

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**

ELOI DOMINGOS BATISTA JUNIOR

**CIRCUITO PARA CARGA DE BATERIA ATRAVÉS DE ENERGIA
SOLAR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GUARAPUAVA

2016

ELOI DOMINGOS BATISTA JUNIOR

**CIRCUITO PARA CARGA DE BATERIA ATRAVÉS DE ENERGIA
SOLAR**

Trabalho de Conclusão apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Me. Marcelo Granza.

GUARAPUAVA

2016



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Guarapuava

Coordenação Tecnologia em manutenção Industrial
Tecnologia em manutenção Industrial



TERMO DE APROVAÇÃO

CIRCUITO PARA CARGA DE BATERIAS ATRAVÉS DE ENERGIA SOLAR

ELOI DOMINGOS BATISTA JUNIOR

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 02 de Dezembro de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Tecnologia em Manutenção Industrial. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Me. Marcelo Granza
Prof. Orientador

Prof. Me. João Luiz Dallamuta Lopes
Membro titular

Prof. Me. Ricardo Lucas
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por nos dar o suporte diante as dificuldades.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná- UTFPR, pelo espaço cedido para o desenvolvimento deste trabalho, seu corpo docente, direção e administração.

Ao orientador Professor Marcelo Granza, pelo suporte, orientação e incentivo.

A Família e a esposa por todo amor, apoio e compreensão.

RESUMO

BATISTA, Eloi Domingos Jr. Circuito para carga de bateria e acionamento de lâmpadas leds. 2016. 50f. Trabalho de conclusão de curso (Tecnologia em Manutenção Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2016.

Este trabalho apresenta uma análise teórica do panorama de energia solar no Brasil, alguns tipos de placas solares adotados nos sistemas de captação de energia solar, bem como também as formas de ligações das mesmas, e as metodologias para carga de baterias existentes para armazenar energia proveniente de uma placa fotovoltaica. O trabalho apresenta o desenvolvimento de um conversor baseado na topologia *Buck-Boost* para carga de uma bateria através do método de tensão constante, onde a tensão de entrada consiste em uma placa fotovoltaica. Foi dimensionado o circuito e realizado a montagem de um protótipo, efetuado a coleta de dados das formas de ondas de corrente e tensão na chave, indutor, diodo e saída do circuito. Para controle da razão cíclica na chave foi utilizado um controlador PWM.

Palavras-chave: Fotovoltaica. Bateria. Conversor *Buck-Boost*. Indutor. Capacitor.

ABSTRACT

BATISTA, Eloi Domingos Jr. Battery charger and led power source circuit. 2016. 50f. Trabalho de conclusão de curso (Tecnologia em Manutenção Industrial) – Federal Technological University of Parana. Guarapuava, 2016

This report presents a theoretical analysis of the solar energy scenario in Brazil, some categories of solar plates adopted on the solar system energy reception, as well as their the wiring diagrams and finally, the methodology applied to charge batteries when used as a storage unit for the energy from solar plates. Then, is presented the development of converter based on the Buck-Boost topology in order to charge a battery by a constant voltage, where the voltage source consist of a photovoltaic solar plate. As a result, a prototype circuit was dimensioned and built, the data collected focused on the current end voltage waves present at the switch, inductor, diode and the output. To control the cyclic rate of the switching, it was used a pulse width modulator controller.

Keywords: Photovoltaic . Battery. *Buck-Boost*. Inductor. Capacitor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diagrama do Sistema de Energia Solar	14
Figura 2 - Sistema fotovoltaico de bombeamento de água para irrigação.	18
Figura 3 - Painel solar fotovoltaico formado por células de silício monocristalino com eficiência de 14 % a 21%	19
Figura 4 - Tensão e Corrente no Tempo: Carga com Tensão Constante	21
Figura 5 - Conversor Buck	24
Figura 6 - Formas de Onda de Condução Contínua e Descontínua	24
Figura 7 - Conversor Buck empregado modulação PWM.	26
Figura 8 - Sinal Dente de Serra.....	27
Figura 9 - Conversor Boost	28
Figura 10 - Conversor Buck-Boost	29
Figura 11 - Primeira Etapa de Funcionamento do Conversor	29
Figura 12 - Segunda Etapa de Funcionamento do Conversor	30
Figura 13 - Ilustração Gráfica do Ganho Estático do Conversor	30
Figura 14 - Condução Contínua e Descontínua.....	31
Figura 15- Tensão na Carga	35
Figura 16 - Ondulação de Tensão na Carga	36
Figura 17 - Ondulação de Corrente no Indutor e na Carga	36
Figura 18 - Tensão na Chave e Diodo	37
Figura 19 - Simulação em Malha Fechada.....	38
Figura 20 - Circuito Buck- Boost Modificado	39
Figura 21 - Circuito de Comando	40
Figura 22 - Circuito de Comando Roteado.....	40
Figura 23 - Placa de Comando.....	41
Figura 24 - Circuito de Potência	41
Figura 25 - Circuito de Potência Roteado	43
Figura 26 - Placa de Potência	43
Figura 27 - Placa de Comando e Força	44
Figura 28 - Pulso de Comando.....	44
Figura 29 - Funcionamento do Mosfet IRF660	45
Figura 30 - Tensão no Diodo.....	46
Figura 31 - Corrente no Indutor e Tensão de Pulso	46
Figura 32 - Conversor Operando como Buck.....	47
Figura 33- Conversor Operando como Boost.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de potencial fotovoltaico no estado do Paraná	16
Tabela 2 - Dados do Circuito Buck-Boost	34
Tabela 3 - Dados do Circuito.....	35
Tabela 4 - Comparação dos Cálculos com os Resultados do Software	38

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

CC.	Corrente Contínua
E.	Tensão de Entrada
I.	Corrente
R.	Resistência
L.	Indutor
C.	Capacitor
V.	Tensão de Saída
D.	Razão Cíclica
S	Chave
AWG	American Wire Gauge (Escala Americana Normalizada)
ANNEE	Agencia Nacional de Energia Elétrica
LED	Ligh Emitting Diode
PWM	Pulse Width Modulation
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor.
MOSFET	Metal – Oxide – Semiconductor Field Effect Transistor

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 TEMA	14
1.2 PROBLEMA	14
1.3 HIPOTESE	14
1.4 OBJETIVO	15
1.5 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	15
1.6 JUSTIFICATIVA.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	16
2.1 PANORAMA DA ENERGIA SOLAR	16
2.1.1 Potencial Fotovoltaico no Estado do Paraná.	16
2.1.2 Aproveitamento de Energia Elétrica no Brasil.....	17
2.1.3 Impactos Ambientais.....	18
2.2 CARACTERÍSTICAS DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.....	18
2.3 TIPOS DE BATERIA.....	20
2.3.1 Chumbo-ácido.....	20
2.3.2 Níquel-cádmio.....	20
2.4 TIPOS DE CARGA DE BATERIA.	21
2.4.1 Carga de Bateria com Tensão Constante.....	21
2.4.2 Carga da Bateria com Corrente Constante.....	21
3 METODOLOGIA.....	23
3.1.1 Conversor CC – CC.....	23
3.1.2 Conversor Buck.	23
3.2 CONVERSOR BUCK EMPREGANDO MODELO PWM.....	26
3.3 CONVERSOR BOOST.	28
3.4 CONVERSOR BUCK-BOOST.	28
4 DESENVOLVIMENTO DO CIRCUITO	34
4.1 DIMENSIONAMENTO DO CONVERSOR.....	34
4.2 MONTAGEM DO CIRCUITO	39
4.2.1 Circuito de Comando	39
4.2.2 Circuito de Potência.....	41
4.2.3 Componentes do Circuito de Potência.....	42
4.3 RESULTADOS.....	43
4.4 CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

O sistema fotovoltaico consiste em transformar radiação solar ou feixe de luz em energia elétrica, que se destaca pelo efeito termoelétrico e se caracteriza pela diferença de potencial ocorrida entre a junção de dois metais, em condições especiais. É um tipo de energia renovável que não traz impactos ao meio ambiente e é um sistema que vem trazendo soluções para a questão de geração de energia elétrica (ANEEL, 2005).

Placas fotovoltaicas são constituídas de semicondutores tais como: Silício, Arseneto de Gálio, Lureneto de Cádmio ou Disseleneto de cobre e índio (gálio), sendo que o silício é o mais usado devido sua grande abundância na natureza. O sistema vem ganhando grande espaço na cogeração de energia, devido suas enormes vantagens, como por exemplo, a matéria prima que é uma fonte de energia inesgotável (sol), e também por não gerar nenhum tipo de poluição visual e não afetar o meio ambiente diferente das hidroelétricas que tem enormes áreas alagadas que destroem a fauna e flora. Os sistemas fotovoltaicos também não oferecem grandes riscos na sua cogeração, diferente das indústrias nucleares que se ocorrer uma falha os resultados são catastróficos (SOUZA, 2005).

Diante disso sugere-se o desenvolvimento de circuitos controladores de carga de baterias de energia, gerada por placas solares e também conversores eletrônicos para aplicação e iluminação via LED. Esta nova alternativa de geração oferece algumas vantagens, como a utilização da energia solar renovável e economia nos custos.

No Brasil, este tipo de geração não é ainda muito utilizado devido em parte ao custo elevado (COCIAN, 2001). Porém com a crescente demanda global por energia e a importância do impacto das políticas energéticas sobre a sociedade e o meio ambiente, cria-se a necessidade de se optar por fontes de energia que possam abastecer a demanda de forma eficiente e sem agredir o meio ambiente, formando assim a base para um desenvolvimento sustentável.

Assim a conversão solar fotovoltaica é adotada como meio de substituição aos métodos convencionais de geração de eletricidade, pois na época atual, em que problemas ambientais se agravam e as matérias primas se esgotam, torna-se insustentável a exploração continuada dos combustíveis fósseis.

O referido estudo será constituído da elaboração de um conversor para carregar uma bateria através do método de tensão constante, denominado “*Buck-Boost*” o qual atuara como um conversor CC-CC reduzindo a tensão de 18 volts gerada através das placas solares para 14 V, e ainda em casos de afundamentos de tensão no painel solar (tensões menores que 14 V), o conversor terá a propriedade de elevar a tensão. A Figura 1 apresenta em diagrama de blocos das etapas do processo para transformar energia solar em energia elétrica.



Figura 1 - Diagrama do Sistema de Energia Solar
Fonte: Autoria Própria

1.1 TEMA

Desenvolvimento de um conversor abaixador-elevador de tensão para carga de uma bateria através do método de tensão constante.

1.2 PROBLEMA

Como desenvolver e dimensionar um conversor para carregar uma bateria através de um arranjo fotovoltaico?

1.3 HIPOTESE

Pressupõe que o sistema desenvolvido venha proporcionar economia de energia através do desenvolvimento de um conversor CC para carga de bateria através de energia solar.

1.4 OBJETIVO

O objetivo principal do trabalho é o desenvolvimento de um conversor eletrônico para carregar uma bateria através da conversão de energia solar para elétrica.

