

**Gilberto Ventura Chissico**

**Projecto de Dimensionamento de um conversor e inversor capazes de desenvolver uma potência monofásica de 500W, com 230 V / 50 Hz cuja a fonte primária de energia são os painéis solares.**

Monografia científica a ser apresentado ao departamento de Manutenção Industrial da Escola Superior Técnica, para obtenção do grau académico de Licenciatura, sobre a supervisão do Eng<sup>o</sup> Doglasse E. Mendonça.

**Universidade Pedagógica**

**Maputo**

**2011**

Gilberto Ventura Chissico

---

**Projecto de Dimensionamento de um conversor e inversor capazes de desenvolver uma potência monofásica de 500W, com 230 V / 50 Hz cuja fonte primária de energia são os painéis solares.**

Presidente

---

Oponente

---

Supervisor

---

Universidade Pedagógica

Maputo, 2011

## DECLARAÇÃO

Declaro que esta Monografia Científica é resultado da minha investigação pessoal e das orientações do meu supervisor, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, na bibliografia final.

Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para a obtenção de qualquer grau académico, sendo então, a sua primeira para obtenção de grau de Licenciatura.

Maputo, 2011

**O Autor:**

---

**DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a minha querida Mãe que me trouxe ao mundo, pelo apoio  
Que me concedeu e por ter me inspirado, a todos que têm me acompanhado e apoiado  
Na minha vida estudantil. A todos os colegas da ESTEC, especialmente os do Ensino  
De Electrónica, de forma mais abrangente a todos os Professores de UP em especial da  
ESTEC. As escolas em que fiz as minhas práticas por me terem bem tratado e facilitado a  
Minha formação prática.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela saúde e disposição para aprender coisas novas que mantive ao longo destes anos de estudo na ESTEC.

O meu agradecimento muito especial vai ao meu supervisor, pela disponibilidade, orientação e críticas construtivas que sem as quais este Projecto de Curso não seria possível.

Agradeço também aos diferentes colegas que ao longo do trabalho deram dicas e sugestões que certamente melhoraram o trabalho.

A todas as pessoas singulares ligadas a instituições que foram alvo de consulta por minha parte, também vai o meu “Muito Obrigado”.

E, por último lugar, sem no entanto ser de menor importância, o meu “Khanimambo” vai a meus pais, irmãos, familiares e todos os amigos cuja convivência durante este semestre me ajudaram a “manter os pés sobre a terra”.

*Our deepest fear is not that we are inadequate*

*Our deepest fear is that we are powerful beyond measure*

*(extracto do livro de Marianne Williamson*

*A Return To Love: Reflections on the Principles of A Course in Miracles)*

## RESUMO

Pretende-se com a realização deste projecto implementar parte de um sistema alimentação a energia solar capaz de desenvolver uma potência monofásica de 500W, com 230V/50Hz. O estudo a efectuar se focará no desenvolvimento dos sistemas de controlo, monitorização e de potência de um conjunto conversor CC/CC/CA, cuja fonte primária de energia são os painéis solares. Pretende-se ainda os desenvolvimentos de modelos conversor CC/CC e conversor CC/CA, Simulação dos modelos desenvolvidos e a Implementação e teste do conversor CC/CC elevador (step-up).

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Célula voltaica	[14]
Figura 2: Configuração do Sistema Fotovoltaico	[17]
Figura 3: Módulo Fotovoltaico	[17]
Figura 4: Característica da Corrente versus Tensão do módulo fotovoltaico KC120-1 com a variação da temperatura	[19]
Figura5:Diagrama de blocos do conversor CC/CC elevador (step-up)	[19]
Figura 8: Esquema simplificado do andar de potência do step-up com o bloco do circuito da <i>drive</i> incluído	[21]
Figura 9: Conversor CC/CC	[22]
Figura 10: Forma de onda (Dente de serra)	[23]
Figura 11: Conversor cc/cc elevador (step-up)	[24]
Figura 12: Conversor cc/cc elevador (step-up)	[25]
Figura 13: Tensão e corrente na bobina em condução contínua. Podemos verificar, como fica o circuito, dependendo do estado em que se encontra	[27]
Figura 14: Circuito resultante para o interruptor em condução.(Estado ON)	[29]
Figura 15: Forma de onda resultante do interruptor (Quadrática)	[29]
Figura 16: Tensão e corrente na bobina no limite da condução contínua	[30]
Figura 17:Forma de onda da análise do conversor (Triângular)	[31]
Figura 18-Limite da condução contínua	[31]
Figura 19-Características de saída em condução contínua e descontínua	[32]
Figura 20-Condução descontínua (por redução de $P_o$ )	[32]
Figura 21-Característica real de saída de um conversor elevador	[33]

