 11 - Capacitor Eletrolítico de 100uF.



Fonte - Autoria própria.

2.2 Regulador de Tensão

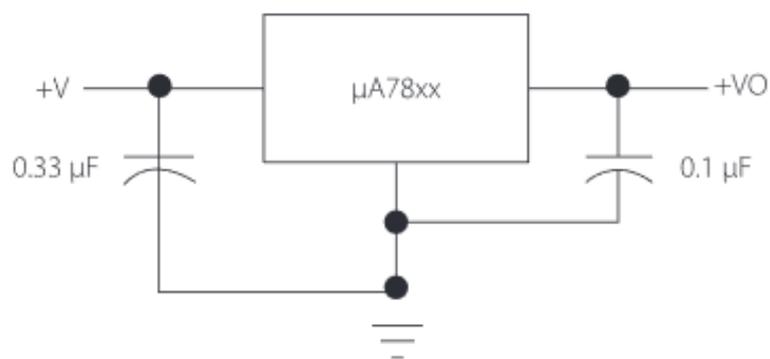
Reguladores de tensão são dispositivos eletrônicos com a capacidade de receber uma tensão variável na sua entrada e entregar uma tensão constante estabilizada em sua saída (WENDLING, 2009). Esses circuitos integrados (CIs) são construídos com três terminais, sendo um terminal de entrada, um de saída e um terminal de referência.

Existem uma gama de reguladores no mercado, podendo ser classificados com tensão de saída fixa ou ajustável. Os CIs de tensão de saída fixa, são representados pelos reguladores de tensão positiva da série 78XX e os reguladores de tensão negativa da série 79XX. Já os CIs

de tensão de saída ajustável são classificados na série LM3XX e possuem um ajuste de tensão de acordo com a resistência aplicada em seu terminal referencial ou terra (DOMINGUES, 2017).

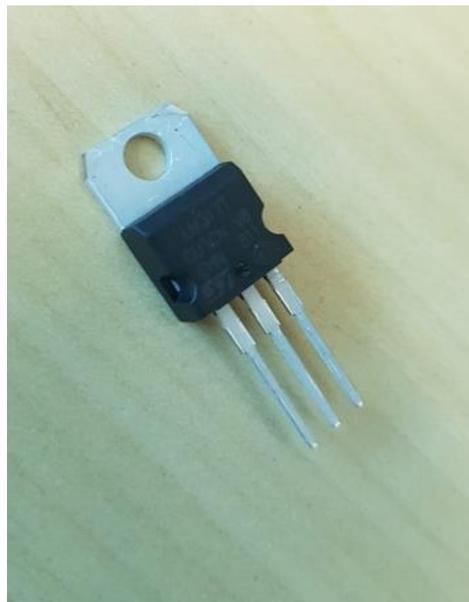
A utilização do regulador de tensão vem associada à capacitores em sua entrada e saída que tem como função a oposição na tensão de entrada e saída, filtrando a tensão para diminuição de ruídos. Como mostrado na Figura 12 um esquemático de ligação de um regulador de tensão 78XX e o CI utilizado no controlador de carga é um LM317, ilustrado na Figura 13.

Figura 12 - Esquemático de ligação de um CI da série 78XX.



Fonte - DOMINGUES (2017).

Figura 13 - Regulador de Tensão variável LM317.



Fonte - Autoria própria.

2.3 Resistores

Resistência é a oposição do fluxo de corrente que circula em um circuito elétrico, tendo sua unidade de medida *Ohms* [Ω]. Resistores são os elementos mais básicos de um circuito elétrico que tem como função controlar a intensidade de corrente ou dividir tensão e dissipar energia em forma de calor (efeito Joule) (DIAS, 2015). A resistência de um resistor pode ser fixa, variável ou ajustável, mostrado na Figura 14, dependendo da finalidade ao qual é utilizado.

Figura 14 - Exemplo de resistor variável ou Trimpot.



Fonte - Autoria Própria.

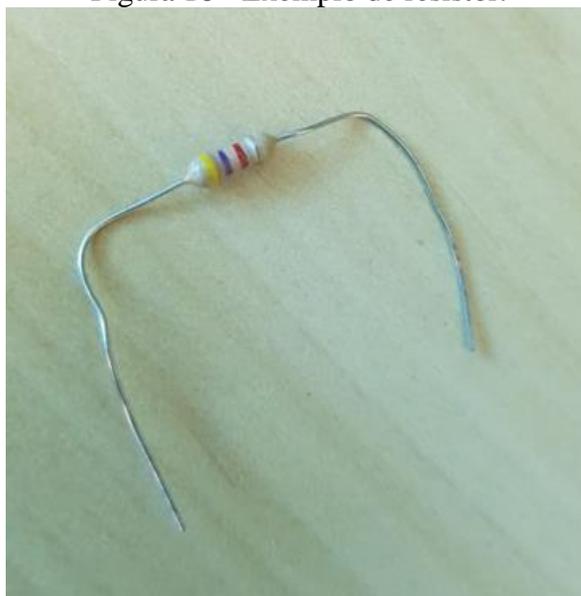
Resistores podem ser classificados como resistores de película de carvão, resistores bobinados e resistores de fita metálica. Cada material possui uma resistividade característica única a qual está relacionada diretamente ao comprimento e área do condutor, isso é, quanto maior o comprimento, maior a resistência e quanto maior a área, menor a resistência (BOYSLESTAD, 2012). A simbologia do resistor é mostrada na Figura 15 e um dos resistores utilizados no trabalho é verificado na Figura 16.

Figura 15 - Simbologia de Resistor.



Fonte - MALVINO(1987).

Figura 16 - Exemplo de resistor.



Fonte - Autoria própria.

2.4 Baterias

Baterias são dispositivos eletrônicos capazes de armazenar energia elétrica, existindo muitos tipos no mercado, sendo os mais comuns de níquel, cádmio e de chumbo ácido (SOUZA, 2015). Como citado anteriormente, as baterias possuem papel de extrema importância em sistemas autônomos de geração de energia solar, devido ao fato de ser ela a responsável pelo armazenamento da energia elétrica gerada pelos módulos solares. Em instalações elétricas em locais remotos, o uso de baterias deve-se a baixa necessidade de manutenção (VILLALVA, 2012).

O estado de flutuação do nível de tensão de uma bateria é o fator de carregamento à carga nula, tendo uma tensão estável. Uma bateria estacionária solar cede uma tensão de 2 Volts/Elemento, bastante comum em baterias seladas de 12V (tensão nominal). A fase de carregamento de uma bateria para mantê-la com uma tensão a longo prazo, sem ceder corrente para carga, é chamada de flutuação, isso é, a tensão da bateria 100% carregada. Portanto, em flutuação, os elementos recebem 2,23 Volts cada (em baterias seladas), sendo assim em uma bateria de 6 elementos, a tensão deve ser mantida entre 13,2V ~ 13,38V (WEINERT, 2017). Um exemplo de bateria selada é a utilizada no experimento, representado na Figura 17.

Figura 17 - Bateria selada 12V e 5Ah.



Fonte - Autoria própria.

A bateria selada possui o eletrólito absorvido no separador ou sob forma de gel. Conhecidas como “baterias livres de manutenção”, por não ser necessário a adição de água (PINHO e GALDINO, 2014). Os fatores que podem afetar a vida útil de uma bateria recarregável são: descarregamento total, descarga muito grande a cada ciclo, muitos ciclos de carregamento, temperatura e a falta de manutenção. O ciclo de uma bateria recarregável é o período de descarga e carga completa.

2.5 Proteus

Em 1988, a empresa LabCenter lançou o Proteus, um *software* voltado para usuários da área de eletrônica e circuitos elétricos. Sua plataforma foi desenvolvida para projetos elétricos através de esquemáticos, simulações e *layouts* (LABSIS, 2010).

O *software* é dividido em quatro ferramentas de desenvolvimento, sendo elas a ISIS (Sistema de entrada de esquemático inteligente), VSM (Modulação de sistema virtual), PRO-SPICE (simulações matemáticas) e o ARES (Roteamento avançado e edição de *Software*). A ferramenta utilizada para a criação do projeto foi a ISIS, para a montagem e simulação dos circuitos elétricos.

2.6 Arduino Uno

Em 2005, um grupo de pesquisadores criaram o Arduino, *software* e *hardware* desenvolvidos para programação e controle. O *hardware* é composto por um

microcontrolador Atmel com entradas e saídas, interligada à uma plataforma IDE (Ambiente de desenvolvimento integrado).

A linguagem de programação utilizada no Arduino é baseada em C/C++, com *software* livre, sendo possível a montagem, modificação e melhoria por qualquer um que tenha interesse (JUSTEN, 2012). O modelo de Arduino utilizado nessa monografia foi o Modelo UNO, apresentado na Figura 18.

Figura 18 - Arduino UNO.

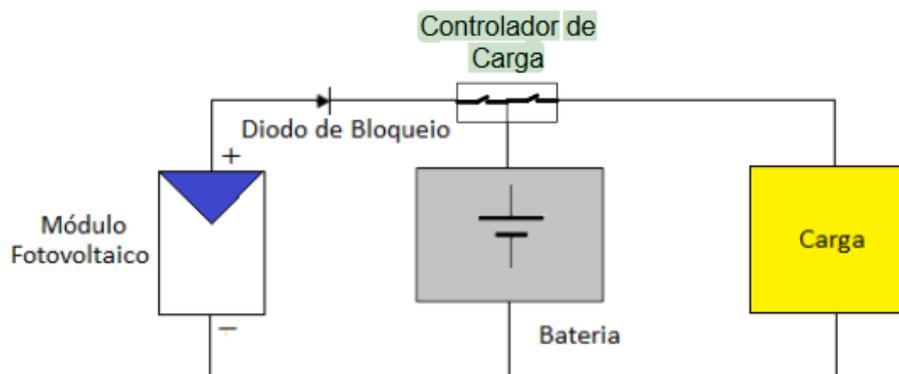


Fonte - Autoria própria.