1.5 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Realizar uma pesquisa bibliográfica;
- Escolha do conversor;
- Dimensionamento dos componentes do conversor *Buck-Boost* para carregar a bateria;
- Simulação numérica do conversor e comparação com os cálculos realizados;
- Escolha dos componentes;
- Desenvolvimento de um protótipo;
- Obtenção dos resultados experimentais.

1.6 JUSTIFICATIVA

Visto o grande consumo de energia e o seu alto custo, esse trabalho tem a intenção de proporcionar economia de energia, através da conversão de energia solar em elétrica através da montagem de um conversor CC *Buck-Boost*.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 PANORAMA DA ENERGIA SOLAR

A conversão da energia fotovoltaica em energia elétrica é uma das mais adotadas em todo o mundo. O aproveitamento da iluminação natural e do calor para aquecimento de ambientes, denominado aquecimento solar passivo, decorre da penetração ou absorção da radiação solar nas edificações, fazendo com que se diminua a necessidade de lâmpadas e sistemas de aquecimento, o melhor aproveitamento da incidência da radiação solar pode ser feito com o auxílio de técnicas mais sofisticadas de arquitetura e construção civil (ANNEL, 2005).

A elaboração de um mapa capaz de apresentar valores de irradiação e da correspondente capacidade de geração de energia elétrica estimado por fonte fotovoltaica no Paraná evidencia que o nosso estado tem grande potencial, conforme se observa abaixo (TIEPOLO, 2015).

2.1.1 Potencial Fotovoltaico no Estado do Paraná.

Tabela 1 - Dados de potencial fotovoltaico no estado do Paraná

Estado do Paraná	Irradiação Total anual em kwh/m ² ano.			Produtividade Total Anual Estimada em kwh/kwp ano.		
	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média
	1.651	2.119	1.986	1.238	1.589	1.490

Fonte: TIEPOLO, 2015

Segundo (TIEPOLO, 2015) as cidades que obtém a maior e a menor irradiação e potencial de produtividade estão descritas abaixo.

Panorama de Irradiação e de Produtividade Total Anual:

- Cidade com Menor média Anual: Matinhos com 1.687 kWh/m².ano e 1.265 kWh/kWp.ano;
- Cidade com Maior média Anual: Prado Ferreira com 2.107 kWh/m².ano e 1.580 kWh/kWp.ano;

Os 399 municípios do estado possuem Irradiação Total Anual Média acima de 2.000 kWh/m². ano (inclusive), o que corresponde a 80,45% de todo o estado do Paraná.

Segundo (ANNEL, 2005) o aproveitamento térmico para aquecimento de fluidos é feito com o uso de coletores ou concentradores solares. Sendo assim a conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre pelos efeitos da radiação, ou seja, calor e luz sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Entre esses, destacam-se os efeitos termoelétrico e fotovoltaico.

O efeito termoelétrico caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial, causada pela junção de dois metais, em condições específicas. No fotovoltaico, os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica, utilizando-se de células solares.

Mediante os diversos sistemas adotados para utilização da energia solar, a fotovoltaica é mais adotada nas regiões Nordeste e Norte do Brasil decorrente da escassez de redes elétricas bem como o sistema de aquecimento de água e mais comumente encontrado nas regiões Sudeste e Sul em virtude condições climáticas (ANNEL, 2005).

2.1.2 Aproveitamento de Energia Elétrica no Brasil

No Brasil destacam-se diversos projetos para captação da energia solar predominantemente conforme mencionado acima nas regiões Norte e Nordeste, destes sistemas destacamos os que adotam os sistemas fotovoltaicos, estes projetos atuam basicamente em quatro sistemas; (ANNEL, 2005).

- Bombeamento de água, para abastecimento doméstico, irrigação e piscicultura;
- Iluminação pública;
- De uso coletivo como, escolas, centros comunitários entre outros;
- Atendimento domiciliar como cercas elétricas, fábricas de gelo e dessalinização entre outros, O sistema para bombeamento de água é muito usual e eficaz.

A Figura 2 representa um sistema fotovoltaico para bombeamento de água utilizado na irrigação.



Figura 2 - Sistema fotovoltaico de bombeamento de água para irrigação.
Fonte: (BRITO, 2000) Disponível em: www.cresesb.cepel.br/cresesb.htm

2.1.3 Impactos Ambientais.

Um dos fatores mais relevantes no aspecto socioambiental é quanto à baixa eficiência do sistema de conversão decorrente da necessidade de grande desapropriação de terra para tal projeto se torne economicamente viável, em comparação com os sistemas das hidráulicas onde requer grandes extensões de inundações, observa-se que a limitação de espaço não é tão restritiva ao aproveitamento da energia solar (ANNEL, 2005).

2.2 CARACTERÍSTICAS DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.

O aproveitamento da energia solar está em processo de evolução tendo somente como obstáculos os custos elevados dos painéis solares, mais tem como fator favorável a energia solar em abundância e gratuita (NASCIMENTO, 2006).

A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula, que é convertida em energia elétrica. Atualmente, as melhores células apresentam um índice de eficiência de 25% (GREN, 2000).

As células fotovoltaicas são denominadas como parte de um sistema fotovoltaico, a célula faz a função da conversão da radiação solar em eletricidade. Porém uma célula somente não é capaz de proporcionar energia de grande

potencial, sendo assim os fabricantes unem diversas células formando um módulo fotovoltaico com maior potencial. Quanto aos módulos fotovoltaicos os mesmos têm diferenciação em virtude do seu potencial, tipo de células entre outras (SOUZA, 2006).

As indústrias que detêm a tecnologia da fabricação dos painéis solares têm uma vasta gama de produtos no mercado onde existem painéis cujo rendimento em energia incidente pode variar de 10% a 15% nos painéis menos eficientes e podendo chegar a 25% nos mais elaborados (NASCIMENTO, 2006).

A Figura 3 apresenta um painel monocristalino, onde tal painel é o que proporciona a eficiência mais elevada, de 14 a 21%.



Figura 3 - Painel solar fotovoltaico formado por células de silício monocristalino com eficiência de 14 % a 21%

Fonte: (Solar). Disponível em: <http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>.

Mediante estes aspectos evidencia-se a importância de o máximo de aproveitamento energético dos painéis solares.

Conforme Nascimento 2006, a operação dos painéis solares consiste na liberação de elétrons em estruturas policristalinas semicondutoras (junção pn) quando recebem energia suficiente de fótons incidentes da luz solar. O princípio de uma célula solar é fornecer em seus terminais uma corrente praticamente constante desde a condição de curto-circuito em seus terminais, até o ponto em que a tensão externa aplicada começa a polarizar a junção pn (diodo intrínseco).

Com relação às associações dos painéis os mesmos podem ser associados em série ou paralelo conforme suas respectivas potências, o até mesmo em série paralelo, proveniente da necessidade. Quando conectados em paralelos o comando é dado pelo de tensão e quando conectados em série são comando pelo de menor corrente (NASCIMENTO, 2006).

2.3 TIPOS DE BATERIA.

2.3.1 Chumbo-ácido

São constituídas por células isoladas entre si, onde cada célula gera uma tensão de 2V, são associadas em serie para obter a tensão desejada. Cada célula é composta por uma parte positiva que é de dióxido de chumbo onde vai ocorrer a redução (ganho de elétrons) e uma parte negativa de chumbo, onde ocorre à oxidação (perda de elétrons), é banhada por uma solução de ácido sulfúrico (SEGUEL, 2009).

Este tipo de bateria é muito utilizado em sistemas fotovoltaicos devido ao seu baixo custo. A capacidade da bateria é medida pela quantidade horas que ela suporta transmitindo certa quantidade de corrente. O Processo de carga e descarga possui uma quantidade limite, onde seus componentes sofrem danos irreversíveis, e a bateria chega ao fim de vida útil (SEGUEL, 2009).

2.3.2 Níquel-cádmio

Tem o mesmo principio de funcionamento das baterias de chumbo-ácido, são formadas por células isoladas entre-si, onde a parte positiva é constituída de placas de hidróxido de níquel e as negativas de óxido de cádmio, e o eletrólito de hidróxido de potássio (FREITAS, 2008).

Este tipo de bateria tem uma vantagem em relação às baterias de chumbo-ácido, podem ser totalmente descarregadas e não sofre solvatação, a desvantagem é que seu custo é maior no mercado (FREITAS, 2008).

2.4 TIPOS DE CARGA DE BATERIA.

2.4.1 Carga de Bateria com Tensão Constante.

Uma metodologia bem simples aplica-se uma corrente constante na bateria para que seja elevada a tensão a um valor também constante igual à mesma que será mantida na bateria em um segundo estágio. No segundo estágio mantemos a mesma tensão na bateria e constata-se que a corrente tende o seu valor decrescer de corrente constante até um valor mínimo próximo a zero, após isso a tensão na bateria aumenta e a corrente volta ao seu valor inicial e o processo é reiniciada (MARTINS, 2012).

Este método define que quando a bateria está exposta da tensão de carga a sua corrente de carga tende a diminuir até que a bateria esteja carregada por completa. Na Figura 4 demonstra-se graficamente este tipo de carga conforme mencionado acima.

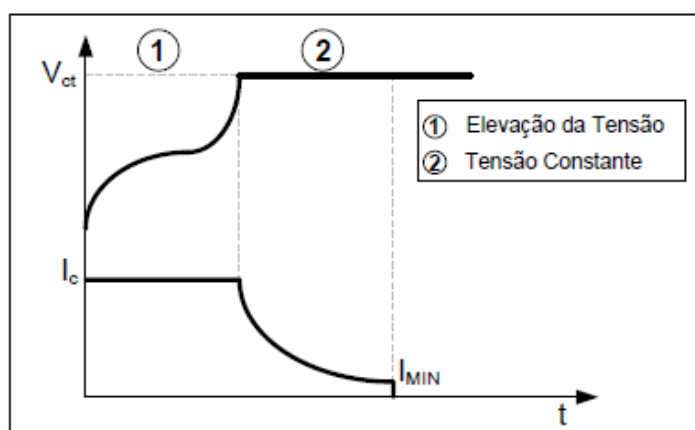


Figura 4 - Tensão e Corrente no Tempo: Carga com Tensão Constante
Fonte: (MARTINS, 2012)

2.4.2 Carga da Bateria com Corrente Constante.

Conforme Martins (2012), este método é mantido uma corrente de carga constante na bateria e sendo assim a uma variação do valor da tensão gradualmente ao chegar ao um valor máximo, salienta que este valor máximo não deve ser ultrapassado, pois irá danificar a bateria, sendo assim obtém-se vantagens,

pois será necessário somente manter um controle sobre a corrente simplificando o processo.

O inconveniente deste método é que o carregador deverá ser desligado ao concluir a etapa, podendo ser manual ou através de um circuito adicional evitando assim danos na bateria por sobtensão (MARTINS, 2012).

3 METODOLOGIA

Neste item será especificado a metodologia e o funcionamento dos conversores bem como o dimensionamento de seus componentes que serão usados neste trabalho.