Figura 22-Ondulação da tensão de saída de um conversor CC/CC elevador	[33]
Figura 23: Andar de potência do step-up	[34]
Figura 24- Ilustração da razão de conversão de tensão no estado permanente	[34]
Figura 25 - No “CCM PWM switch model”	[35]
Figura 26: Inversor de ponte-completa	[37]
Figura 27-Modelo da simulação do conversor CC/CC em malha aberta	[38]
Figura 28-Forma de onda da entrada ( $V_d=34V$ ) e de saída ( $V_o=360V_0$ )	[38]
Figura 29- Forma de onda da corrente da bobina	[38]
Figura 30- Forma de onda da entrada ( $V_d$ ) e de saída ( $V_o$ )	[38]
Figura 31- Corrente na bobina ( $I_L$ )- A corrente na bobina em regime transitório anula-se (condução descontínua)	[39]
Figura 32 Corrente na Carga	[39]
Figura 33- Corrente na bobina ( $I_L$ )- A corrente na bobina em regime transitório anula-se(condução descontínua)	[39]
Figura 34- Corrente na Carga	[39]
Figura 35- Conversor CC/CC elevador (step-up)	[41]
Figura 36-Conversor CC/CC: diagrama, com o interruptor <i>on</i> e com o transistor	[41]
Figura37: Para o interruptor <i>on</i>	[41]
Figura38: Para o interruptor <i>off</i>	[41]
Figura 39- Lugar de raízes da função transferência em malha aberta	[42]
Figura 40:Saída da função transferência em malha aberta em resposta	[42]
Figura 41: Lugar de raízes, módulo e fase do sistema CG	[44]
Fiura 42: Diagrama de blocos do sistema	[44]
Figura 43:Resposta do sistema a um degrau	[45]



Figura 44: Circuito de potência	[46]
Figura 45: Circuito de comando e controlo	[47]
Figura 46: Circuito de potência	[48]
Figura 47: <i>Drive</i> do MOSFET	[49]
Figura 48-Resposta do conversor a um degrau	[49]
Figura 49- Tensão de saída do conversor CC/CC	[50]
Figura 50: Baterias	[51]
Figura 51- Circuito geral de bateria	[52]
Figura 52- Circuitos equivalente de uma bateria	[52]
Figura 53: Circuito De Comando E Controlo	[53]
Figura 54: Comando do inversor	[55]
Figura 55: Circuito de gerador de funções	[56]
Figura 56: Comparador de ondas	[57]
Figura 57: Gerador de PWM	[57]
Figura 58: Protector de circuito comparador de onda	[58]
Figura 59: Drive do MOSFET	[59]
Figura 60: Inversor de ponte completa	[60]
Figura 61: <i>Circuito Drive</i>	[60]
Figura 62- Modelo de simulação do inversor em malha aberta	[61]
Figura 63- Forma de onda da tensão de entrada ( $V_{cc/cc}$ ) tensão esta gerada do conversor CC/CC e da tensão de saída do inversor ( $V_O$ )	[61]
Figura 64- Forma de onda da corrente na carga ( $i_{carga}$ )	[61]
Figura 65- Modelo de simulação do sistema em malha aberta	[62]
Figura 66: Forma de onda da tensão de saída ( $V_d$ )	[62]

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Representa as dimensões do painel fotovoltaico	[21]
Tabela 2: Preço real dos componentes	[64]
Tabela 3: Características dos inversores	[67]

**LISTA DE ABREVIATURAS**

A	Ámpere
AC	Corrente Alternada
C <sub>1</sub>	Capacitancia de sobretensão;
C <sub>b</sub>	Capacitancia da bateria
CC/CC	Conversor corrente continua para corrente continua
CC/CC/CA	Conversor corrente continua para corrente alternada
CC/CA	Conversor corrente continua para corrente alternada
CSI	Inversor da corrente
DC	Corrente Directa
D	Diodo
FT	Função de transferência
FM	Modulação por frequência
Hp	Rendimento do painel
Hz	Hertz
I <sub>b</sub>	Corrente da bateria
IL	Corrente que passa no indutor
I <sub>d</sub>	Corrente que passa pelo diodo
I <sub>p</sub>	Corrente paralela
nF	Nano - Faraday
MOSFET	Transistor efeito de campo
MT	Meticais
PWM	Modulação por largura de pulso
P <sub>p</sub>	Potência do pico no painel
R <sub>c1</sub>	Resistência de carga para sobretensão
R <sub>d1</sub>	Resistência de descarga para sobretensão
R <sub>p</sub>	Resistência de autodescarga
R <sub>sc</sub>	Resistência interna para carga
R <sub>sd</sub>	Resistência interna para descarga
UP	Univrsidade Pedagógica