2.7 Controlador de Carga

O controlador de carga é um dispositivo importante em sistemas de geração fotovoltaico desconectado à rede, suas funções são: carregamento completo da bateria, proteger contra sobrecargas na bateria, bloquear a corrente reversa entre bateria e módulo solar, prevenir descarregamento profundo (FARIAS *et al.*, 2016).

Figura 19 - Diagrama de um Sistema *Off-grid*.



Fonte - MANUAL DE ENGENHARIA FOTOVOLTAICA (2014).

Segundo Pinho e Galdino (2014), o controlador de carga é diferenciado pelo seu tipo de controle e chaveamento do painel solar. A Figura 19 mostra um diagrama de um sistema fotovoltaico desconectado à rede, a qual apresenta o posicionamento dos elementos do sistema.

Um detalhe importante no esquemático mostrado na Figura 26, é a presença do diodo de bloqueio. Esse diodo de bloqueio tem a função de evitar que tenha uma corrente reversa e danifique os painéis solares, logo, ele mantém a corrente sempre no sentido “positivo” e ao mesmo tempo protege os módulos.

Como já dito, a classificação do controlador de carga é dividida em três classes, sendo elas *On/Off*, PWM e MPPT. O controlador *On/Off* ou Ligado/ Desligado, consiste em um controlador com tensão e corrente constantes, quando a tensão chega nos valores pré-determinados (*setpoints*), as chaves atuam, interrompendo o fluxo de corrente (NETO *et al.*, 2010).

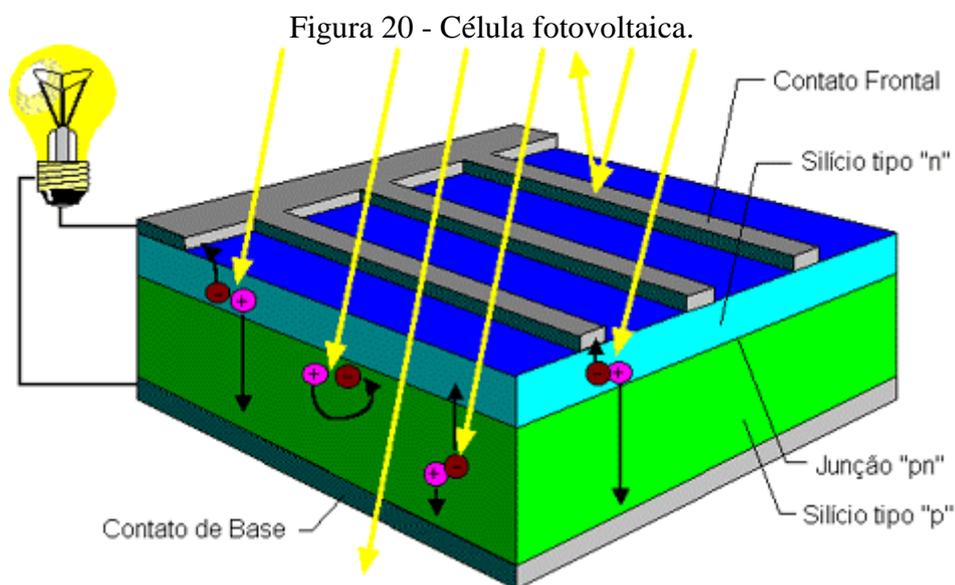
Segundo o Manual de Engenharia Fotovoltaica (PINHO e GALDINO, 2014), o tipo de carregamento PWM, uma abreviação do termo inglês *Pulse Width Modulation* (modulação por largura de pulso), opera em três estagios: grossa, absorção e flutuação. A primeira fase “grossa” é o início do carregamento, quando a bateria está descarregada e o controlador fornece máxima corrente. A segunda fase é a de absorção, a qual a tensão permanece constante até a carga completa. A última fase é a de flutuação, nessa etapa a tensão de flutuação permanece constante, porém a corrente é controlada por PWM.

O controlador MPPT é o mais sofisticado do mercado, por ter um controle preciso de corrente e tensão para manter a potência máxima do módulo. MPPT é uma abreviação da

expressão “ponto rastreador de máxima potência”. O controlador de carga contriudo nesse projeto é o do tipo *On/Off*.

2.8 Energia Fotovoltaica

A célula fotovoltaica é o material semicondutor o qual ocorre a incidência dos raios solares. Sua composição baseia-se em duas camadas de materiais semicondutores dos tipos P e N, com grades de coletores metálicos (VILLALVA *et al.*, 2012, p.50), representada na Figura 20. Como as células são incapazes de armazenar corrente, elas apenas geram e permitem a passagem do fluxo de corrente e denomina-se módulos fotovoltaicos, o conjunto de células fotovoltaicas geralmente de silício, também conhecidos como painéis solares, podem sem encontrados no mercado como silício monocristalino, silício policristalino, silício amorfo e etc.



Fonte - CRESESB (2014).

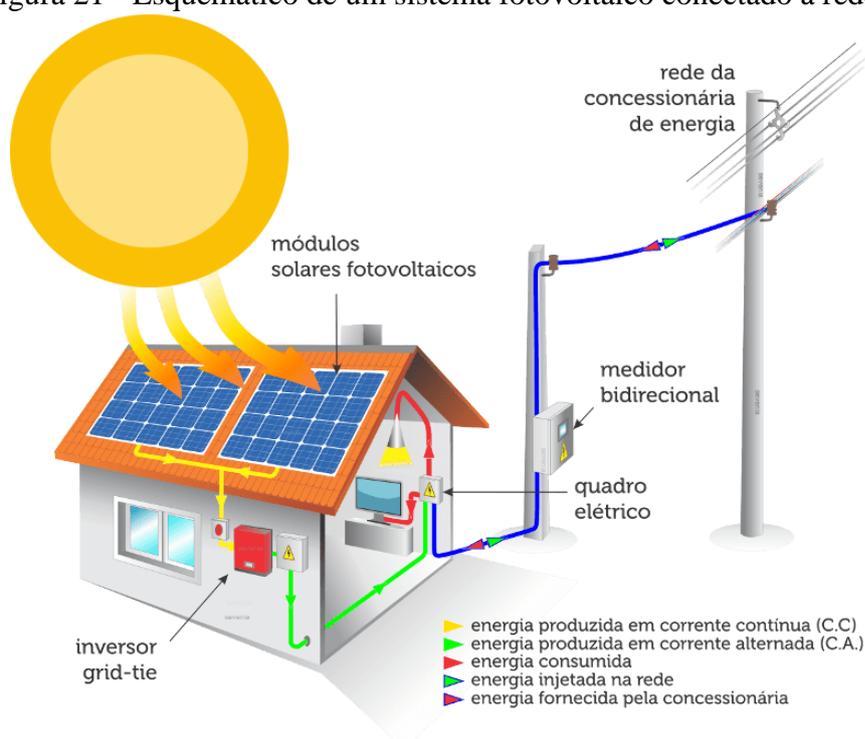
Os sistemas fotovoltaicos são baseados em painéis ou módulos compostos de células fotovoltaicas, dispositivos que captam a energia da luz solar e produzem corrente elétrica. Essa corrente produzida pelos módulos fotovoltaicos é coletada e processada por inversores eletrônicos, podendo ser utilizada para reduzir a conta de eletricidade ou até mesmo tornar o consumidor totalmente independente em energia elétrica. (VILLALVA *et al.*, 2012).

Esse conceito de energia limpa e renovável é o que tornou a energia solar uma potência para o futuro. O sistema fotovoltaico está dividido em modos de aplicação, são eles: sistemas fotovoltaicos conectados à rede, sistemas fotovoltaicos desconectados à rede e existe também um sistema híbrido que é a utilização de um sistema fotovoltaico com uma ou mais fontes de energia auxiliares (ROSA, 2017).

2.9 Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

O sistema fotovoltaico conectado à rede, também conhecido pelo termo *on-grid*, baseia-se em um sistema solar interligado à rede pública. Basicamente, o painel solar gera a energia elétrica em corrente contínua enviada ao inversor, que por sua vez transforma a corrente contínua em corrente alternada. Após o inversor fazer a conversão, a corrente é injetada na rede elétrica (PEREIRA & OLIVEIRA, 2013). A figura 21, esquematiza esse funcionamento.

Figura 21 - Esquemático de um sistema fotovoltaico conectado à rede.



Fonte - Universo Automação (2015).

A utilização do medidor bidirecional é necessária para a medição do quanto de energia elétrica é consumida e o quanto é injetado na rede. É importante ressaltar que, o sistema *on-grid* trabalha em paralelo à rede da concessionária, atuando nos períodos de irradiação solar, enviando energia elétrica para a rede (SOUZA, 2017).