3.1.1 Conversor CC – CC.

É constituído de um circuito que transforma tensão e correntes continua de entrada em outra amplitude de corrente e tensão continua na saída, e composto por uma chave que entrega tensão pulsante para um indutor ou transformador em uma determinada frequência, quando a chave está fechada o indutor armazena energia e quando se abre o indutor descarrega corrente na carga (SILVA, 2012).

3.1.2 Conversor Buck.

Este conversor tem como função abaixar a tensão de saída em relação a tensão de entrada, e tem como característica corrente na saída e tensão na entrada, quando sua chave está fechada a corrente circula pelo indutor e o diodo é polarizado reversamente não deixando ocorrer à condução, o indutor é energizado aumentando sua corrente e o capacitor é carregado quando a corrente da carga é menor que a do indutor, quando a chave é interrompida o diodo é polarizado diretamente e passa a conduzir, mantendo a corrente na carga (RODRIGUES 2007).

O capacitor será carregado quando a corrente do indutor for maior que o da carga e descarregado quando a corrente do indutor for menor que o da carga (RODRIGUES 2007). O circuito está representado na Figura 5.

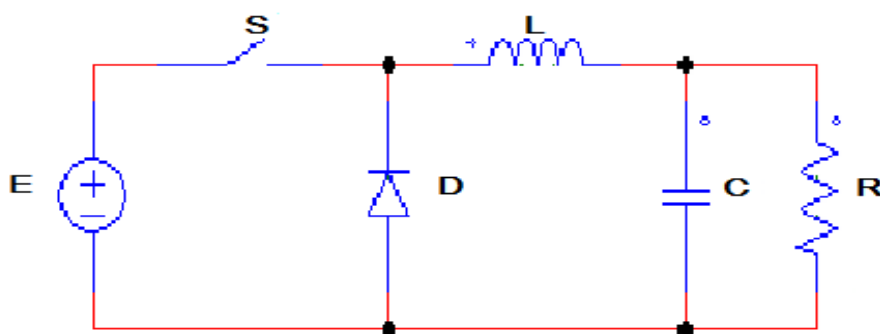


Figura 5 - Conversor Buck
Fonte: Autoria própria.

Se a corrente do indutor não vai a zero quando o diodo está polarizado diretamente, o circuito opera em modo contínuo, se a corrente no indutor chegar à zero, quando o diodo está conduzindo o circuito opera de modo descontinuo (BARBI; MARTINS, 2000). A Figura 6 mostra as formas de onda do conversor *buck* para as duas formas de operação.

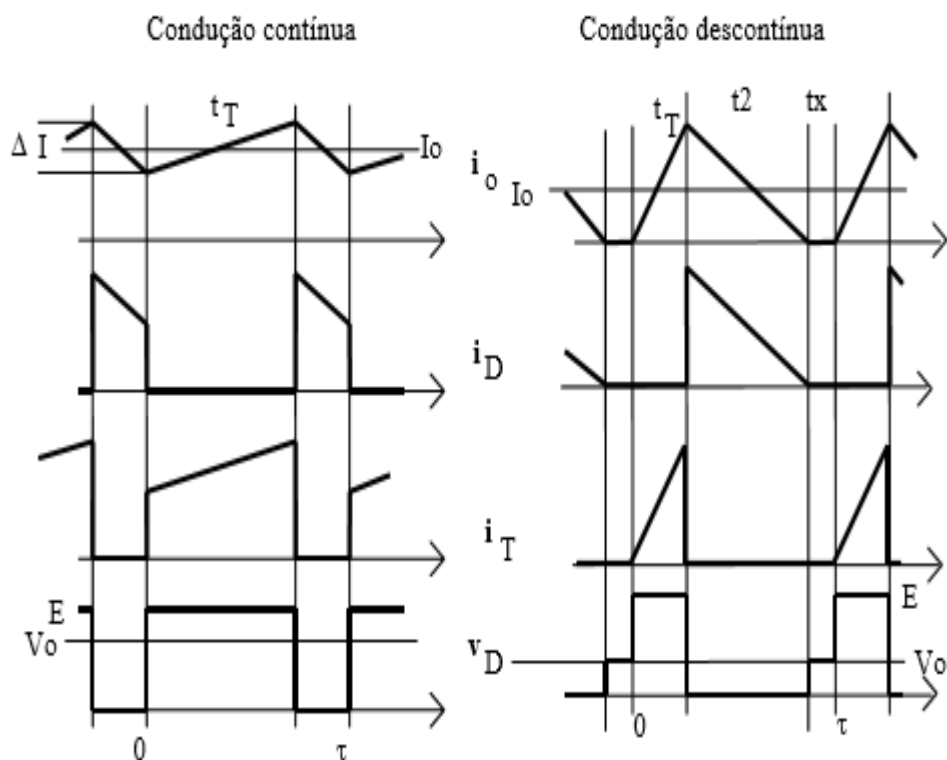


Figura 6 - Formas de Onda de Condução Contínua e Descontínua
Fonte: (BARBI; MARTINS, 2000).

Se a chave mostrada na Figura 5 abrir e fechar em movimento cíclico a tensão média na carga será calculado pela equação:

$$V = D \times E \quad (1)$$

Onde E: é a tensão de entra do circuito, V: a tensão saída e D: a razão cíclica, que é o tempo de abertura e fechamento da chave, ou seja, o tempo de chaveamento. Que é definida pela equação:

$$D = \frac{V}{E} \quad (2)$$

E a corrente média na carga é calculada pela equação:

$$I = \frac{V}{R} = D \times \frac{E}{R} \quad (3)$$

Pode se dizer que a potência na carga é igual a potencia de entrada desconsiderando as perdas internas do circuito.

$$P = \frac{D \times E^2}{R} \quad (4)$$

Para controlar a tensão na carga, basta variar o tempo em que a chave permanece aberta ou fechada com isso pode se controlar a tensão de saída do circuito (MARTINS, 2007).

A potência do circuito pode ser representada pela equação:

$$P = V \times I \quad (5)$$

Segundo Barbi, (2015) o dimensionamento do indutor para que o circuito opere em modo contínuo é definido pela equação:

$$L = \frac{E}{\Delta I \times f} \times D \times (1 - D) \quad (6)$$

E para calcular o Capacitor:

$$C = \frac{E}{31 \times L \times f^2 \times \Delta V} \quad (7)$$

3.2 CONVERSOR BUCK EMPREGANDO MODELO PWM.

A ondulação PWM é muito empregada quando precisa de controlar a tensão de saída e mantê-la constante mesmo que a tensão de entrada obtenha variação. A Figura 7 representa este tipo de modelagem em um Conversor Buck.

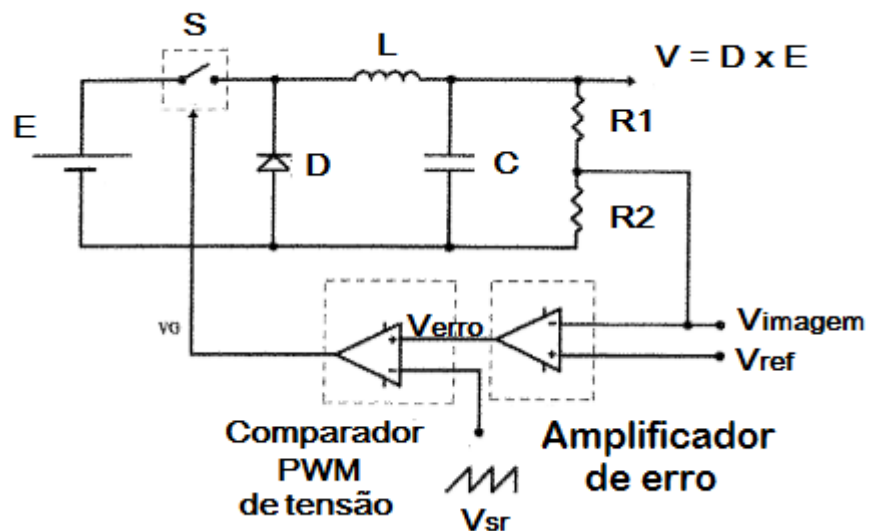


Figura 7 - Conversor Buck empregado modulação PWM.
Fonte: BARBI, (2007).

A modulação PWM é obtida através da comparação de tensão entre o comparador de erro e a tensão dente de serra, o comparador de erro faz a comparação de tensão, obtida entre um comparador resistivo na saída do circuito e uma tensão predefinida pelo usuário, onde esta tensão de erro vai ser usada pelo

comparador PWM para definir o ciclo de abertura e fechamento da chave (SIVA, *et al.* 2013).

O circuito tem como função manter na saída sempre a tensão igual a tensão de referencia. A Figura 8 representa a tensão dente de serra e a tensão da saída do amplificador de erro (SIVA, *et al.* 2013).

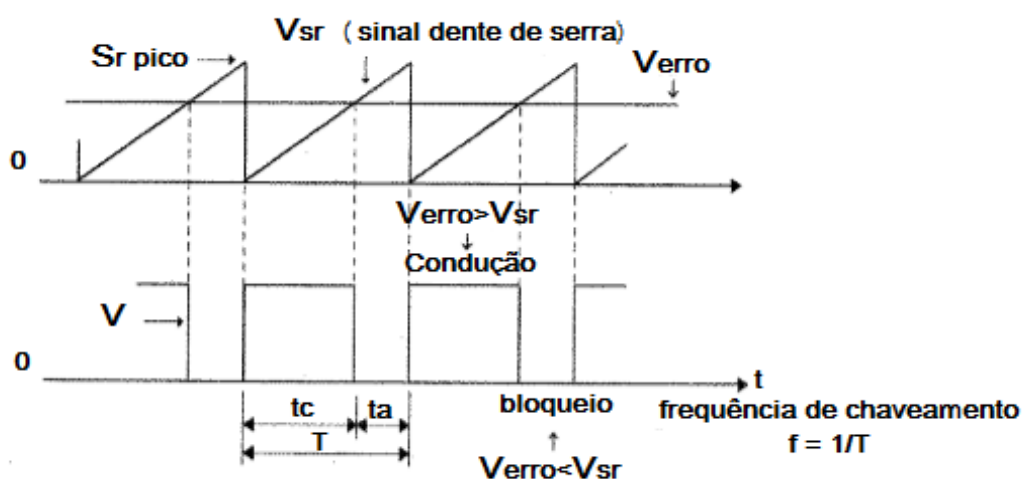


Figura 8 - Sinal Dente de Serra
Fonte: MARTNS, (2007)

Na Figura 8 pode se observar a comparação realizada pelo circuito entre a tensão obtida entre o comparador de erro, e a tensão dente de serra obtida na saída chave.

O comparador PWM faz a analogia entre esses dois sinais, obtendo na saída uma forma de onda retangular que define a abertura e fechamento da chave, se a tensão dente de serra for menor que a tensão do amplificador a frequência de chaveamento será alta, de modo contrario a chave ficará aberta e não conduzirá dessa maneira pode se dizer que a frequência dente de serra define a frequência de chaveamento, e a tensão do amplificador erro é proporcional ao tempo de condução da chave, assim a razão cíclica pode ser definida pela equação abaixo (MARTINS, 2006).

$$D = \frac{t_c}{T} = \frac{V_{erro}}{V_{srpico}} \quad (8)$$

3.3 CONVERSOR BOOST.

Este conversor tem como característica elevar a tensão na saída, a mínima tensão na saída vai ser igual à de entrada, sua tensão de saída jamais será menor que da entrada. Este tipo de conversor é muito usado em fontes de alimentação com um alto fator de potência e em motores de corrente contínua para acionamento com frenagem negativa (MARTINS; BARBI, 2006). A Figura 9 representa a topologia do conversor *Boost*.