$V_b$	Tensão da bateria
$V_{oc}$	Tensão de circuito aberto
$V_d$	Tensão que passa pelo diodo
$V$	Volt
VSI	Inversor de Tensão
$V_{GS}$	Tensão da fonte
$V_{cc}$	Tensão de curto circuito
KWh	KiloWatt-hora
W	Watt

<b>SUMARIO</b>	<b>PAG.</b>
CAPÍTULO I : INTRODUÇÃO.....	3
1.1– Introdução.....	3
1.2.1. Objectivos Gerais: .....	4
1.3- Problematização .....	4
1.3.1 – Justificativa.....	4
1.4.1-Hipóteses .....	5
CAPITULO II- METODOLOGIA DE TRABALHO E REVISÃO DA LITERATURA.....	6
2.1. Metodologia de trabalho.....	6
2.1.2.Tipo de pesquisa .....	6
2.2.Refêrências Teóricas Relevantes para a Compreensão do Projecto .....	7
2.2.1.Características Eléctricas .....	13
3.1.PWM ( Modulação por Largura de Impulso ).....	17
3.4-Análise do conversor cc/cc elevador (step-up) no modo de condução contínua .....	21
3.4.1.Análise do Conversor Cc/Cc Elevador (Step-Up) no Limite da Condução Contínua .....	23
3.4.2.Análise do Conversor Cc/Cc Elevador (Step-Up) no Modo de Condução Descontínua .....	23
3.6.Efeito de Elementos Parasitas.....	25
3.5.1.Ondulação Da Tensão De Saída.....	26
O valor relativo da ondulação:.....	26
3.8. INVERSOR .....	27
CAPITULO IV: SIMULAÇÃO .....	30
4.1.Malha aberta.....	30
4.2.Método de Controlo – Linearização.....	32
4.2.1. Obtenção da função de transferência Para o Conversor Cc/Cc Elevador (Step-Up) em Condução Contínua .....	32
4.2.1.Modelização do controlador do andar do (Step- Up) .....	34
CAPITULO V: IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÓMICA.....	37
5.1.Circuito de Potência.....	37
5.2.Circuito de comando e controlo.....	37
5.2.1.Resultados Experimentais.....	40
5.3.Banco de Baterias .....	42

5.3.1.Circuito De Comando E Controlo.....	44
5.4. Drives .....	50
5.5.1.MALHA ABERTA .....	51
5.6.Simulação do Sistema.....	53
5.6.1.MALHA ABERTA.....	53
5.7. Orçamento .....	54
CAPITULO VI- CONCLUSÕES.....	56
ANEXOS .....	58

## **CAPÍTULO I : INTRODUÇÃO**

### **1.1– Introdução**

A conversão de energia solar em energia eléctrica foi verificada pela primeira vez por Edmond Becquerel, em 1839 onde constatou uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semiconductor quando exposto luz. Em 1876 foi montado o primeiro sistema foto voltaico resultado de estudos das estruturas no estado sólido, e apenas em 1956 se iniciou a produção industrial seguindo do micro electrónico.

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios do novo milénio. E quando se fala em energia, deve-se lembrar que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia. Noutras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas da energia do Sol.

É a partir da energia do Sol que se dá a evaporação, origem do ciclo da água possibilita o armazenamento e a conseqüente produção de eletricidade. A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, causando os ventos. Petróleo, carvão e gás natural foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais que, originalmente, obtiveram a energia necessária ao seu desenvolvimento, da radiação solar.

Este projecto, está dividido em 6 (seis) capítulos. O Capítulo I, que compreende esta breve introdução, a apresentação dos objectivos e da justificativa para a realização deste trabalho.

No capítuloII, Metodologia do trabalho e a revisão da literatura para melhor compreensão do projecto.

No capítulo III, compreende a definição e a escolha dos componentes do sistema.

No capítulo IV Compreende a simulação dos circuitos do projecto.

No capítulo V, é implementada o circuito e a viabilidade económica do mesmo.

No capítulo VI são apresentadas as conclusões, indicando se os objectivos propostos foram atingidos e, também são apresentadas as recomendações deste trabalho e a bibliografia consultada.

## 1.2.OBJECTIVOS

### 1.2.1. Objectivos Gerais:

- ✓ Implementação de um sistema de alimentação a energia solar capaz de desenvolver uma potência monofásica de 500W, com 230V/50Hz cuja fonte primária de energia são os painéis solares.