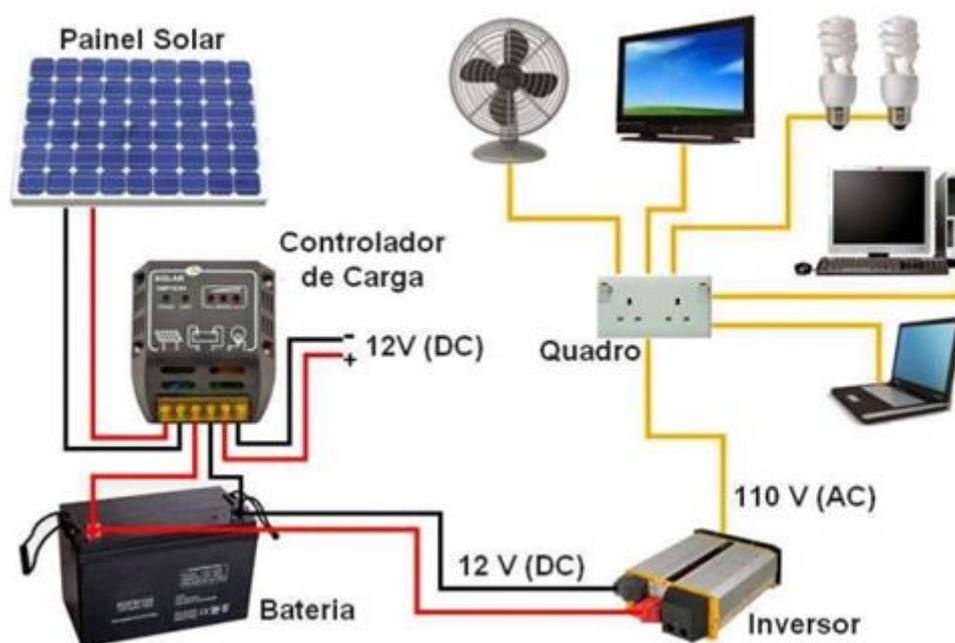
2.10 Sistema Fotovoltaico Desconectado à Rede

O sistema solar fotovoltaico desconectado à rede, comumente conhecido por sistema *off-grid*, assim como o *on-grid*, é um sistema gerador de energia solar por módulos solares (SUNENERGIA, 2018). Contudo, nessa modalidade a energia produzida não é injetada na rede e sim, armazenada em bancos de baterias cuja função é suprir os períodos em que não houver produção de energia. Os sistemas isolados de geração de energia solar fotovoltaica são

constituídos por: painéis solares, controladores de carga, inversores e baterias. A figura 22, denota a operação descrita.

O controlador de carga é um dispositivo elétrico que controla a carga e descarga da bateria, protegendo-a de cargas e descargas intensas. O banco de baterias pode ou não fazer parte do sistema, isso dependerá exclusivamente da finalidade a qual o projeto foi destinado, por exemplo sistema de bombeamento de água (VILLALVA *et al.*, 2012).

Figura 22 - Esquemático de um sistema fotovoltaico desconectado à rede.

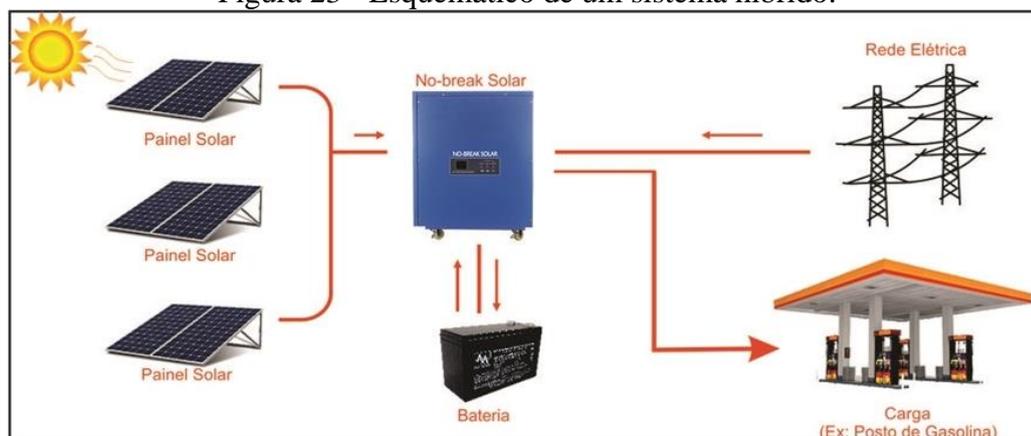


Fonte - ENERGIA SOLAR ALFA (2017).

2.11 Sistemas Fotovoltaicos Híbridos

Já os sistemas híbridos são a junção de uma fonte fotovoltaica combinada a uma ou mais fontes de energias. A utilização desse recurso se deve a confiabilidade na entrega de energia elétrica, estabilidade e variação na disponibilidade de recursos energéticos. Porém, mesmo com a utilização de outra fonte, o sistema irá necessitar de alguma forma de armazenamento/ armazenagem como baterias, por exemplo (CRESESB, 2014).

Figura 23 - Esquemático de um sistema híbrido.



Fonte - CSR ENERGIA SOLAR (2017).

O sistema híbrido é composto por um sistema off grid e o rede pública de energia, como mostrado na figura 23, trabalhando juntos para melhor atender a entrega de energia elétrica. Esse sistema integrado é a união da rede da concessionária com um banco de baterias, controlados por um inversor híbrido que tem essa função de controlar, gerir e evitar danos ao sistema (ROSA, 2017).

3 Falta De Energia Em Semáforos

De acordo com o Mobilize (2016), com o crescimento da renda da população, o acesso a bens de consumo duráveis como carros e motos ficou mais acessível, diante disso, o fluxo de veículos cresce de forma exponencial, gerando uma conturbação no tráfego urbano. Nesse sentido, os semáforos atuam como peça fundamental no controle no fluxo de veículos e a sua ausência pode gerar prejuízo a sociedade.

Os semáforos atualmente são ligados diretamente a rede pública e isso os tornam vulneráveis a falha no sistema elétrica (SOARES, 2012). Quando ocorre um apagão ou surto na rede local ou geral, o sistema de semáforos desliga acarretando transtornos à população, representado na Figura 24.

Figura 24 - Semáforo apagado na Avenida Teotônio Segurado, Palmas/TO.



Fonte - Autoria própria.

3.1 Semáforo e Radar Solar Sustentável

Existem hoje no mercado, semáforos e radares solares para locais distantes redes de baixa tensão, um exemplo claro dessa implementação de sistema solar em sinaleiros, é a cidade de Garanhuns – PE, a qual instalou seu primeiro semáforo solar em 2016, de acordo com o Portal Solar (2017). O semáforo de Garanhuns é alimentado por um sistema off grid, com banco de baterias e controlador de carga, trabalhando de forma autônoma e autossuficiente, como mostrado na figura 25.

Figura 25 - Semáforo Solar de Garanhuns PE.



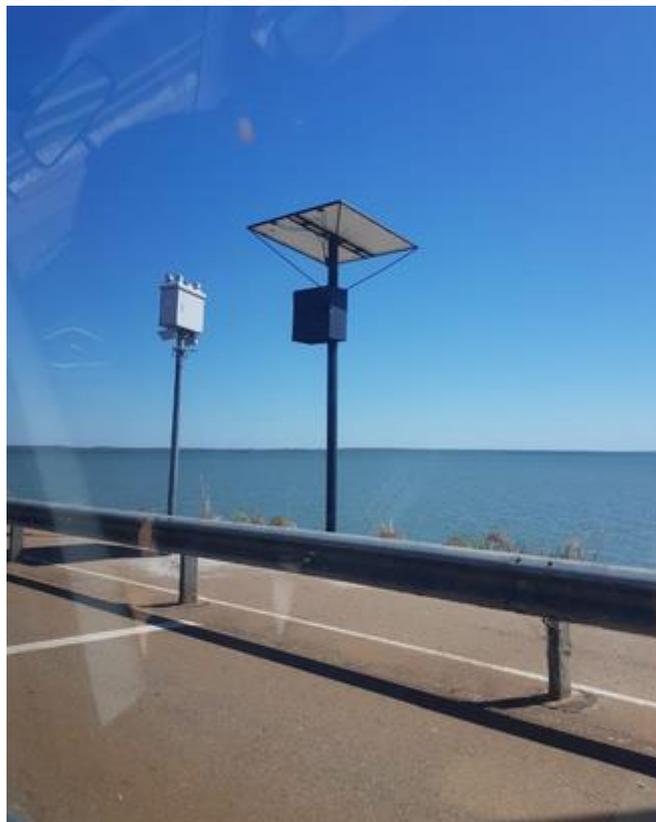
Fonte - PORTAL SOLAR (2017).

O semáforo sustentável Proposto, utiliza um sistema híbrido sendo ora conectado à rede e ora desconectado, garantindo sua alimentação, confiabilidade e funcionamento. A composição será feita por regulador de tensão, banco de baterias, controlador de carga, interface de potência e um microcontrolador.

A funcionalidade do sinal solar desse projeto, deve-se ao fato do sistema conjunto, em que, quando houver a falta de energia fornecida pela rede pública, o microcontrolador entenderá e acionará a bateria, garantindo que o semáforo se mantenha em operação (RIZZO *et al.*, 2015).

Pode-se ainda, utilizar a energia solar *off grid* em radares, como mostrado na Figura 26 um radar abastecido por um sistema desconectado à rede na cidade de Palmas, no estado do Tocantins, localizado na Ponte Fernando Henrique Cardoso, saída oeste da cidade.

Figura 26 - Radar Solar instalado na cidade de Palmas-TO.



Fonte - Autoria própria.