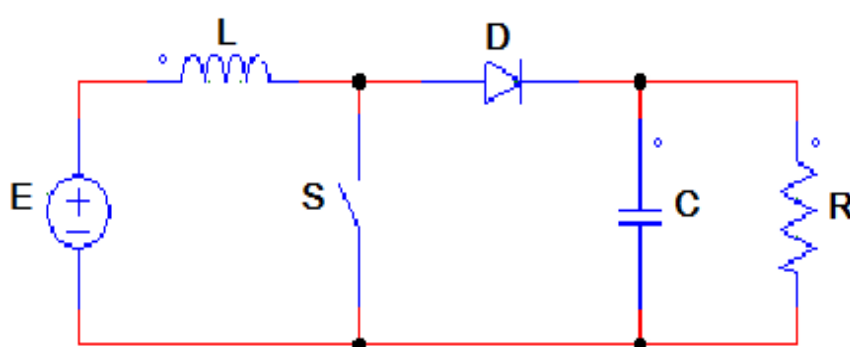


Figura 9 - Conversor Boost
Fonte: Autoria Própria

A primeira etapa de funcionamento ocorre quando a chave entra em condução e o indutor é carregado, e o diodo não conduz porque o conversor é curto circuitado. Na segunda etapa quando a chave está aberta o indutor é descarregado na carga, formando assim o ciclo de operação do conversor *Boost* (MARTINS; BARBI, 2006).

3.4 CONVERSOR BUCK-BOOST.

É uma união do conversor *Buck* com o conversor *Boost*, que opera tanto como abaixador e elevador de tensão, ele trabalha com tensão contínua na entrada e na saída com tensão variável contínua. Sua tensão de saída é controlada pela razão cíclica que pode ser realizada por componentes Eletrônicos como: Transistores (*BPTs*, *MOSFETs*, *IGBTs*), entre outros (FUSER, 2014). A Figura 10 demonstra um circuito *Buck-Boost*.

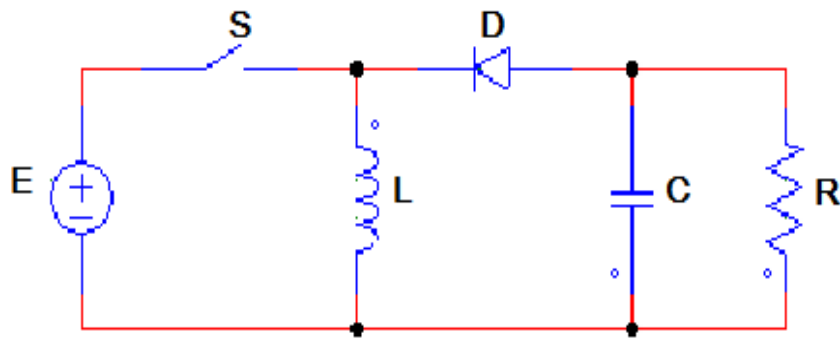


Figura 10 - Conversor Buck-Boost
Fonte: Autoria Própria

O conversor opera em duas etapas na primeira quando a chaveamento está na posição ligada o diodo é polarizado reversamente e a corrente é acumulada no indutor, este ciclo de funcionamento termina quando a chave é aberta (MARTINS, 2007). A Figura 11 ilustra esta primeira etapa.

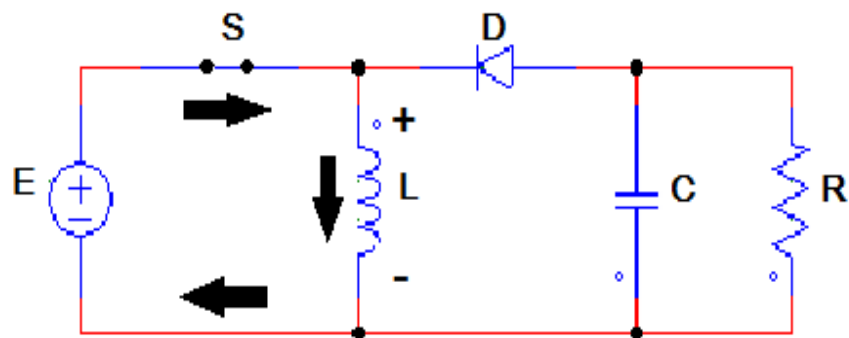


Figura 11 - Primeira Etapa de Funcionamento do Conversor
Fonte: Autoria Própria

Na segunda etapa quando o chaveamento está na posição desligada, a polaridade do indutor é invertida, e o diodo é polarizado diretamente dessa maneira a corrente acumulada no indutor na primeira etapa é transferida para carga (MARTINS, 2007). Na Figura 12 está ilustrada a segunda etapa de funcionamento do conversor.

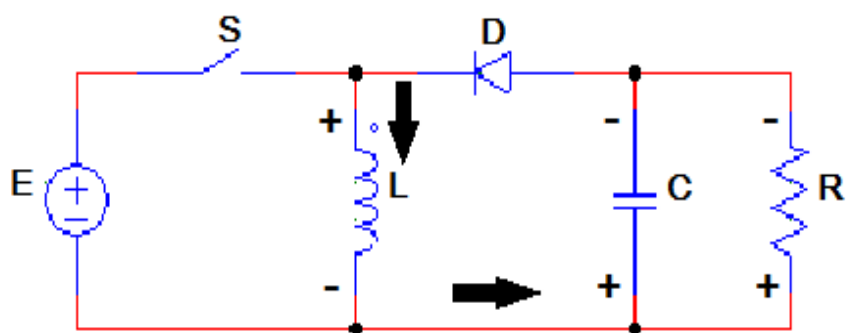


Figura 12 - Segunda Etapa de Funcionamento do Conversor
Fonte: Autoria Própria

A Equação do ganho estático do circuito está representada abaixo, ela representa a relação de tensão de saída pela tensão de entrada.

$$\frac{V}{E} = \frac{D}{1-D} \quad (9)$$

Na Figura 13 ilustra graficamente o ganho estático.

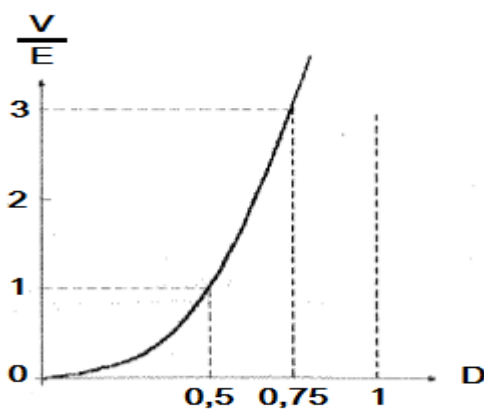


Figura 13 - Ilustração Gráfica do Ganho Estático do Conversor
Fonte: MARTINS; BARBI, 2006

A Figura acima demonstra que quando a razão cíclica é menor que 0,5 o conversor opera como *Buck* abaixando a tensão e quando a razão cíclica é maior que 0,5 o conversor opera como *Boost* elevando a tensão na saída, quando a razão

cíclica é 0,5 a tensão de entrada e tensão de saída são iguais (MARTINS; BARBI, 2006).

O conversor pode operar tanto no modo contínuo como no modo descontínuo, se a corrente no indutor chegar à zero, o modo é descontínuo, caso isso não ocorra o modo é contínuo, e está representado na Figura 14.

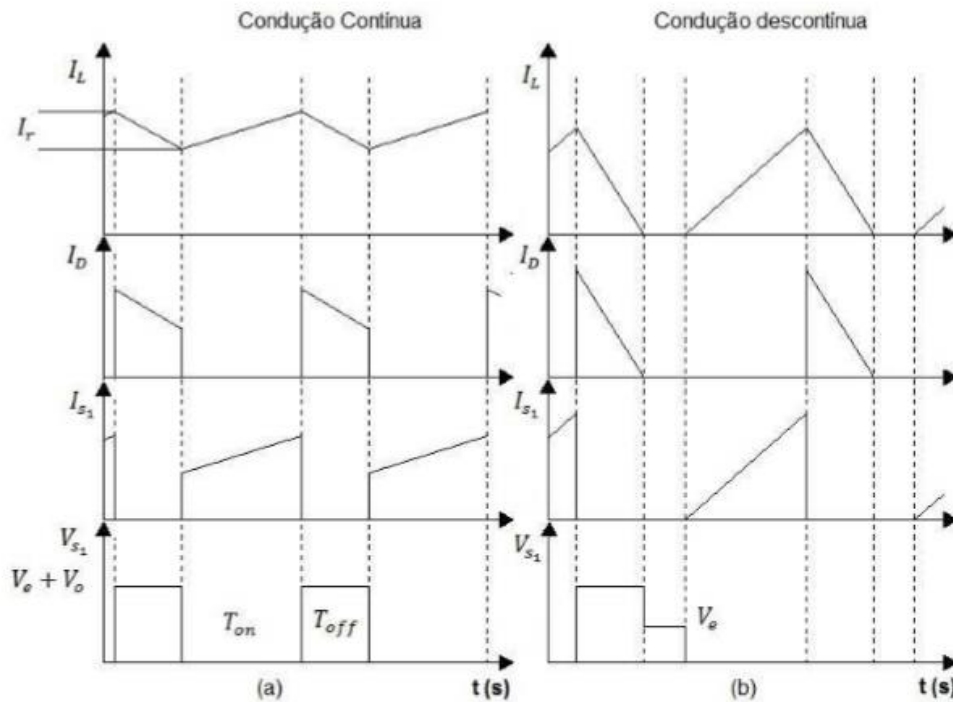


Figura 14 - Condução Contínua e Descontínua
Fonte: POMILIO, (2007)

Para o dimensionamento do conversor *Buck-Boost*, baseou-se em Martins e Barbi, (2007) e Fuser (2014). Abaixo segue o dimensionamento.

Para obtermos a razão cíclica do conversor usa-se a equação abaixo.

$$D = \frac{V}{E + V} \quad (10)$$

Pode se observar que quando a tensão de entrada for mínima a razão cíclica será a máxima e quando a tensão for máxima a razão cíclica será mínima, isto ocorrerá se a tensão na saída for constante.