### 1.2.2 .Objectivos específicos

- ✓ Projecto de um conversor CC/CC elevador (step-up);
- ✓ Projecto de um inversor CC/CA;
- ✓ Simulação dos modelos desenvolvidos;
- ✓ Implementação e teste do conversor CC/CC elevador (step-up).

## 1.3- Problematização

Muitos distritos do nosso país não beneficiam da energia de Cahora Bassa o que contribui deste modo para o fraco desenvolvimento desses distritos em particular e do país em geral .O alto custo de transporte de energia da Cahora Bassa para essas zonas tem dificultado na resolução desse problema .A energia solar que permite a electrificação de zonas isoladas a um custo inferior ao dos sistemas clássicos, evitando assim a instalação de redes de transporte de electricidade.

### 1.3.1 – Justificativa

A escolha do tema é feita sob a motivação de despertar o governo e o mundo empresarial para o uso de energia solar que apresenta menores custos, não gera poluição nem contaminação ambiental, é resistente as condições climáticas como granizo, vento, temperaturas húmidas e é renovável, e permite o fornecimento de energia em certas zonas isoladas a um custo inferior ao dos sistemas clássicos. Outro factor que levou a o desenvolvimento do tema é o objectivo de responder as necessidades do país, que uma das quais é formar indivíduos habilitados no saber fazer, não só como também pode de certa forma contribuir para iniciativas empresarias “ o empreendedorismo”.

## 1.4-Questões científicas

1. Porquê o país não aposta em uso de energias renováveis para a produção da energia.
2. Porquê as empresas, agricultores e a população no nosso país so utilizam as energias hídricas e combustíveis fósseis no desenvolvimento das suas actividades quando há possibilidades de usar energias renováveis.

### 1.4.1-Hipóteses

Segundo ALMEIDA & FERREIRA (2000, P.43), há que fazer a confirmação ou negar uma suposição levantada. Onde a suposição para eles é uma confirmação categórica, que tente responder ao problema levantado no tema escolhido para o estudo. Para o estudo tinha se como pré-solução dos problemas levantados as seguintes:

H<sub>0</sub>: Falta de empresas qualificadas na área quer na venda quer na montagem do sistema.

H<sub>1</sub>: Falta de conhecimentos pelos estudantes das universidades de engenharia do país;

H<sub>0</sub>: Há uma tendência de resistência quando o assunto é ser pioneiro no uso de recursos renováveis no país.

H<sub>1</sub>: O custo dos sistemas fotovoltaicos são muito elevados no nosso país.



## CAPITULO II- METODOLOGIA DE TRABALHO E REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. Metodologia de trabalho

A metodologia é uma minuciosa, detalhada, rigorosa e exacta de toda acção desenvolvida no caminho método do trabalho de pesquisa LAKATOS & MARCONI (2005). A concretização deste trabalho foi possível obedecendo as seguintes metodologias.

*Pesquisa bibliográfica:* a medida que o trabalho busca explorar diferentes métodos de produção de energias renováveis das vantagens e desvantagens principais métodos de calculos e esquematização de sistemas fotovoltaicos, o que tornou possível com a consulta de livro, revistas, e o uso das novas tecnologias como a Internet, por estes serem um dos métodos vantajosos e mais comum para a obtenção de informação.

*Trabalho de campo:* que consiste principalmente na observação dos sistemas fotovoltaicos e também recorreu se aos dados fornecidos pelo FUNAE sobre o estudo de viabilidade de implementação destes sistemas e as regiões adequadas.

#### 2.1.2. Tipo de pesquisa

Segundo o preconizado por HUSSER, citado por LAKARTO (2000 ), quando se fez a descrição directa da experiência tal como ela e, isto é, realidade construída socialmente e entendida como o compreendido, interpretado e comunicado. Então, a realidade não é única. Existem tantas quantas forem as suas interpretações e comunicações. Para dizer que o estudo foi feito recorrendo a método científico fenomenológico.o estudo foi, sob ponto de vista da natureza para uma aplicação prática na resolução do problema específico, uma pesquisa aplicada, trazendo realidade e interesses locais.Segundo LEWIS TROUSE( 1984) , citado por MACAMO (2003).

Devido a interpretação dos fenômenos e a atribuição de significativos constitui a base sob ponto de vista da abordagem do problema uma pesquisa qualitativa.

Os objectivos da pesquisa exigiam a identificação dos factores que determinam a ocorrência dos fenômenos, aprofundar o conhecimento da realidade explicando a razão do porquê das coisas. Por isso, foi necessário recorrer se durante o estudo a pesquisa explicativa.e sobre o ponto de vista dos procedimentos técnicos a pesquisa e experimental uma vez determinado o objectivo de estudo.