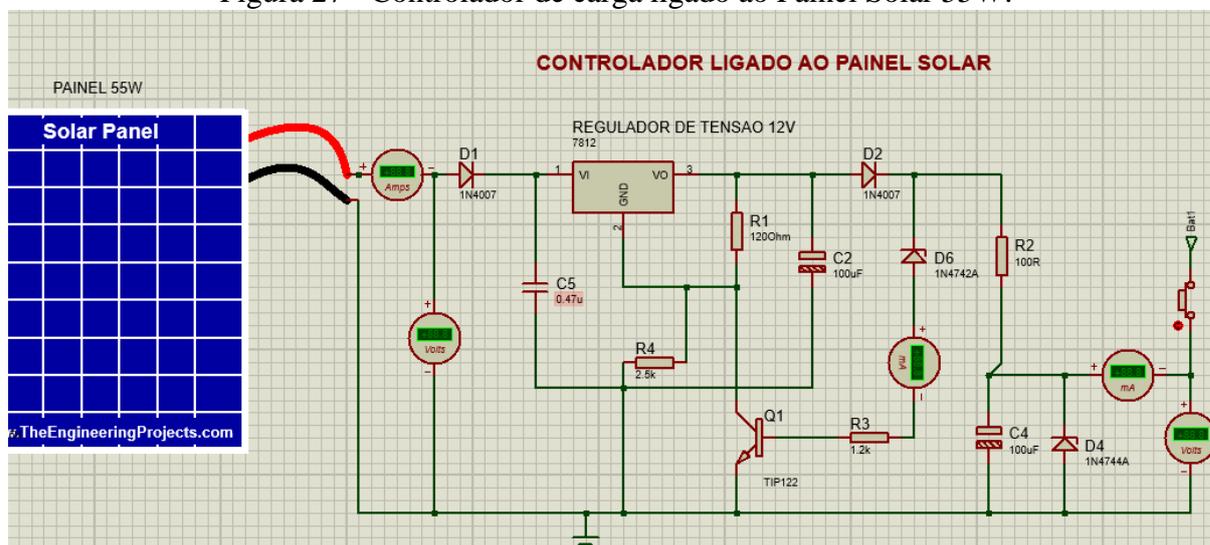
4 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

4.1 Simulação do Controlador de Carga

Este capítulo apresenta algumas informações pertinentes sobre o processo de simulação e montagem do sistema do semáforo.

Após a escolha do diagrama do controlador de carga, realiza-se a montagem do circuito elétrico na plataforma Proteus, para obtenção dos parâmetros de entrada e saída do sistema. O diagrama elétrico escolhido do controlador de carga é representado na Figura 27.

Figura 27 - Controlador de carga ligado ao Painel Solar 55W.



Fonte - Autoria própria.

O painel solar utilizado como referência foi o Yge 55Wp, da fabricante Yingli Solar, o qual tem sua tensão máxima é 17,83V. A utilização desse modelo de painel solar com essa potência deu-se pelo fato de que o sistema com essa potência tem o que é necessário para suprir o sistema sem necessidade de uma maior potência. O controlador de carga escolhido para esse projeto é do tipo *On/Off*. Os resultados obtidos no controlador de carga simulado esta desmonstrado na tabela 1.

Tabela 1 - Dados do controlador de carga simulado (Sem bateria).

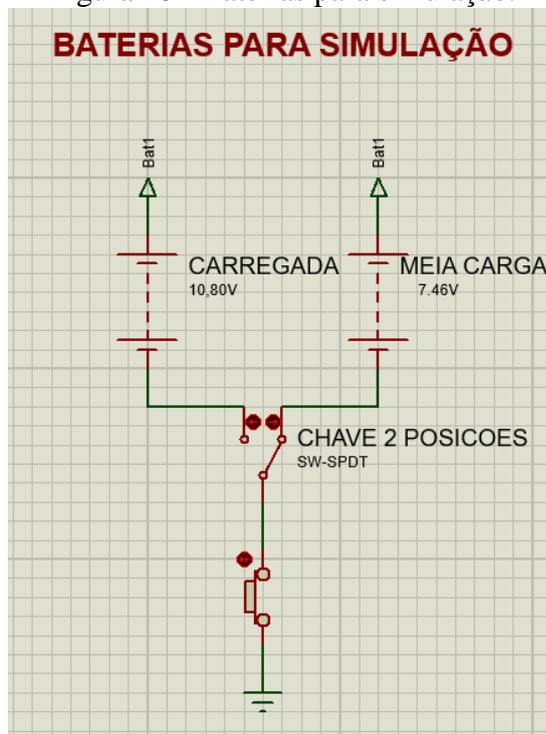
	1° simulação		2° simulação		3° simulação	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
Tensão [V]	15	12,5	16	12,5	17	12,5
Corrente [mA]	0,07	-	0,10	-	0,10	-

Fonte - Autoria própria.

Para a simulação de carregamento de bateria, utiliza-se duas baterias de multi células, sendo a primeira para simular carga máxima (em estado de flutuação) e a segunda com metade da carga. Uma chave de duas posições é a responsável pela comutação desses equipamentos, como mostrado na figura 28 e, os resultados obtidos a partir da simulação com carga são apresentados pela tabela 2. Os valores de 10,8 V e 7,48 V para a simulação, deve-se ao fato de que no teste em laboratório utiliza-se duas baterias seladas com tensões diferentes,

para entender o comportamento da corrente em ambos os casos, tanto em quase carga completa e metade da carga.

Figura 28 - Baterias para simulação.



Fonte - Autoria própria.

Tabela 2 - Dados do controlador de carga simulado (com bateria 10,8V).

	1° simulação		2° simulação		3° simulação	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
Tensão[V]	15	10,8	16	10,8	17	10,8
Corrente[mA]	0,02	14,7	0,12	17,0	0,12	17,0

Fonte - Autoria própria.

Tabela 3 - Dados do controlador de carga simulado (com bateria 7,48V).

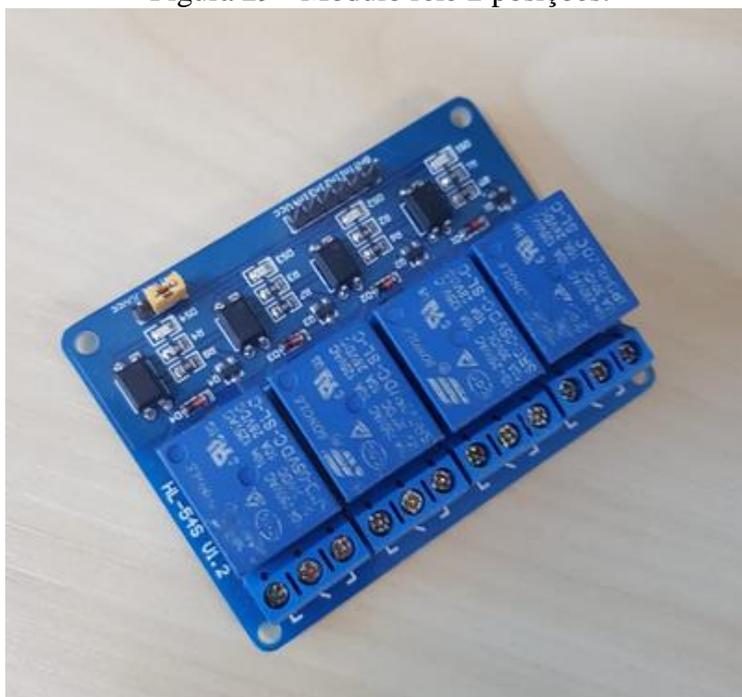
	1° simulação		2° simulação		3° simulação	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
Tensão[V]	15	7,47	16	7,48	17	7,48
Corrente[mA]	0,05	46,5	0,15	50,3	0,15	50,3

Fonte - Autoria própria.

4.2 Simulação do Sistema *No-Break* do Semáforo

Uma das proposta desse trabalho de conclusão de curso é a de fazer um sistema híbrido para suprir o semáforo, evitando ao máximo a interrupção do seu funcionamento. O diagrama de funcionamento deste semáforo tem como principal dispositivo de chaveamento para a troca dos sistemas, o relé de duas posições. Esta ferramenta, apresentada na figura 29, consiste em um relé com um ponto comum e duas saídas, sendo uma normalmente aberta (NA) e uma normalmente fechada (NF), e trocam de estado (NA vira NF e vice-versa) quando sua bobina é energizada.

Figura 29 - Módulo relé 2 posições.



Fonte - Autoria própria.