A corrente média no diodo é a mesma corrente média que circula pelo indutor é calculada pela equação 11.

$$I_0 = I_{D.med} = (I_M + I_m) \times \frac{(1-D)}{2} \quad (11)$$

Para dimensionarmos a chave de potência e necessário que seja calculado a corrente máxima e mínima no indutor, pois a mesma circula pela chave, que estão representadas nas equações 12 e 13 (MARTINS; BARBI, 2006).

$$I_M = \frac{I_0}{(1-D)} + \frac{D \times E}{2 \times L \times f} \quad (12)$$

$$I_m = \frac{I_0}{(1-D)} - \frac{D \times E}{2 \times L \times f} \quad (13)$$

A tensão máxima na chave e no diodo é dada pela soma da tensão de entrada com a tensão de saída, e está representada na equação 14.

$$V_{S_{max}} = E + V \quad (14)$$

Para calcularmos o indutor e o capacitor é necessário obtermos a variação de corrente no indutor e a variação de tensão no capacitor estes equacionamentos estão representados abaixo (MARTINS; BARBI, 2006).

$$\Delta I_{ind} = \frac{D \times E}{f \times L} \quad (15)$$

$$\Delta V_C = \frac{D \times V}{f \times R \times C} \quad (16)$$

A indutância crítica é dada pela equação:

$$L_{\min} = \frac{(1-D)^2 R_c}{2f} \quad (17)$$

Sabendo que o valor do indutor é diretamente proporcional ao modo de operação, para garantirmos que ele opere em modo contínuo devemos dimensioná-lo com um valor superior a equação descrita, sabendo que a variação de indutância é proporcional a corrente no indutor, define uma aproximação pela equação:

$$L = \frac{E \times D}{\Delta I \times f} \quad (18)$$

Para calcularmos o capacitor do circuito é necessário especificar tensão de saída do circuito, deste modo podemos especificar o tamanho do capacitor pela equação:

$$C = \frac{V \times D}{f \times R \times \Delta V} \quad (19)$$

Para dimensionarmos o diodo e o interruptor de frequência de chaveamento se fazem necessários os cálculos da tensão de bloqueio obtida quando a chave está aberta bem como a corrente média e eficaz quando os mesmos estão em condução (FUSER, 2014).

4 DESENVOLVIMENTO DO CIRCUITO

4.1 DIMENSIONAMENTO DO CONVERTOR

Para dimensionarmos o primeiro circuito um conversor *Buck-Boost*, que será usado para carregar a bateria, primeiramente precisamos saber qual a tensão e potência de entrada que será obtida da placa fotovoltaica e sabendo estes dados, com a equação (3) e (10), realizamos os cálculos de corrente média na carga e também o calculo da razão cíclica.

Para sabermos a corrente total no indutor somamos a corrente da carga com a corrente no indutor. Descobrimos a corrente no indutor através da equação (5). Os dados do circuito estão representados na Tabela 2 - Dados do Circuito Buck-Boost

Tabela 2 - Dados do Circuito Buck-Boost

DADOS DO CIRCUITO				
Potência da placa	Tensão máx. gerada na placa	Corrente na carga	Corrente média no Indutor	Razão cíclica
20 W	18 V	1,428571 A	2,53	0,4375

Fonte: Autoria Própria

Foi adotada uma frequência de 40khz, tensão de saída em 14 V e a bateria como se fosse um resistor para obtermos os cálculos. A partir dos dados foram dimensionados o indutor e o capacitor através das equações (18) e (19).

Calculado a resistência, corrente máxima e mínima no indutor, considerando uma ondulação de corrente de 30% e uma ondulação de tensão na saída de 1%.

Os dados estão representados na Tabela 3.

Tabela 3 - Dados do Circuito

DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO				
Corrente máx. Indutor	Corrente mín. Indutor	Indutor	Capacitor	Resistor
2,920635 A	2,15873 A	258,4 μ H	0,0001116 F	9,8 Ω

Fonte: Autoria Própria

Após esse dimensionamento foi simulado o conversor em malha aberta em um *Software* e obtido a forma de onda de tensão na carga está representada na Figura 15.

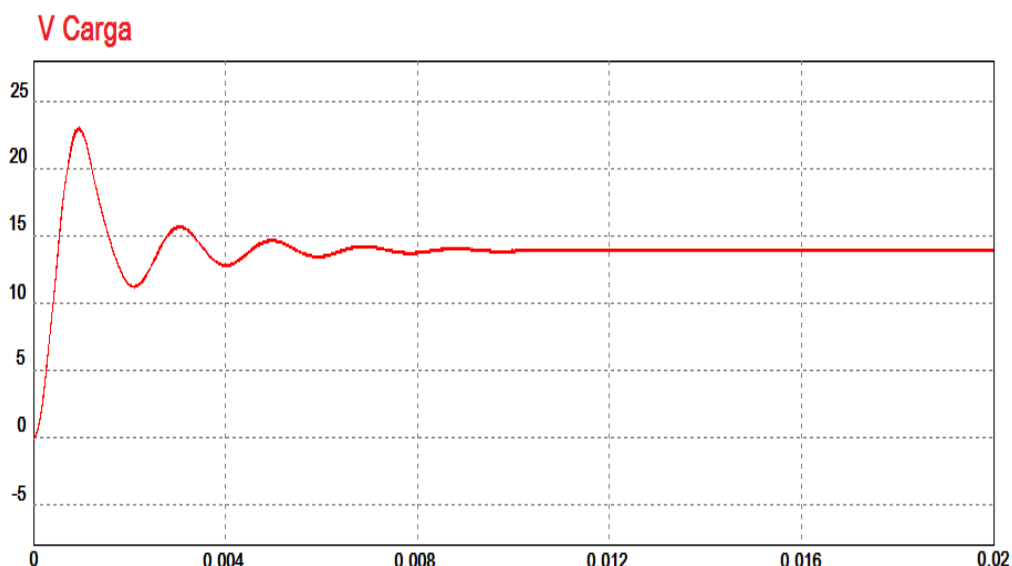


Figura 15- Tensão na Carga
Fonte: Autoria Própria

Verifica-se na Figura 15 um pico de tensão no início e depois uma estabilidade da mesma com uma mínima ondulação na saída, uma tensão praticamente contínua, onde se pode observar o papel de filtragem realizado pelo capacitor.

A ondulação de tensão na saída do circuito foi projetada para uma variação de 1% podemos analisar esta ondulação na Figura 16, onde pode se observar com clareza a pequena ondulação de tensão na saída.

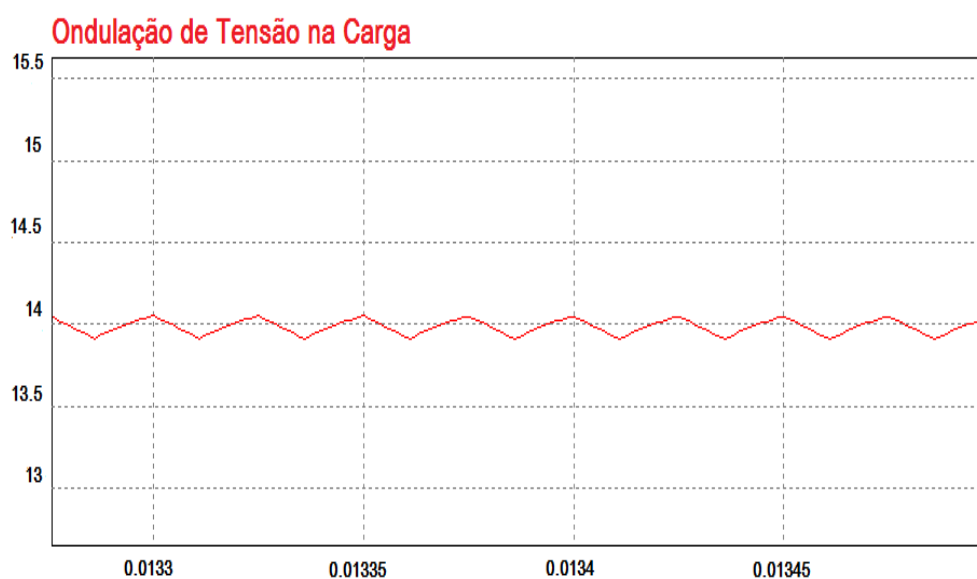


Figura 16 - Ondulação de Tensão na Carga
Fonte: Autoria Própria

Forma de onda de corrente do indutor e da carga está representada na Figura 17.

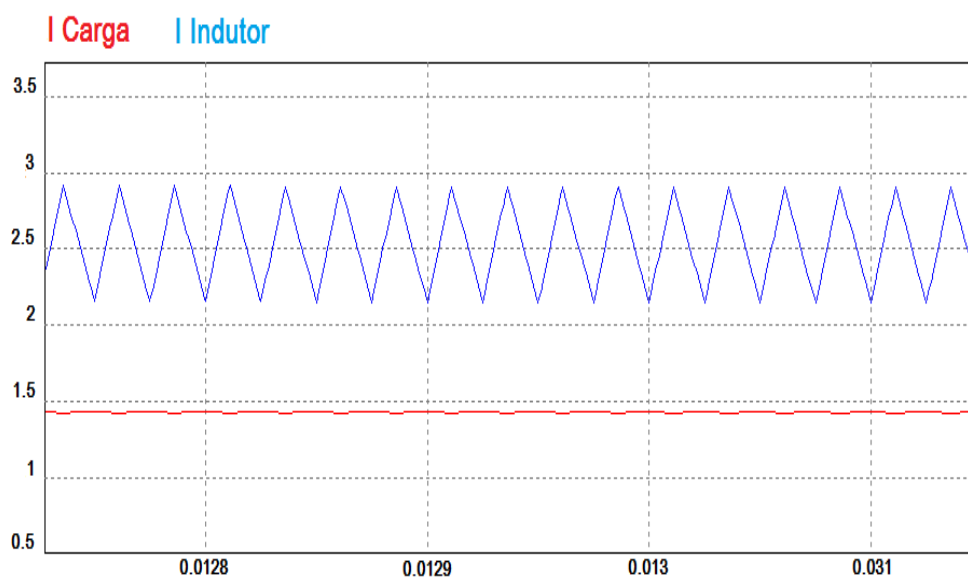


Figura 17 - Ondulação de Corrente no Indutor e na Carga
Fonte: Autoria Própria

A ondulação de corrente no indutor corresponde aos 30% que foi dimensionado para este circuito, quando a chave está conduzindo o indutor é

carregado e sua corrente aumenta chegando a sua corrente máxima, quando a chave está aberta, a corrente decresce e a energia é transferida para carga e o indutor chega a sua corrente mínima.