### **2.1.3- Técnica para a pesquisa**

A pesquisa foi realizada por um pesquisador (Autor ) dai que recorreu se a observação individual com maior técnica de colecta de dados sobre os sistemas fotovoltaicos .Então, a observação e o questionario constituiram instrumentos primários de colecta de dados.A observação qualitativa teve como objectivo verificar a possibilidade e mecanismo de produção da energia eléctrica usando energia solar.

Com base no conhecimento obtido nos longos anos de aprendizado na ESTEC, aliado a uma investigação centrada nas mais recentes tecnologias do ramo da electrótecnica, é possível resolver os mais variados problemas da nossa sociedade, melhorando o estilo de vida do moçambicano comum, como é o caso do acesso a técnicas de informação e comunicação.Obdecendo se as normas pre estabelecidas na UP redigiu se a presente Monografia Científica.

## **2.2.Refêrencias Teóricas Relevantes para a Compreensão do Projecto**

### **Processos de conversão da energia solar**

- 1) Conversão de energia solar em energia eléctrica
- 2) Conversão de energia solar em energia térmica
- 3) Conversão de energia solar em energia mecânica

#### **1) Conversão da energia solar em energia eléctrica, ela pode ser:**

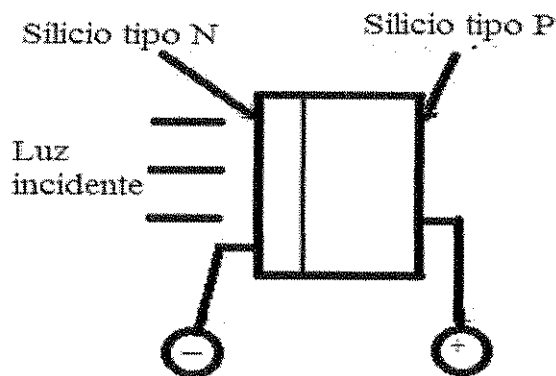
- ✓ Directa
- ✓ Indirecta

A captação da energia eléctrica é realizada durante o dia com o auxílio de módulos foto voltaicos (placas de vidro e silício com durabilidade de mais de 20 anos) conforme a informação fornecido pela entidade produtora, e armazenada em acumuladores. As instalações já realizadas em aproveitamentos solares deste tipo incluem módulos de células foto voltaicas associados a um banco de acumuladores constituindo um elemento de armazenamento da energia produzida para regularizar o abastecimento conseguido, tendo em conta os períodos de ausência de Sol.Nas localidades que não possuem electricidade, onde não existe um sistema de rede, simplesmente para economizar electricidade convencional ou em casos específicos de potência reduzida, vários os sítios onde podemos aplicar estes módulos.Temos como exemplo: iluminação, bombagem, irrigação, sinalização rodoviária e marítima, sistema de

som, televisor comunitário, sistema de rádio, telefonia celular, alimentação de faróis, telefones de urgência nas auto-estradas, entre outras. A conversão indirecta da energia solar em energia eléctrica é realizada nas centrais onde se está perante uma produção centralizada.

**Efeito fotovoltaico Segundo** (James Russell,;2010,pagina 2á7),

Os módulos são compostos de células solares desilício. Elas são semicondutoras de electricidade porque o silício é um material com características intermédias entre um condutor e um isolante. O silício apresenta-se normalmente como areia. Através de métodos adequados, obtém-se o silício em forma pura. O cristal de silício puro não possui electrões livres e portanto é um mau condutor eléctrico. Para alterar isto acrescentam-se percentagens de outros elementos. Este processo denomina-se dopagem. Mediante a dopagem do silício com o fósforo, obtém-se um material com electrões livres ou material com portadores de carga negativa (silício tipo N). Realizando o mesmo processo, mas acrescentando Boro ao em vez de fósforo, obtém-se um material com características inversas, ou seja, défice de electrões ou material com cargas positivas livres (silício tipo P). Cada célula solar compõe-se de uma camada fina de material tipo N e outra com maior espessura de material tipo P (ver Figura 1). Separadamente, ambas as capas são electricamente neutras. Mas ao serem unidas, exactamente



**Figura 1-Célula voltaica** (Fonte: [http://www.Solar Trough Power Plants \(PDF\)](http://www.Solar Trough Power Plants (PDF))).

na união P-N, gera-se um campo eléctrico devido aos electrões do silício tipo N que ocupam os vazios da estrutura do silício tipo P.