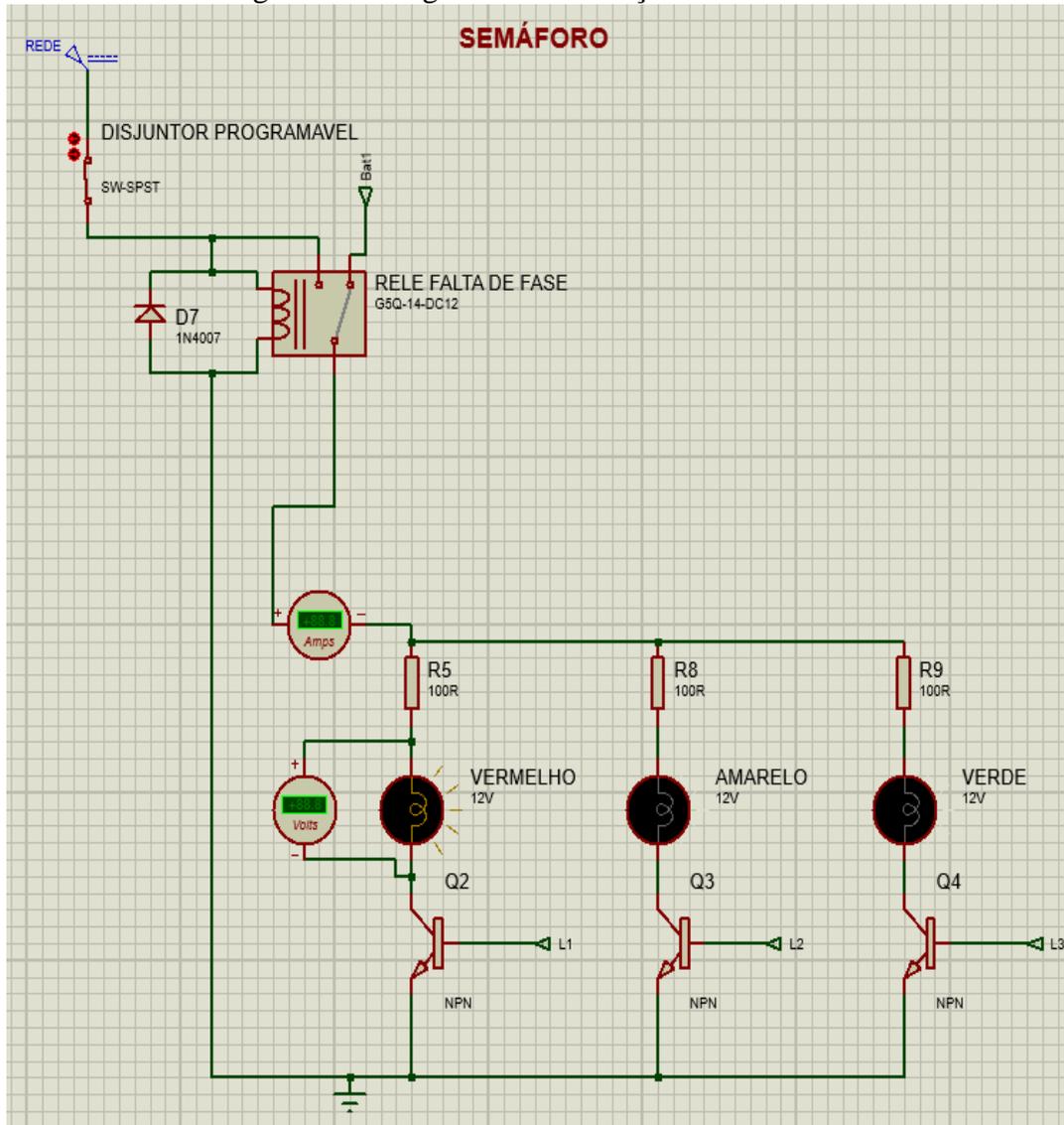
A Figura 30, aponta o esquemático simulado no Proteus, onde “Rede” é a tensão 12V provinda do fonte retificadora, “Bat1” é o pino de saída da bateria, “NPN” é o transistor de chaveamento ligado ao Arduino e “D7” é o diodo de proteção contra corrente reversa. O arranjo contém 3 lâmpadas de LED 12 V as quais representam as luzes vermelho, amarelo e verde do semáforo.

A principal fonte de alimentação deste sistema é a rede elétrica da concessionária e um sistema fotovoltaico utilizando baterias que devem ser acionadas em caso de surto. O relé falta de fase é um relé de duas posições que quando não energizado, tem a bateria conectado no pino NF e a rede da empresa de energia elétrica no pino NA. Ao ser energizada juntamente com a “REDE”, o relé comuta permitindo a passagem de corrente no lado normalmente aberto. Quando ocorre uma falta de energia, apagão ou surto, a bobina do relé será

desmagnetizada e retornará ao seu estado natural, fazendo com que o sistema seja abastecido pela bateria, até a eletricidade da rede seja reestabelecida.

Os pontos L1, L2 e L3 são as portas digitais do Arduino que fazem o chaveamento dos transistores NPN, acionando as lâmpadas no tempo certo, simulando o funcionamento do semáforo comum. O transistor NPN é utilizado porque o sinal digital positivo é enviado para o seu pino base.

Figura 30 - Diagrama de simulação do semáforo.



Fonte - Autoria própria.

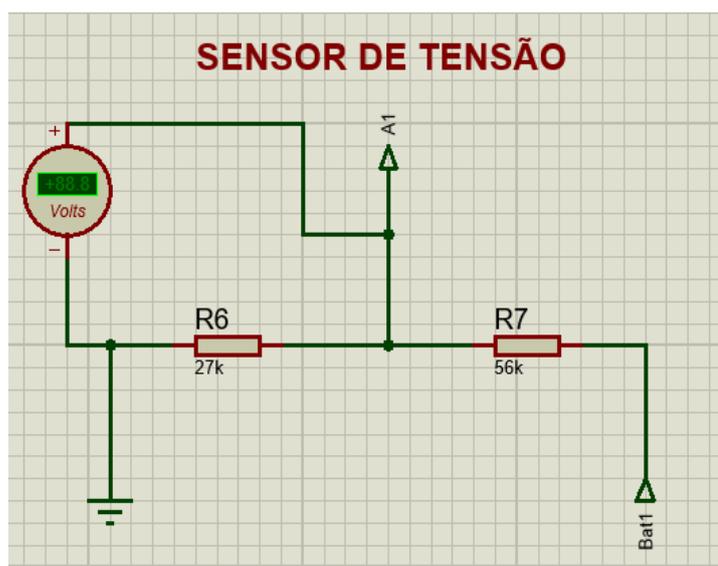
Tabela 4 - Resultados de tensão e corrente nas lâmpadas.

Fonte de alimentação	Tensão nas lâmpadas	Corrente nas lâmpadas
Rede pública [12 V]	2,32 V	0,06 A
Bateria em flutuação [13,2 V]	2,5 V	0,10 A
Bateria com metade da carga [7,5 V]	1,45 V	0,06 A

Fonte - Autoria própria.

O controle de carregamento da bateria na simulação é feito através de um sensor de tensão, ilustrado na Figura 31, que trata-se de um divisor de tensão. O divisor de tensão é um recurso utilizado para a redução da tensão em determinado ponto do circuito, para que a tensão se adeque às limitações do Arduino UNO, o qual, suporta uma tensão de até 5V nas suas portas analógicas.

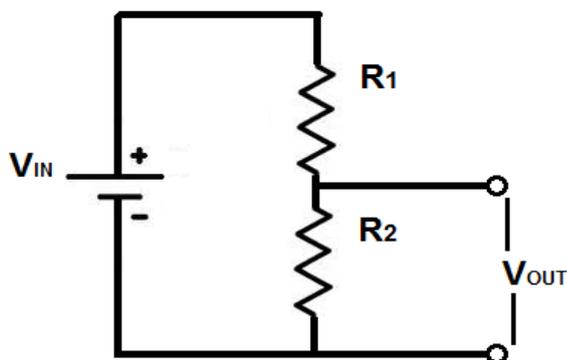
Figura 31 - Sensor de tensão / divisor de tensão.



Fonte - Autoria própria.

Os valores dos resistores R6 e R7 foram obtidos a partir do cálculo de divisão de tensão, mostrado na Figura 32. Respeitando o valor de tensão máximo suportado pelo módulo Arduino e valores de resistências comerciais, encontrou-se os valores para resistência e tensão máximo, representados na Tabela 5. O A1 mostrado na Figura 31, representa o pino analógico do Arduino UNO.

Figura 32 - Divisor de tensão.



$$V_{OUT} = V_{IN} \frac{R_2}{(R_1 + R_2)}$$

Fonte - SEDRA(2007).

Utiliza-se a formula de divisão de tensão, onde:

Vout é a tensão de saída para o Arduino,

Vin é a tensão da bateria e

R1, R2 = R6 e R7 são as resistências dos resistores comerciais.

A tensão máxima de bateria em flutuação é 13,2 V e utilizando valores comerciais de resistência $R1 = R7 = 56 \text{ k}\Omega$ e $R2 = R6 = 27 \text{ k}\Omega$. Portanto, o valor máximo de tensão que é entregue ao Módulo controlador é de 4,29 V. O valor recebido em A1 é menor que 5V e tem uma boa margem de segurança para proteção do componente.

O módulo Arduino tem sua porta analógica que trabalha numa faixa de 0 a 5V, como o ATmega328 possui 10 bits, logo $2^{10} = 1024$ divisões. Essas divisões de 0 a 1023 representam a variação de 0 a 5 V, logo, 5 V é lido como 1023 no Arduino. Como encontrado um valor de 4,29 V máximo para a divisão de tensão, então, o valor lido pelo controlador se encaixa perfeitamente no seu intervalo de leitura.

O controle de chaveamento dos transistores, replicando um semáforo real, foi feito pelo Arduino IDE, baseado na linguagem de programação C++. Nota-se que os sinais enviados para os relés são invertidos, devido a utilização da porta NF do relé de 5 pinos. O quadro 1 representa o algoritmo carregado pelo *Software* Arduino IDE no Arduino Uno para o controle de chaveamento das lâmpadas de LED e leitura de tensão da bateria.