A Figura 18 ilustra a forma de onda de tensão na chave e no diodo, quando a chave entra em condução o diodo está bloqueado e não conduz, e quando a chave está aberta o diodo entra em condução na segunda fase de operação do conversor. A tensão máxima no diodo e na chave é o resultado da soma da tensão de entrada com a tensão de saída

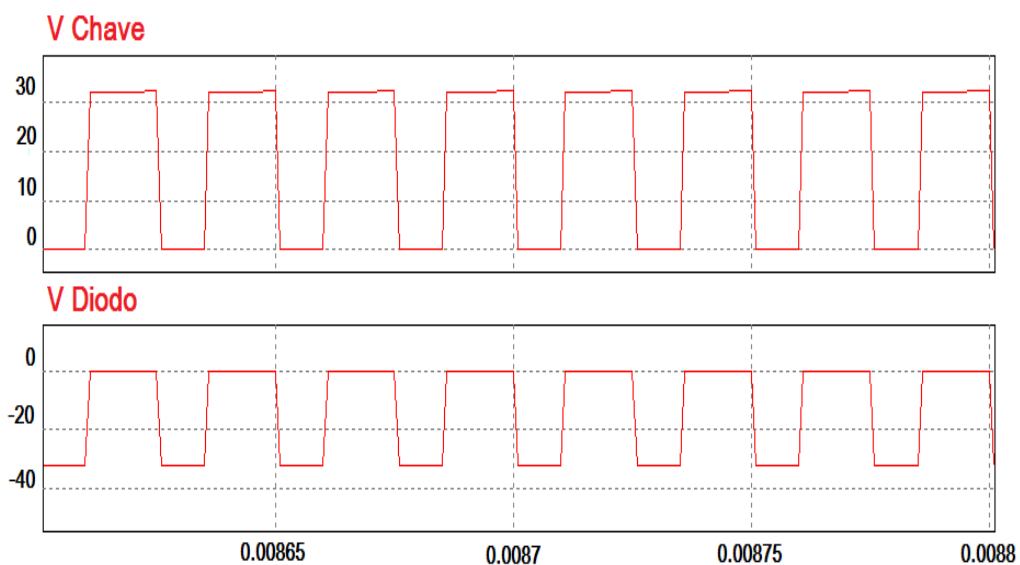


Figura 18 - Tensão na Chave e Diodo
Fonte: Autoria Própria

Também foi realizada simulação com o circuito em malha fechada, utilizado um controlador proporcional-integral (PI) com ganho empírico, tensão de saída em 14V, entrada em 18V com um afundamento de tensão de 8V.

Na Figura 19 está representada a simulação em malha fechada com um afundamento de tensão.

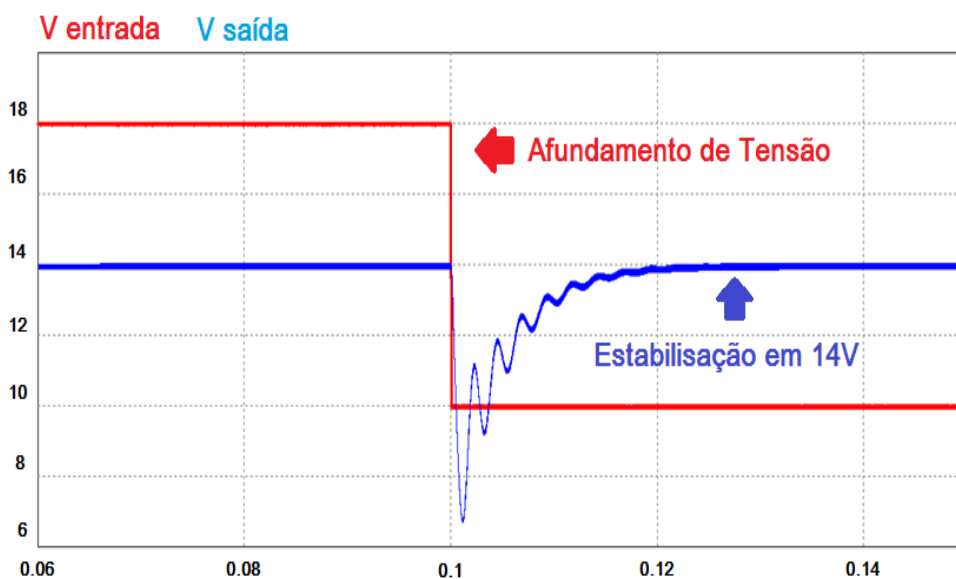


Figura 19 - Simulação em Malha Fechada
Fonte: Autoria Própria

Na Figura acima pode se analisar primeiramente o conversor operando como abaixador de tensão transformando a tensão de 18V para 14V. Após um afundamento de tensão que representa uma queda de tensão gerada na placa, simulando como se houvesse uma nuvem entre os raios do sol, o conversor começa a operar como elevador de tensão aumentando a tensão de entrada estabilizando á em 14V.

Na Tabela 4 foi realizada a comparação dos resultados dos cálculos de tensão e corrente, com os obtidos através do *Software*.

Tabela 4 - Comparação dos Cálculos com os Resultados do Software

COMPARAÇÃO DOS CÁLCULOS COM O RESULTADO DO SIMULADOR				
Método	Corrente mín Ind.	Corrente máx Ind.	Corrente na carga	Tensão na carga
Cálculo	2,15873 A	2,920635 A	1,428571 A	14 V
Simulação	2.1576249e+000	2.9161655e+000	1.4281981e+000	1.3996341e+001

Fonte: Autoria Própria

Pode se ver com clareza que a metodologia adotada foi correta, pois os cálculos matemáticos são semelhantes aos resultados obtidos pelo simulador.

4.2 MONTAGEM DO CIRCUITO

Para uma melhor estrutura de montagem do circuito o mesmo foi dividido em duas partes: Comando e potência.

No circuito de potência foi realizada uma mudança em relação à posição da chave, tal realocação foi realizada para que o *source* da chave coincida com o potencial negativo da entrada, desta maneira não é necessário um circuito auxiliar para isolamento do comando. O circuito modificado está representado na Figura 20.

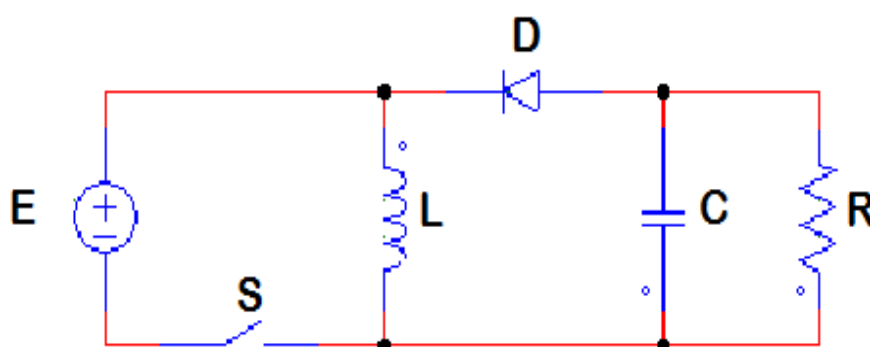


Figura 20 - Circuito Buck- Boost Modificado
Fonte: Autoria Própria

4.2.1 Circuito de Comando

Neste circuito foi utilizado um modulador controlador de largura de pulso *LM3524 (Regulating Pulse Width Modulator)*, que comanda o tempo que a chave ficara conduzindo e realiza a comparação *PWM*.

Para melhor ajuste da frequência e da razão cíclica foram utilizados dois potenciômetros, que através deles se tornou possível variar a razão cíclica e frequência em malha aberta.

Para o desenvolvimento do circuito foi utilizado o *Software* que auxilia na montagem da placa. O Circuito de comando está representado na Figura 21.

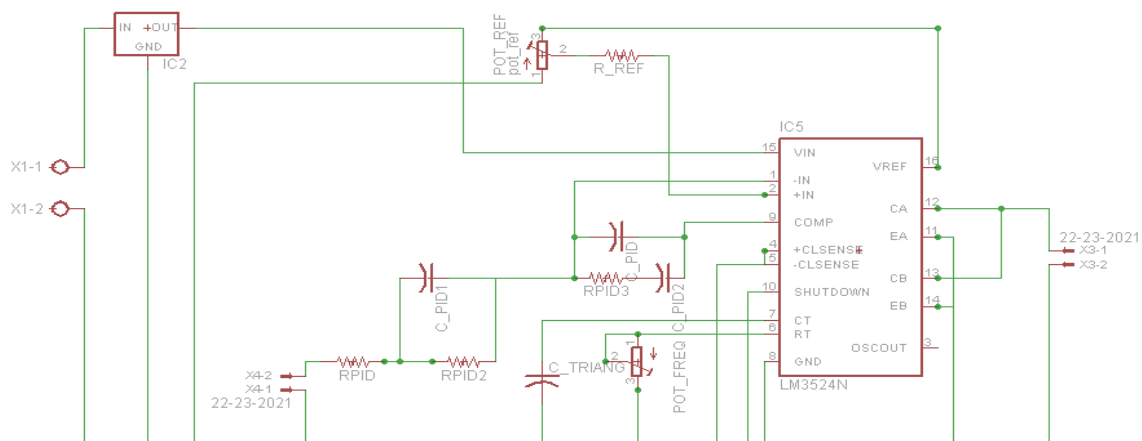


Figura 21 - Circuito de Comando
Fonte: Autoria Própria

Após a definição do circuito foi realizado roteamento do mesmo que está representado na Figura 22.

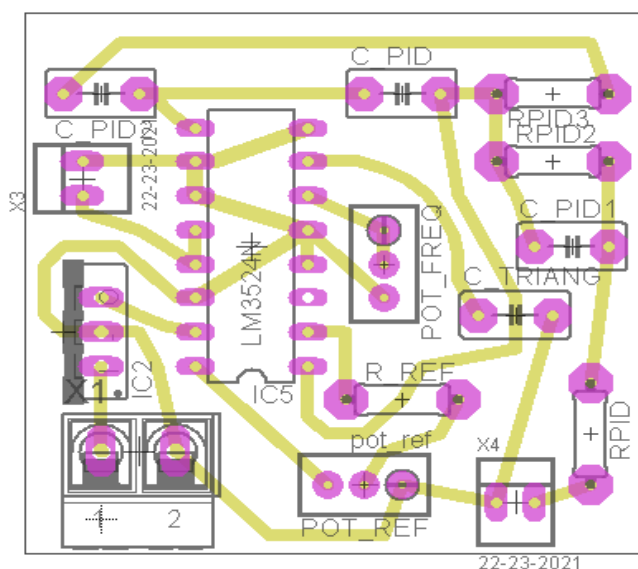


Figura 22 - Circuito de Comando Roteado
Fonte: Autoria Própria

Em seguida foi impresso o circuito em papel foto e repassado em uma placa de cobre de maneira que todas as trilhas fossem desenhadas na mesma, após foi colocado a placa em uma solução de Percloroeto, que com uma reação química o cobre se dilui, ficando somente a parte onde as trilhas estavam desenhadas.

Foram realizados furos na placa para fixação dos componentes e soldado os mesmos com estanho. A placa de comando esta representada na Figura 23.



Figura 23 - Placa de Comando
Fonte: Autoria Própria

4.2.2 Circuito de Potência

Para realizar a montagem deste circuito também foi utilizamos *Software*, o mesmo está representando na Figura 24.