Ao incidir a luz sobre a célula foto voltaica, os fotões que a integram chocam-se com os electrões da estrutura do silício dando-lhes energia e transformando-os em condutores. Devido ao campo eléctrico gerado na união P-N, os electrões são orientados e fluem da camada

"P" para a camada "N". Por meio de um condutor externo, liga-se a camada negativa à positiva. Gera-se assim um fluxo de electrões (corrente eléctrica) na ligação. Enquanto a luz continua a incidir na célula, o fluxo de electrões manter-se-á. A intensidade da corrente gerada variará proporcionalmente conforme a intensidade da luz incidente. Cada módulo foto voltaico é formado por uma determinada quantidade de células ligadas em série. Como se viu anteriormente, ao unir-se a camada negativa de uma célula com a positiva da seguinte, os electrões fluem através dos condutores de uma célula para a outra. Este fluxo repete-se até chegar à última célula do módulo, da qual fluem para o acumulador. Cada electrão que abandona o módulo é substituído por outro que regressa do acumulador ou da bateria. O cabo da inter ligação entre módulo e bateria contem o fluxo, de modo que quando um electrão abandona a última célula do módulo e se encaminha para a bateria outro electrão entra na primeira célula a partir da bateria. É por isso que, se considera inesgotável um dispositivo fotovoltaico. Produz energia eléctrica em resposta à energia luminosa que entra no mesmo. Deve-se esclarecer que uma célula foto voltaica não pode armazenar energia eléctrica.

#### **Tipos de células** Segundo (John Wiley & Sons 1995, pagina 30á40)

As células foto voltaicas são fabricadas, na sua grande maioria, usando o silício (Si) e podendo ser constituída de cristais mono cristalinos, poli cristalinos ou de silício amorfo.

**Silício mono cristalino:** Estas células obtêm-se a partir de barras cilíndricas de silício mono cristalino produzidas em fornos especiais. As células são obtidas por corte das barras em forma de pastilhas quadradas finas (0,4-0,5 mm de espessura). A sua eficiência na conversão de luz solar em electricidade é superior a 12%;

**Silício policristalino:** Estas células são produzidas a partir de blocos de silício obtidos por fusão de bocados de silício puro em moldes especiais. Uma vez nos moldes, o silício a rrefece lentamente e, solidifica--se. Neste processo, os átomos não se organizam num único cristal. Forma-se uma estrutura poli cristalina com superfícies de separação entre os cristais. A sua eficiência na conversão de luz solar em electricidade é ligeiramente de silício mono cristalino;

**Silício amorfo:** Estas células são obtidas por meio da deposição de camadas muito finas de silício sobre superfícies de vidro ou metal. A sua eficiência na conversão de luz solar em electricidade varia entre 5% .

## **Vantagens e desvantagens da energia solar**

### **Vantagens:**

- ✓ Não polui nem contamina ambiental;
- ✓ Não é ruidoso;
- ✓ Tem uma vida útil superior a 20 anos;
- ✓ É resistente a condições climáticas extremas (granizo, vento, temperatura e humidade);
- ✓ Permite aumentar a potência instalada por meio da incorporação de módulos adicionais ;
- ✓ É periódica;
- ✓ Eternamente renovável.
- ✓ Difusa;
- ✓ Permite o fornecimento de energia em certas zonas isoladas a um custo inferior ao dos sistemas clássicos, evitando assim a instalação de redes de transporte de electricidade.

### **Desvantagens:**

- ✓ Fornecimento irregular de energia que exige sistemas de acumulação de energia (baterias no caso de sistemas foto voltaicos);
- ✓ A área requerida para sistemas de aproveitamento de energia solar pode ser relativamente grande o que limita a sua utilização;
- ✓ Os sistemas foto voltaicos apresentam por kWh de energia produzida custos elevados (cerca de 6 a 20 vezes o custo do kWh dos sistemas convencionais ).

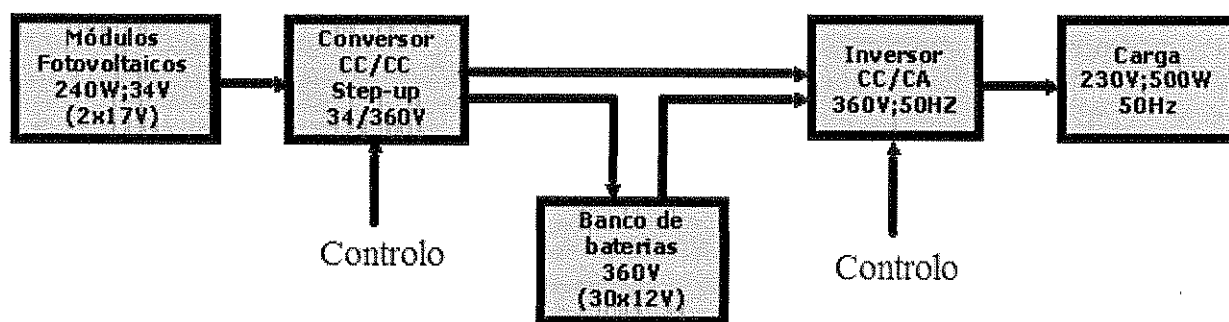
### **Principais aplicações de sistemas fotovoltaicos (REN21 (2008), pagina 15á16)**

O desenvolvimento deste tipo de sistemas iniciou-se com o objectivo de alimentar unidades autónomas para aplicações espaciais, e, em particular, dos satélites artificiais terrestres.