Quadro 1 - Programação do acionamento do semáforo.

```
// Semáforo Solar Sustentável de Hellisson de Castro
```

```
int LedVerm = 2;
```

```
int LedAma = 4;
```

```
int LedVerd = 6;
```

```
int sensorTensao = A1;
```

```
int Batkey = 7;
```

```
int tensaoA = 0;
```

```
float tensaoDC = 0;
```

```
void setup() {
```

```
pinMode(Batkey, OUTPUT);
```

```
pinMode(sensorTensao, INPUT);
```

```
pinMode(LedVerm, OUTPUT);
```

```
pinMode(LedAma, OUTPUT);
```

```
pinMode(LedVerd, OUTPUT);
```

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

```
digitalWrite(Batkey, HIGH);
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
tensaoA = analogRead(sensorTensao);
```

```
tensaoDC = ((tensaoA*(5/1023)));
```

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

```
delay(500);
```

```
digitalWrite(LedVerm, LOW); //Led vermelho acesso
```

```
digitalWrite(LedAma, HIGH);
```

```
digitalWrite(LedVerd, HIGH);
```

```
delay(10000);
```

```
if (tensaoDC >= 4.8){
```

```
    digitalWrite(Batkey, LOW);
```

```
}else {
```

```
    digitalWrite(Batkey, HIGH);
  }
  digitalWrite(LedVerm, HIGH); //Led verde acesso
  digitalWrite(LedAma, HIGH);
  digitalWrite(LedVerd, LOW);
  delay(10000);
  if (tensaoDC >= 4.8){
    digitalWrite(Batkey, LOW);
  }else {
    digitalWrite(Batkey, HIGH);
  }
  digitalWrite(LedVerm, HIGH); //Led amarelo acesso
  digitalWrite(LedAma, LOW);
  digitalWrite(LedVerd, HIGH);
  delay(5000);
  if (tensaoDC >= 4.8){
    digitalWrite(Batkey, LOW);
  }else {
    digitalWrite(Batkey, HIGH);
  }
}
```

Fonte - Autoria própria.

4.3 Montagem do Controlador de Carga

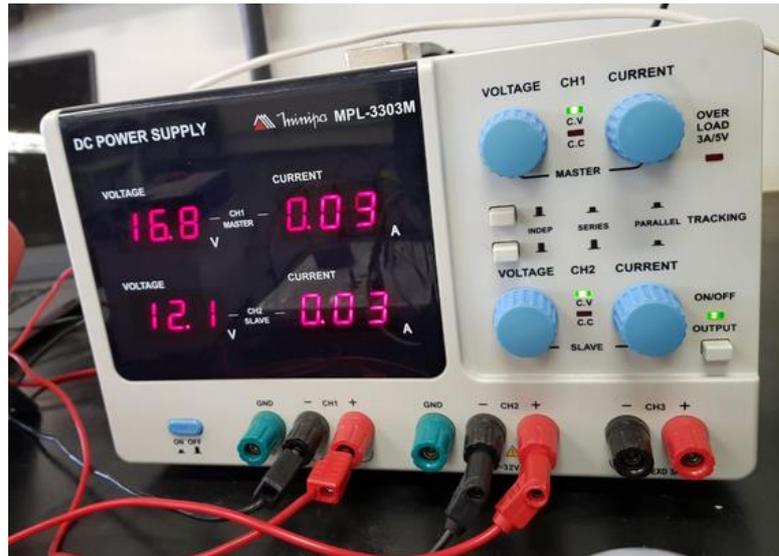
Após as devidas simulações e cálculos, foi feita a montagem do controlador de carga, realizado no laboratório de máquinas da Universidade Federal do Tocantins. A montagem feita na *protoboard* com os seguintes dispositivos, listados a seguir:

- 1 Regulador de tensão 7812;
- 2 Diodos 1N4007;
- 2 Diodos Zener 1N4742A;
- 4 Resistores de 100 Ω , 120 Ω , 1k2 Ω e 2k5 Ω ;
- 2 Capacitores eletrolíticos de 100uF;
- 1 Capacitor de poliéster 0.47uF;

- 1 Transistor *Darlington* TIP121.

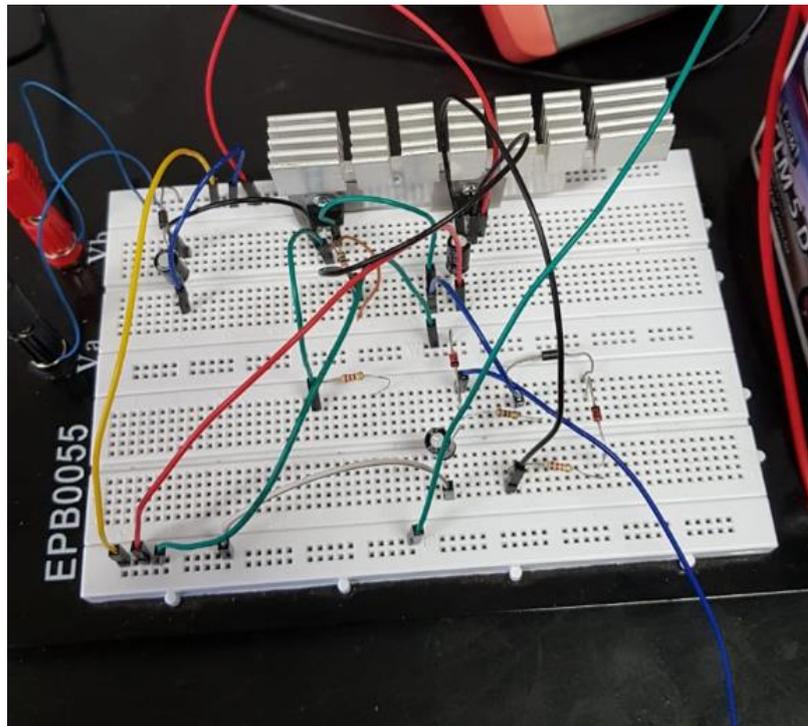
A montagem é feita de acordo com a Figura 27, sendo reproduzida em uma *protoboard*. O Painel solar é substituído por uma fonte de alimentação de corrente contínua variável, ilustrada na Figura 33. A Figura 34 mostra o conjunto do controlador de carga pronto.

Figura 33 - Fonte de alimentação de corrente contínua utilizada.



Fonte - Autoria própria.

Figura 34 - Controlador de carga montado.

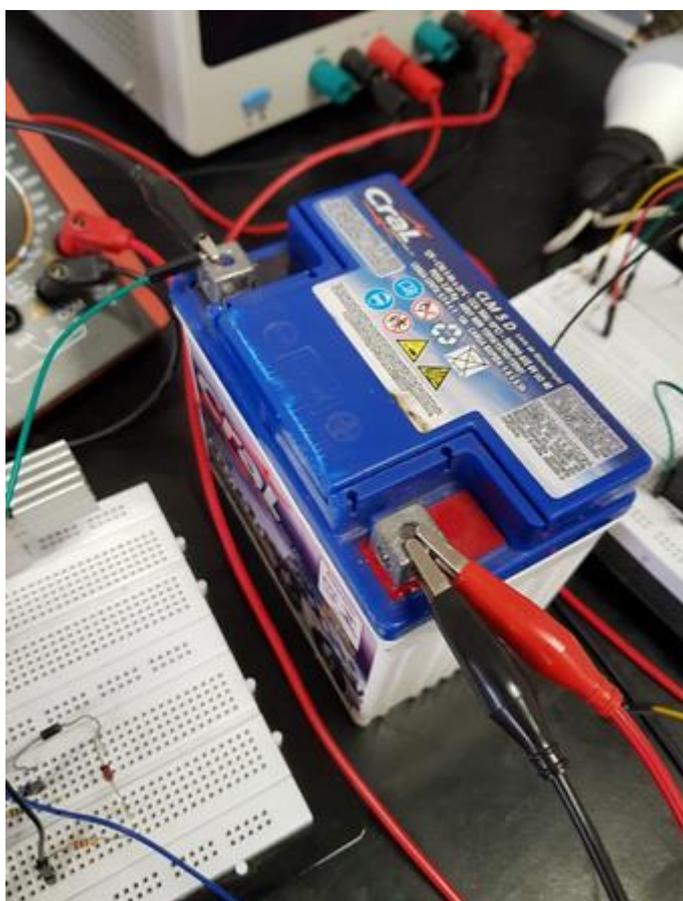


Fonte - Autoria própria.

Depois de ligar a fonte de corrente contínua (CC) no circuito, percebe-se um aumento na temperatura dos componentes. Portanto, faz-se necessário a utilização de um dissipador de calor conectado ao regulador de tensão 7812 e ao TIP121, como mostrado anteriormente na Figura 34.

Com o controlador de carga funcionando, conecta-se a bateria selada ao circuito para o carregamento, demonstrado na Figura 35. No momento do experimento, a bateria estava com uma carga de 10,3V inicialmente. Foram instalados multímetros para a medição dos valores de tensão e corrente na saída do controlador de carga.

Figura 35 - Bateria conectada ao circuito.



Fonte - Autoria própria.

Posteriormente à instalação da bateria e dos multímetros, ajusta-se a fonte inicialmente em 15 V, depois 16 V e por último 17 V. Esses valores de coleta de dados, são escolhidos considerando como referência o painel solar Ygli 55 W anteriormente mencionado, o qual sua tensão máxima é de 17,83V.

Em seguida troca-se a bateria que anteriormente estava com 10,8 V para uma bateria com 7,5 V e refaz o processo de coleta de dados de tensão e corrente para os 3 níveis de

tensão mencionados no parágrafo anterior. Os resultados coletados estão mostrados nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5 - Dados coletados da bateria de 10,8V.

Fonte de alimentação DC	Tensão na bateria	Corrente na bateria
15 V	11,25 V	0,14 mA
16 V	11,28 V	1,1 mA
17 V	11,37 V	7,2 mA

Fonte - Autoria própria.