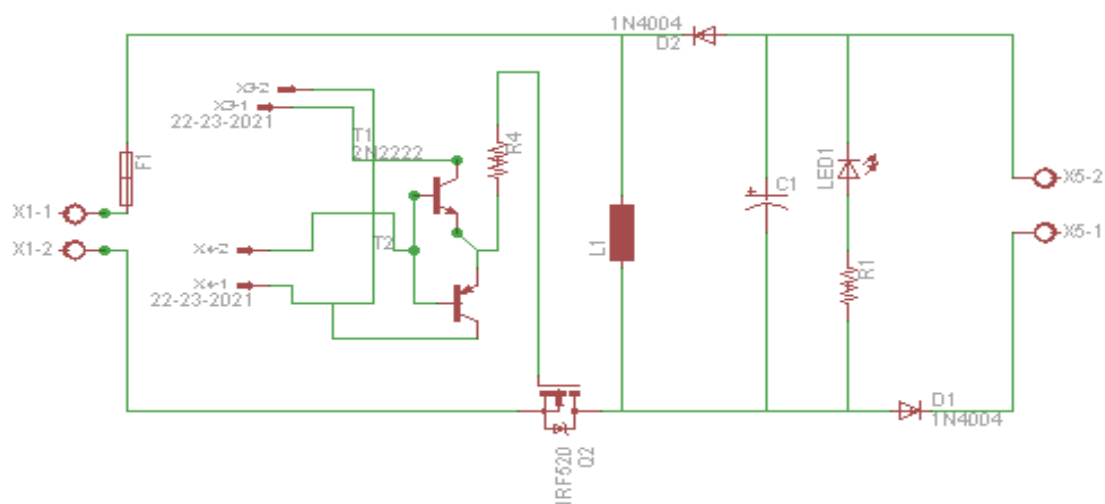


Figura 24 - Circuito de Potência
Fonte: Autoria Própria

4.2.3 Componentes do Circuito de Potência

- Fusível 3 A;
- Mosfet IRF 660;
- Diodo Mur 460;
- Indutor 258,4 μ H;
- Capacitor 220 μ F;
- LED
- Transistor PNP;
- Transistor NPN;
- Resistores.

No início do circuito foi utilizado um Fusível para proteção do sistema. A Chave escolhida para comandar a razão cíclica e a frequência de chaveamento, foi o *Mosfet IRF 660*.

Foi utilizado um diodo de alta frequência *Mur460*, devido o circuito ser dimensionado para operar em 40khz.

Para a montagem do indutor foi realizado cálculos para descobrir: quantas espiras seria necessário para a indutância de 258,4 μ H e qual seria o núcleo utilizado como também qual seria o diâmetro do fio de cobre, após estes cálculos o indutor foi montado em bancada com um núcleo E-20/10/5, com 42 duas espiras e com um fio de cobre de Bitola 21 AWG montados com 2 fios em paralelo, onde se obteve a indutância necessária para o circuito.

O Capacitor utilizado foi um de 220 μ F, com a função de realizar a filtragem na saída do circuito para que se obtenha uma tensão contínua na saída. O *LED* foi utilizado como indicação que o sistema está operando.

Os transistores foram utilizados para que fosse possível aumentar a tensão de pulso vinda do circuito de acionamento e realizar o acionamento da chave *IRF 660*.

Foi realizado o roteamento do circuito e está representado na Figura 25.

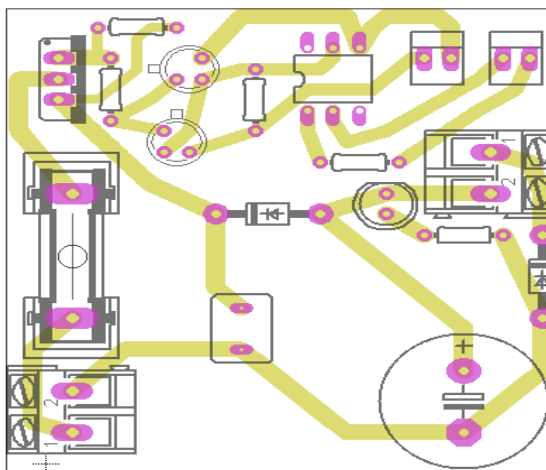


Figura 25 - Circuito de Potência Roteado
Fonte: Autoria Própria

O circuito foi impresso em papel foto e repassado para uma placa de cobre, imerso em uma solução de Percloro, de modo que todas as trilhas ficassem desenhadas na placa, realizado furação para fixação dos componentes e soldado com estanho. Na Figura 26 está representado o circuito de potência montado.

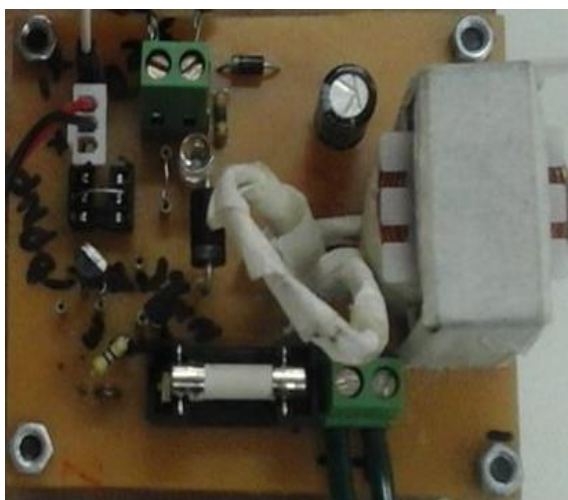


Figura 26 - Placa de Potência
Fonte: Autoria Própria

4.3 RESULTADOS

Após a montagem das placas, foram realizados testes em bancada no laboratório de eletrônica usando o osciloscópio, e uma fonte CC para simularmos a

energia gerada pela placa fotovoltaica. Na Figura 27 ilustra-se a montagem e união das placas de comando e Potência.

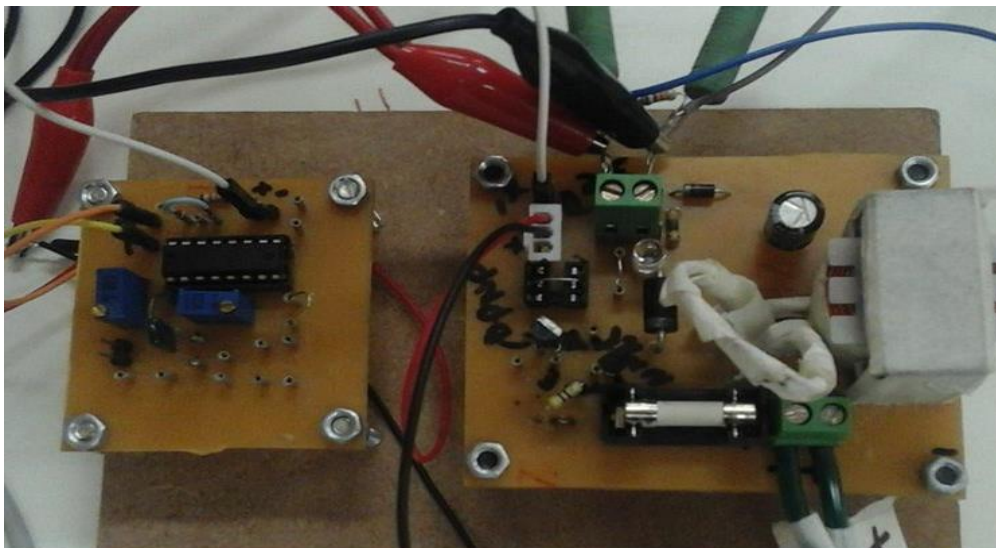


Figura 27 - Placa de Comando e Força
Fonte: Autoria Própria

Primeiramente foram realizados testes na placa de comando efetuado vários ajustes no circuito aonde o mesmo veio obter resultado satisfatório de comando de pulso na saída.

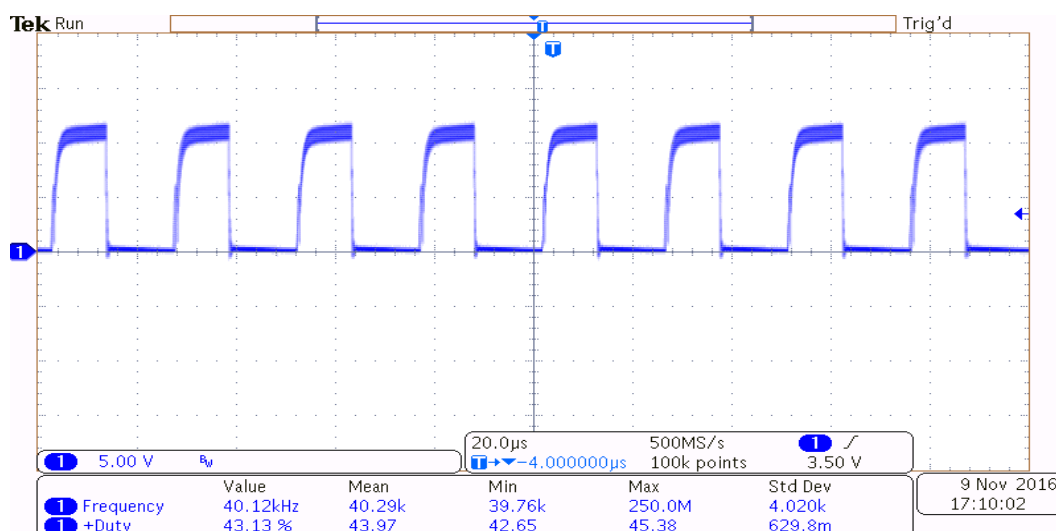


Figura 28 - Pulso de Comando
Fonte: Autoria Própria

Na Figura 28 pode se verificar que a frequência e a porcentagem da razão cíclica estão praticamente iguais as que foram dimensionadas para o circuito, estes testes foram realizados primeiramente em malha aberta.

Após a verificação do funcionamento do comando foi interligado as placas mandando o pulso de comando para a chave do circuito de potência.

Usando o osciloscópio para verificar a operação dos componentes, foram realizadas as coletas das formas de onda.

Na Figura 29 está representada a tensão entre *dreno e source* do *Mosfet*.

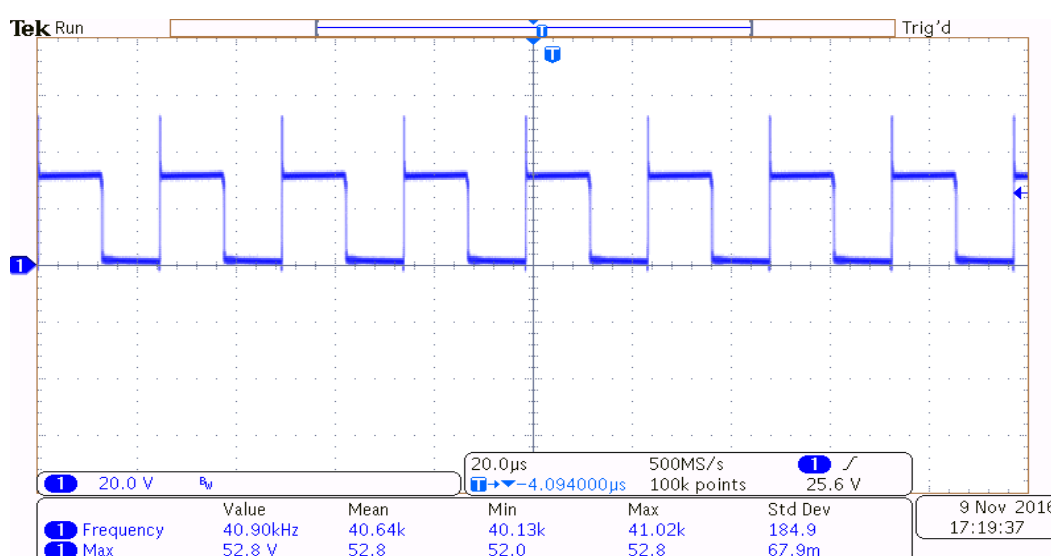


Figura 29 - Funcionamento do Mosfet IRF660
Fonte: Autorial Própria

Observa-se que a tensão sobre a chave quando a mesma está bloqueada é o somatório entre as tensões de saída e entrada.