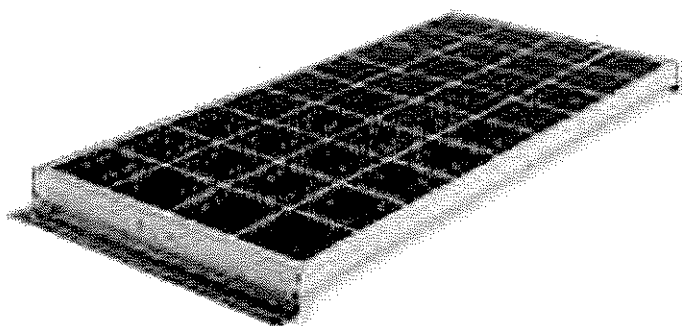
Actualmente, os sistemas foto voltaicos são utilizados essencialmente em locais isolados, onde outros tipos de produção clássicos são muito caros e onde são exigidos sistemas silenciosos e não poluidores.

De um modo geral, os sistemas foto voltaicos são utilizados nas seguintes situações:

- **Electrificação rural** com sistemas individuais ou em mini-rede;
- **Bombagem de água** (irrigação e abastecimento);
- **Sistemas de telecomunicações**: retransmissores de TV, telemóveis e rádio;
- **Sinalização ferroviária** (passagens de nível);
- **Sinalização marítima** (bóias, faróis);
- **Sinalização nas estradas** (Sinais de aviso de perigo: existência de gelo, escola);
- **Telefones SOS** nas estradas;
- **Aplicações de micro-potência** (relógios, calculadoras).



**Figura 2:** Configuração do Sistema Fotovoltaico (Fonte: REN21 (2008))



**Figura 3:** Módulo Fotovoltaico (Fonte: REN21 (2008))

### **Principais componentes dos sistemas fotovoltaicos (REN21 (2008), pagina 51)**

**Gerador fotovoltaico:** constituído por um dado número de módulos, que produz energia eléctrica em corrente contínua (idêntica à de uma bateria de automóvel), com uma dada tensão nominal de saída. Neste tipo de gerador a corrente produzida varia proporcionalmente com a radiação solar incidente nos módulos, e a tensão varia proporcionalmente à temperatura;

**Regulador de carga: (conversor CC/CC)** do banco de baterias que evita a sobrecarga ou descarga profunda das baterias, de modo a aumentar o seu tempo de vida;

**Banco de baterias** (acumuladores electroquímicos): com uma dada autonomia para armazenar a energia fotovoltaica produzida durante o dia de modo a esta estar disponível para utilização durante a noite;

**Inversor:** Que converte a Corrente Contínua (CC), proveniente do gerador fotovoltaico ou do banco de baterias, em Corrente Alternada (CA) a 230V .

### **Eficiência dos sistemas fotovoltaicos:**

A eficiência de um sistema fotovoltaico depende: da eficiência dos vários componentes do sistema, da forma como se interligam e se coordenam entre si e, ainda do tipo de cargas que o sistema pretende alimentar.

### **Perdas e rendimento:**

O **rendimento do painel** depende da radiação solar, da temperatura, da tensão e da sujidade do painel. O valor nominal do rendimento é fornecido pelos fabricantes. Caso não seja fornecido directamente pode ser deduzido a partir da potência de pico e da área do painel. A potência de pico é a máxima potência que o painel consegue debitar em condições de teste standard.