Tabela 6 - Dados coletados da bateria de 7,45V.

Fonte de alimentação DC	Tensão na bateria	Corrente na bateria
15 V	7,6 V	25,6 mA
16 V	7,64 V	33,1 mA
17 V	7,77 V	39,4 mA

Fonte - Autoria própria.

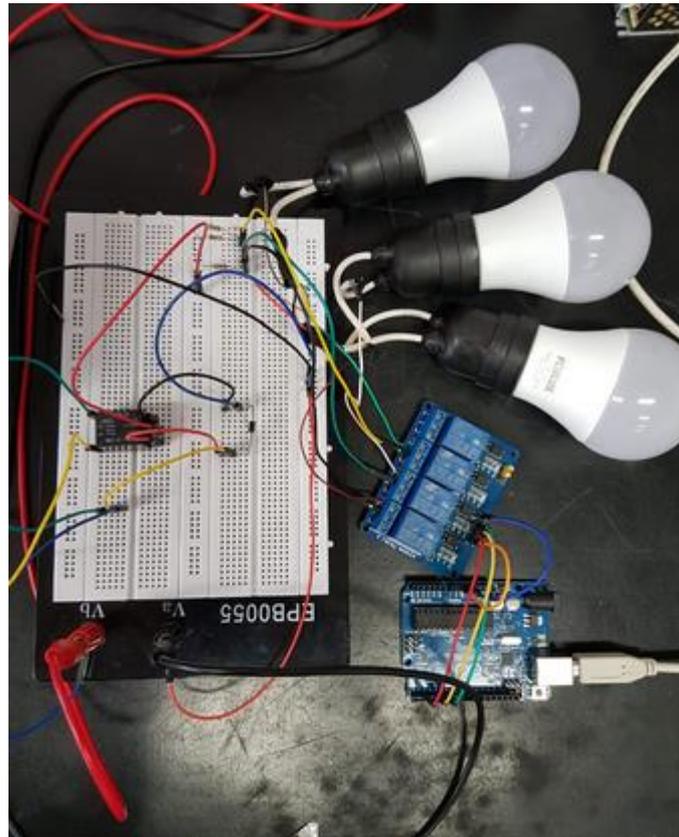
4.4 Montagem do Sistema *No-Break* do Semáforo

Ao final da coleta de dados do controlador de carga, é realizado a montagem do sistema de controle do semáforo, que conta com os seguintes equipamentos.

- 1 Relé de 2 posições com bobina 12V;
- 3 Resistores de 100Ω;
- 3 Lâmpadas de LED 12V;
- 1 Módulo de 4 relés 5V;
- 1 Arduino Uno;
- 1 Diodo 1N4007;

Realiza-se a montagem de acordo com a Figura 30. O acionamento das lâmpadas seria feito com transistor NPN, entretanto, é feita a substituição pelo módulo de quatro relés devido o controle mais preciso no chaveamento feito pelo Arduino. O módulo de relé fica ligado às portas digitais do Arduino Uno, onde, os pinos 2, 6 e 8 fazem o controle de acionamento de bobinas, enviando 5V na bobina do relé que deve comutar, de acordo com o código contido no Quadro 1. A figura 36 mostra o circuito montado e ligado ao canal 2 da fonte de alimentação DC, essa ligação representa a energia elétrica com tensão 12V em corrente contínua que seria proveniente da transformação da energia da rede pública pelo circuito retificador feito pela fonte CA/CC, mostrado na Figura 37.

Figura 36 - Circuito do semáforo montado e conectado ao Arduino Uno.



Fonte - Autoria própria.

Figura 37 - Fonte de alimentação 220Vca/12Vcc.



Fonte - Autoria própria.

Ao final da montagem, testa-se o circuito para a verificação da comutação do relé 5 pinos. A utilização do relé 5 pinos 12V, é baseada no Relé falta de fase bastante utilizado em circuitos de comandos elétricos.

Com o sistema de acionamento e carga funcionando perfeitamente, junta-se os dois circuitos, o circuito do controlador de carga ao circuito do semáforo, formando o sistema híbrido completo e funcional.

4.5 Comparativo Dos Resultados

Os valores de tensão e corrente obtidos nas simulações e testes reais. O comparativo é mostrado nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7 - Comparativo de Tensão x Corrente na Bateria de 7,45V.

Fonte de alimentação DC	Simulação		Dados reais		Diferença Percentual	
	Tensão na bateria	Corrente na bateria	Tensão na bateria	Corrente na bateria	Tensão	Corrente
15 V	7,47 V	46,5 mA	7,6 V	25,6 mA	1,71%	44,94%
16 V	7,48 V	50,3 mA	7,64 V	33,1 mA	2,09%	34,19%
17 V	7,48 V	50,3 mA	7,77 V	39,4 mA	3,73%	27,66%

Fonte - Autoria própria.

Tabela 8 - Comparativo de Tensão x Corrente na Bateria de 10,8V.

Fonte de alimentação DC	Simulação		Dados reais		Diferença Percentual	
	Tensão na bateria	Corrente na bateria	Tensão na bateria	Corrente na bateria	Tensão	Corrente
15 V	10,8 V	14,7 mA	11,25 V	0,14 mA	4,17%	99,04%
16 V	10,8 V	17 mA	11,28 V	1,1 mA	4,44%	93,52%
17 V	10,8 V	17 mA	11,37 V	7,2 mA	5,28%	57,64%

Fonte - Autoria própria.

A diferença percentual muito grande na corrente mostrada principalmente na Tabela 8, deve-se ao caso da bateria estar próxima da tensão de saída do controlador de carga. Como existe a presença de algumas perdas pelo circuito, essa tensão diminui. Com a tensão de carregamento próxima a tensão real da bateria, a corrente tende a diminuir, chegando próxima de zero. Outro motivo para essa tamanha diferença deve-se ao fato do simulador Proteus ter limitações, não conseguindo variar no tempo e nem conseguindo fazer a leitura de tensão de bateria, cuja, a corrente tende a diminuir quando próxima a sua tensão final.

A utilização de duas baterias, uma com 10,8V e outra com 7,45V, deve-se à necessidade de compreender o comportamento do sistema de carregamento tanto com a bateria quase completa e quanto com a bateria com metade da carga. Em ambos os casos, o controlador conseguiu suprir a demanda, carregando a bateria até o seu limite.

O orçamento aproximado estimado para o sistema instalado é mostrado na Tabela 9 abaixo, lembrando que é um valor médio de cada componente encontrado no mercado.

Tabela 9 - Valor estimado do sistema híbrido.

Componente	Quantidade	Preço unitário
Regulador de tensão 7812	1	R\$ 2,40
TIP121	1	R\$ 1,15
Resistores	4	R\$ 1,00
Jumpers	1 (pacote)	R\$ 14,00
Baterias	2	R\$ 90,00
Relé 5 pinos	1	R\$ 7,00
Módulo relé	1	R\$ 49,00
Lâmpada 12 V	3	R\$ 30,00
Fonte 220/12 V	1	R\$ 27,00
Placa Solar 55 W	1	R\$ 219,00
Diodo 1N4007	3	R\$ 0,10
Diodo Zener	2	R\$ 1,00
Arduino Uno	1	R\$ 50,00
Sensor de tensão	1	R\$ 28,00
Capacitor eletrolítico	2	R\$ 2,50
Capacitor Poliéster	1	R\$ 0,60
Dissipador	2	R\$ 5,00
Bocal para lâmpada	3	R\$ 3,00
Botoeira retentiva	1	R\$ 12,00
Total		R\$ 690,45

Fonte - Autoria própria.

Os valores mostrados na Tabela 9, são valores médios estimados para a compra do produto, mas não é incluso a prototipagem do circuito, que tem seu custo bastante variado. O valor final de R\$690,45 seria para o sistema completo com todo o sistema híbrido integrado, desde os módulos até as lâmpadas de LED do semáforo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção do controlador de carga do tipo *ON/OFF* serviu para aumentar o conhecimento em eletrônica e dar abertura para futuras melhorias no sistema, podendo ser aprimorado para um controlador de carga PWM ou até mesmo MPPT. A sua montagem trouxe resultados satisfatórios, o que era esperado o carregamento completo da bateria e obteve-se um carregamento eficaz, porém não tão rápido devido à corrente diferenciada da simulação, mas mesmo com essa diferença, o projeto realizou seu objetivo que era o controle no carregamento das baterias através da energia elétrica gerada pelos módulos solares.

O sistema de chaveamento e controle do semáforo obteve resultados aceitáveis para sua função de comutar entre as fontes de energia elétrica que integram o sistema híbrido, tornando possível a implementação de todo o arranjo. Pode ser aplicado não apenas em semáforos, mas em todo e qualquer dispositivo ou sistema que necessite de uma alimentação contínua, sem interrupções.

Esta monografia tinha como objetivo principal a proposta de criação de um sistema ininterrupto de energia elétrica para um semáforo, utilizando um sistema híbrido de alimentação, sendo a fonte principal a rede elétrica da concessionária de energia e a fonte secundária o sistema fotovoltaico desconectado à rede. Através de testes práticos e simulações, concluímos que o objetivo foi alcançado, conseguindo suprir o semáforo mesmo na falta de energia elétrica da fonte principal.

O sistema completo, se implementado, podem trazer benefício a população, devido a não interrupção do sistema de controle de fluxo de veículos, evitando assim desconforto, acidentes e prejuízos para os cidadãos. Assim, este trabalho prova ser possível e viável a implementação o sistema proposto, fornecendo conforto para a população, suporte em caso de falta de energia e fluidez no trânsito.