Na Figura acima pode se ver um pico de tensão na chave devido a indutâncias parasitas presentes no circuito (trilhas, cabos, etc).

Na Figura 30 está representada forma de onda de tensão no diodo, onde pode se observar uma tensão negativa (tensão de bloqueio reverso). A tensão máxima no diodo é o resultado da somatória da tensão de entrada com a tensão de saída.

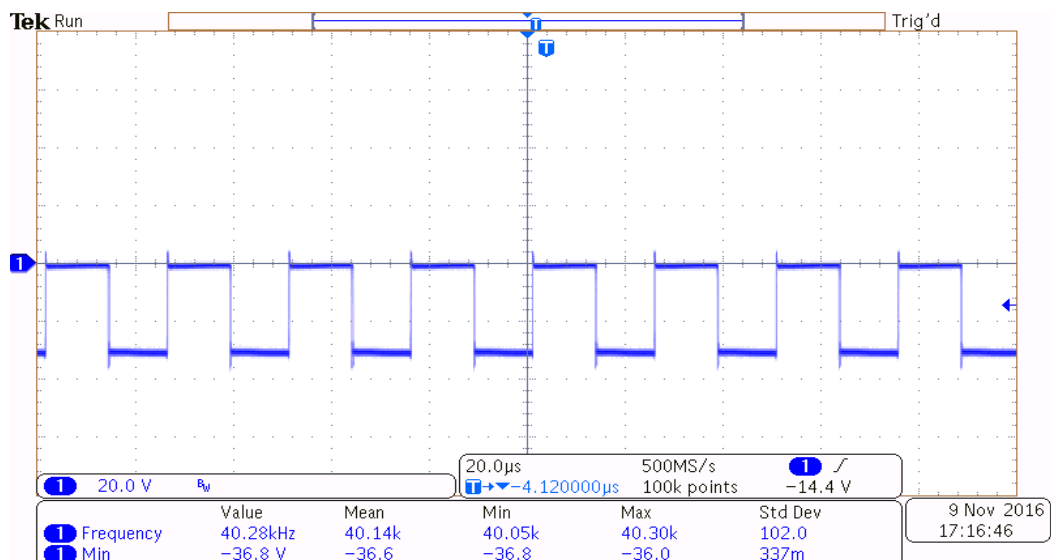


Figura 30 - Tensão no Diodo
Fonte: Autoria Própria

A corrente no indutor e a tensão de pulso realizada pelo circuito de comando estão representadas na Figura 31.

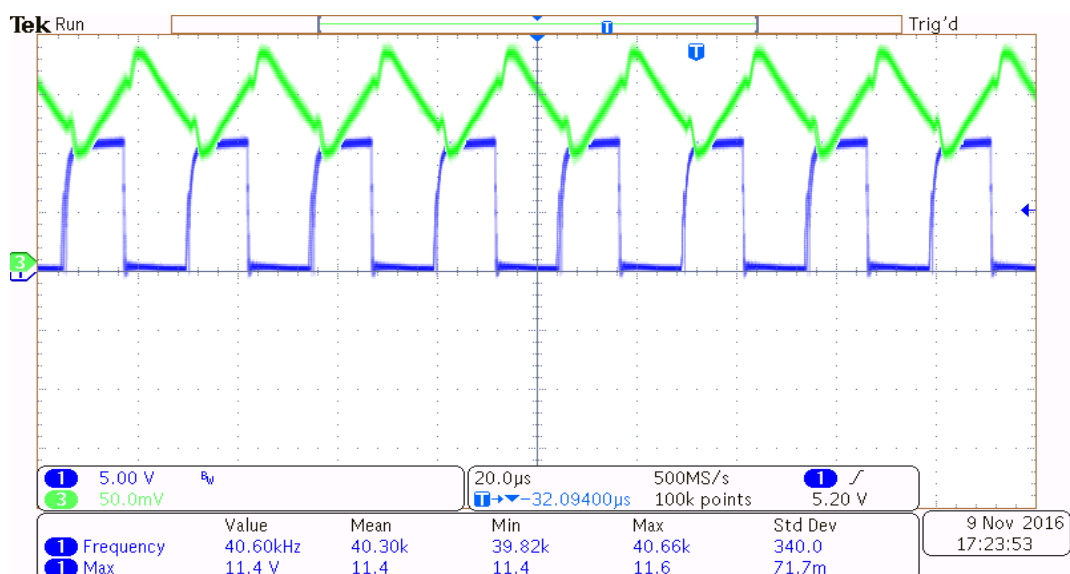


Figura 31 - Corrente no Indutor e Tensão de Pulso
Fonte: Autoria Própria.

Na Figura acima pode se ver o formato triangular da corrente no indutor, operando em modo contínuo, analisasse o comportamento da corrente em relação ao pulso de comando, quando a chave entra em condução a corrente no indutor começa a subir e a energia é armazenada no indutor, quando a chave é aberta o

indutor inicia a etapa de transferência de energia, descarregado na carga e sua corrente diminui, formando o ciclo de operação.

Na Figura 32 abaixo podemos verificar o circuito operando como conversor Buck abaixador de tensão ($D < 0,5$). A fonte tensão é usada para simular a energia gerada pela placa fotovoltaica e o multímetro está interligado na saída do circuito, demonstrando a tensão de saída.



Figura 32 - Conversor Operando como Buck

Fonte: Autoria Própria

Observa-se a tensão na fonte de 18V e a saída do circuito em 13,95V, desta maneira o conversor está operando como abaixador de tensão e a razão cíclica gerada pelo circuito de comando está abaixo de 50%, comprovando desta forma uma das funções do conversor *Buck-Boost*, que é de abaixar a tensão.

Na Figura 33 está representando o sistema operando como conversor *Boost*, de forma a aumentar a tensão de saída. Observa-se que a fonte está gerando uma tensão de 17,9V, e no multímetro está marcando a tensão de saída do circuito de 19,29V, o circuito de comando está com uma razão cíclica acima dos 50%, operando desta maneira como elevador de tensão, que também é uma das funções do conversor *Buck-Boost*.



Figura 33- Conversor Operando como Boost
Fonte: Autoria Própria

4.4 CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido objetivou demonstrar uma das possíveis formas de energia renovável através de um arranjo fotovoltaico e também tipos de placas solares e suas maneiras de ligações e o panorama de energia solar no Brasil.

Foram demonstrados os cálculos e dimensionamento de um conversor para carregar uma bateria proveniente de energia solar, como também as formas de onda de corrente e tensão do circuito.

Apresentou o desenvolvimento e a montagem de um protótipo aonde o mesmo veio a operar de maneira satisfatório comprovando a teoria na pratica.

Concluimos que através desse estudo foi realizada uma nova forma de montagem do conversor *Buck-Boost* invertendo a posição da chave, obtendo assim melhores resultados de chaveamento, corrente no indutor e tensão de saída. O trabalho proposto se demonstrou eficaz para cargas de bateria proveniente de energia solar, apresentando um melhor aproveitamento de energia devido que em dias com menos irradiação solar o conversor opera elevando a tensão e em dias com grande irradiação o conversor opera abaixando a tensão ajustando assim para carga de uma bateria.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Heberly Huiton. M de. Conversor Boost zcvr aplicado em um sistema de iluminação de emergência com led. 2011. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2011.

ANEEL, Energia Solar. 2005. Disponível em <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>. Acesso em 04 Junho 2016.

BARBI, Ivo; MARTINS, Denizar C. Conversores CC-CC básicos não isolados. Florianópolis. Editoração do Autor, 2000.

BARBI, Ivo. Modelagem de conversores cc-cc empregando modelo médio em espaço de estados. Florianópolis. Edição do autor, 2015.

COCIAN Luís F. E; SANTOS João C. V.; "Sistemas Fotovoltaicos: Uma alternativa para a geração de energia elétrica" Revista Lumière, julho de 2000.

FONSECA, Zito Palhano da. Sistema Eletrônico com elevado fator de potência de estágio único e sem capacitores eletrolíticos para acionar leds de potência. 2014. 182 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa. 2014.

FREITAS, Susana Sofia A. Dimensionamento de sistemas Fotovoltaicos. 2008. Dissertação (Mestrado Engenharia Eletrotécnica) Escola Superior de Tecnologia e Gestão - IPB, Bragança. 2008.

MARTELENTO, Douglas Coelho. Avaliação do diodo emissor de luz (led) para iluminação de interiores. 2011. 86 f. Monografia (Curso de Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica – UFRJ, Rio de Janeiro 2011.

MARTINS, Denizar C; BARBI, Ivo. Eletrônica de potência: Conversores CC-CC básicos não isolados. Florianópolis. 2ª Edição. Editoração do Autor, 2006.

MARTINS, Deivid Souza, Carregador de baterias baseado em um conversor buck para aplicação em sistemas ininterruptos de energia, Monografia da Graduação

(Engenharia Elétrica) Centro De Tecnologia Departamento De Engenharia Elétrica, Fortaleza Abril de 2012.

NASCIMENTO, Hialina Lima, Universidade Federal do Espírito Santo Centro Tecnológico Departamento de Engenharia Elétrica, Projeto de graduação conversor buck como interface entre painéis solares e banco de baterias, Vitória Espírito santo 2006.

NOVICK, Jackson M.; MARTINEZ, Rodrigo. Leds para iluminação pública. Curitiba. 2008. 9 f. Monografia (TCC Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba 2008.

PEREIRA, Carolina N. B.; MAGALHÃES, Cláudia S.; DALEPRANE, Bruno.; PEIXOTO, Rogério T.C.; FERREIRA, Raquel C.; CURY, Luiz A.; MOREIRA, Allyson N. LED and Halogen Light Transmission through a CAD/CAM Lithium Disilicate Glass-Ceramic. Vol. 26 n. 6, p. 648-653, set. 2015.

RODRIGUES, Leandro Gaspari. M de. Estudo e desenvolvimento de um conversor DC-DC de topologia buck para aplicação aeroespacial. 2007. 79 f. Monografia (Curso de Engenharia elétrica) – Escola de Engenharia de São carlos, da Universidade de são Paulo, São Carlos 2007.

SEGUEL, Julio Igor L. Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital. 2009. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte 2009.

SILVA, Carlos André Soares Costa e. M de. Conversor CC/CC para aplicação em instalação fotovoltaica. 2012. 34 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de computadores) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto 2012.

SOLAR. Disponível em: <http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em 05 Junho 2016.

SOUZA, Ronilson di. Energia Solar Fotovoltaica. Ribeirão Preto- SP, 2005.
TIEPOLO, Gerson M. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, A Energia Solar e o Potencial Fotovoltaico do Estado do Paraná, Curitiba 2015.