5.1 Aplicações Futuras

Algumas possíveis opções de aplicações futuras podem ser analisadas como por exemplo a melhoria e otimização do controlador de carga. A melhoria trataria da parte de controle de carga e descarga, sendo totalmente possível o controle da corrente para a máxima eficiência, transformando o protótipo em um dispositivo PWM e posteriormente um dispositivo MPPT. A otimização do elemento eletrônico seria a prototipagem dos componentes para melhor conexão e menos perdas nas ligações.

Algumas opções de aplicações são: elevadores, equipamentos importantes em hospitais, em faixas de pedestre, em portões eletrônicos e etc., a gama de opções é vasta.

Então, cabe a imaginação e a criatividade para implementar o sistema híbrido em sistemas vitais e necessários para a segurança e bem estar dos seres humano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAPTISTA, T. **Impacto no Sistema de Energia pela Troca das Lâmpadas Tradicionais por Lâmpadas LED.** Rio de Janeiro, Abril, 2016. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10016335.pdf>. Acesso em: 06 de março de 2019.

BORBA, D.; CHRISTMANN, J. **Estudo do Impacto da Eficiência Energética em Semáforos e Análise da Viabilidade de Operação com Painéis Solares Fotovoltaicos.** Paraná, 2013. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3667/1/CT_CEEE_I_2013_05.pdf. Acesso em: 06 de Março de 2019.

BOYLESTAD, R. **Análise de circuitos.** 12 ed. São Paulo. 2012.

BORTOLOTO, V.; GOES, G.; SOUZA, A.; MARTINS, M. **Geração de energia solar *on grid* e *off grid*.** 2017. Disponível em: <http://www.fatecbt.edu.br/ocs/index.php/VIJTC/VIJTC/paper/view/1069/1234>. Acesso em: 19 de julho de 2019.

CARNEIRO, J. **Semicondutores: Modelo Matemático da Célula Fotovoltaica.** 2010. Disponível em: https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16960/1/Semicondutores_Modelo%20matem%C3%A1tico%20da%20c%C3%A9lula%20fotovoltaica.pdf. Acesso em: 18 de julho de 2019.

CNT. **Análise de transporte.** 2018. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/analises-transporte>. Acesso em: 12 de julho de 2019.

DIAS, I. **Materiais elétricos: Compêndio de trabalhos.** Vol.05. 2015. Disponível em: <http://www.foz.unioeste.br/~lamat/downcompendio/compendiov5.pdf>. Acesso em: 30 de julho de 2019.

DOMINGUES, P. **Regulador de Tensão.** 2017. Disponível em: http://www.oelectricista.pt/PDF/oe61/artigo_tecnico2.pdf. Acesso em 28 de julho de 2019.

FRAUNHOFER. **Energy and Resources.** 2015. Disponível em: <https://www.fraunhofer.de/en/research/fields-of-research/energy-resources/renewable-energy.html>. Acesso em: 06 de março de 2019.

FARIAS, E.; COSTA, T.; PILLETI, C.; SANTOS, M. **Estudo e Simulação de um controlador de carga para sistema fotovoltaico *off-grid*.** Santarém- PA, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/325902997_ESTUDO_E_SIMULACAO_DE_UM_CONTROLADOR_DE_CARGA_PARA_SISTEMA_FOTOVOLTAICO_OFF-GRID. Acesso em 30 de junho de 2019.

JUSTEN, A. **Curso de Arduino.** 2012. Disponível em: <http://www.CursoDeArduino.com.br/apostila>. Acesso em: 12 de junho de 2019.

LABSIS. **Treinamento de Proteus VSM.** 2010. Disponível em: <https://www.anacom.com.br/pt-br/treinamento/214-proteus-2-dias-9.html>. Acesso em: 02 de junho de 2019.

MALVINO, A. **Eletrônica.** 4 ed. São Paulo, São Paulo. Disponível em: https://www.academia.edu/34072209/Eletronica_Vol_1_Malvino_4_Ed. Acesso em: 25 de julho de 2019.

MELLO, H.; INTRATOR, E. **Dispositivos Semicondutores.** 4 ed. 1980. Disponível em: <http://hamello.com/PDF/DispositivosSemicondutorescompletoRedSize.pdf>. Acesso em: 15 de junho de 2019.

MOBILIZE, **Frota Veicular Dez Vezes Maior que a População Agrava Riscos à Saúde.** 2016. Disponível em: <https://www.mobilize.org.br/noticias/9541/frota-veicular-ultrapassa-o-crescimento-da-populacao-em-mais-de-dez-vezes-com-riscos-a-saude-e-ao-ambiente.html>. Acesso em: 06 de março de 2019.

MUSSOI, F.; VILHAÇA, M. **Capacitores.** Florianópolis, Santa Catarina. 2000. Disponível em: <http://www.inf.unioeste.br/~reginaldo/informatica/capacitor/capacitor1.pdf>. Acesso em: 15 de junho de 2019.

NETO, A.; ALMEIDA, M.; MACÊDO, W.; PINHO, J. **Desenvolvimento e análise operacional de um controlador de carga On/Off.** 2010. Disponível em : https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKewjh_uomequXjAhVtG7kGHtAKBsoQFjAAegQIABAC&url=https%3A%2F%2Frbens.emnuvens.com.br%2Frbens%2Farticle%2Fdownload%2F40%2F40&usg=AOvVaw1c5AG-_c3qXeN7_j4tkGQi. Acesso em: 02 de julho de 2019.

OLIVEIRA, F. **Projeto de um Subsistema para transferência de Carga para Usinas de Microgeração Fotovoltaico.** Santa Cruz do Sul, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unisc.br/jspui/bitstream/11624/1443/1/Felipe%20de%20Oliveira.pdf> . Acesso em: 06 de março de 2019.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. **Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica.**Porto: Publindústria, 2013.

PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf . Acesso em: 30 de junho de 2019.

RIZZO, H.; GUERREIRO, D.; **Semáforo Solar Sustentável.** São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.excute.educatronica.com.br/Monografias%2042%C2%AA%20EXCUTE/Eletr%C3%B4nica/Sem%C3%A1foro%20Solar%20Sustent%C3%A1vel.pdf>. Acesso em: 06 de março de 2019.

ROSA, R. **Sistema Fotovoltaico Híbrido.** Espírito Santo, 2017. Disponível em: <http://www.csrenergiasolar.com.br/blog/sistema-fotovoltaico-hibrido-on-grid-e-off-grid> . Acesso em: 06 de março de 2019.

SANTOS, T. POZZA, S. **Análise de eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais.** 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v20n4/1413-4152-esa-20-04-00595.pdf> Acesso em: 05 de março de 2019.

SEDRA; SMITH. **Microeletrônica.** 2007. 5 ed. Disponível em: https://www.academia.edu/34949147/Sedra_Microeletronica_5_edi%C3%A7%C3%A3o_por_tugues. Acesso em: 16 de julho de 2019.

SOARES, T. **Energia Solar Aplicada na Automação de Semáforos.** Paraíba. 2012. Disponível em: <http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/1035/2450>. Acesso em: 06 de março de 2019.

SOUZA, R. **Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede: Guia 100% Completo.** 2017. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-on-grid/>. Acesso em: 06 de março de 2019.

SOUZA, C.; MURTA, J. **Baterias.** 2015. Disponível em: http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/paulomoises/Controlo_carga/baterias.pdf. Acesso: 02 de junho de 2019.

SUNNERGIA. **Energia Solar Off Grid.** Disponível em: <https://sunergia.com.br/blog/energia-solar-off-grid-sistema-isolado-desconectado-a-rede/>. Acesso em: 06 de março de 2019.

VILANOVA, L. **Crítérios para implementação de Semáforos.** 2018. Disponível em: http://sinaldetransito.com.br/artigos/criterios_implantacao_semaforos.pdf. Acesso em: 30 de julho de 2019.

VILLALVA, M.; GAZOLI, J. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações.** São Paulo: Erica, 2012. Acesso em: 02 de março de 2019.

WEINERT, C. **Aplicação do conversor CC-CC topologia cuk para carregamento de baterias de sistemas Fotovoltaicos.** Ponta Grossa, Paraná. 2017. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7660/1/PG_COAUT_2017_1_01.pdf. Acesso em: 31 de julho de 2019.

WENDLING, M. **CI Reguladores de tensão.** 2009. Disponível em: <https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/2---ci-reguladores-de-tensao---v1.0.pdf>. Acesso em: 25 de julho de 2019.

REFERÊNCIAS ADICIONAIS

ANEEL (2005). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** 2 ed. Brasília: Atlas, 2005. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/livros/-/asset_publisher/eZ674TKh9oF0/content/atlas-de-energia-eletrica-do-brasil/656835?inheritRedirect=false Acesso em: 03 de março de 2019.

WENHAM, S. R. et al. **Applied photovoltaics.** 2 ed. Australia: Centre for Photovoltaic Engineering of UNSW, 2009.

GEPEA. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica.** Disponível

m:<http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/56337/mod_resource/content/2/Apostila_solar.pdf>. Acesso em 13 de fevereiro 2019.

JANNUZZI, G. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil: Panorama da Atual Legislação.** Campinas-SP, 2002. Disponível em: http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/RELATORIO_PROJETO_2_FINAL.pdf . Acesso em: 06 de março 2019.

PACHECO. F. **Energias Renováveis: breves Conceitos.** Conjuntura e Planejamento, Salvador: SEI, n.149, Out. 2006. p.4-11.