$$hp = 100 * Pp / A$$

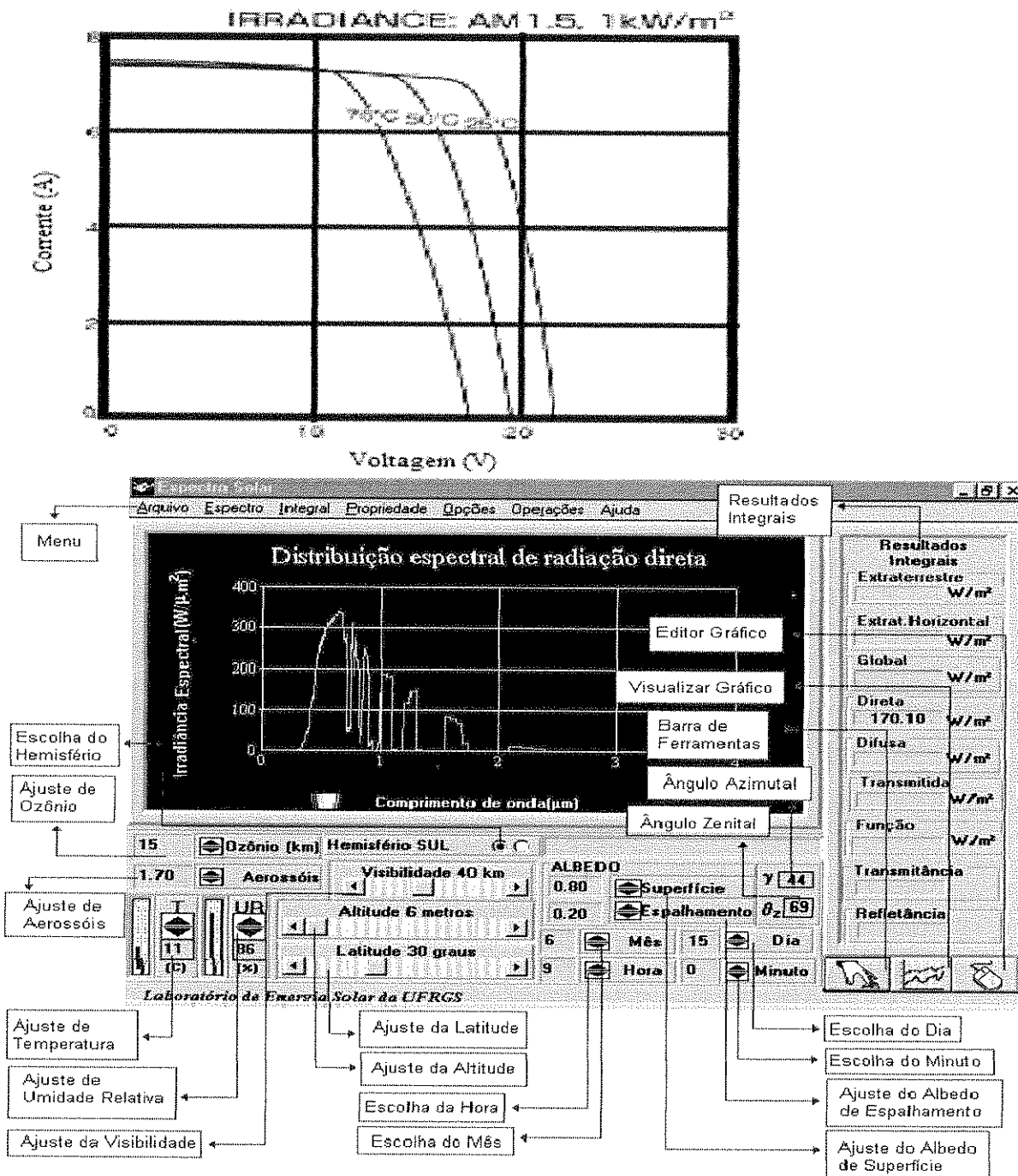
O rendimento e a potência de pico devem ser calculadas para as condições STC (standard test conditions) radiação solar de 1kW/m<sup>2</sup> e a uma temperatura de 25C.

As **perdas na bateria** são devidas essencialmente a dois factores: auto descarga da bateria e nível de tensão demasiado alto, impedindo que o painel esteja no seu ponto de funcionamento de máxima potência. Para corrigir este último tipo de perdas deve proceder-

se a um correcto dimensionamento do conversor CC/CC.

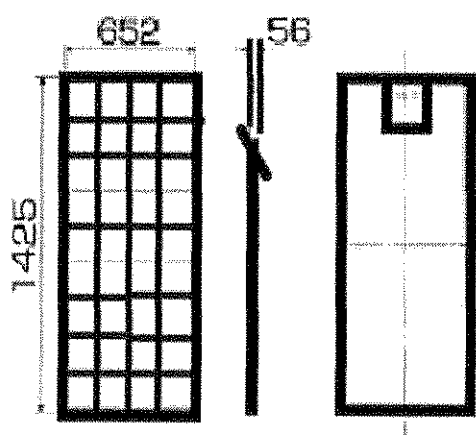
As perdas do inversor dependem da magnitude e das características da carga que está a alimentar, sendo estas perdas aproximadamente 10% do valor na carga.

### 2.2.1. Características Eléctricas



**Figura 4:** Característica da Corrente versus Tensão do módulo fotovoltaico KC120-1 com a variação da temperatura. (Fonte: REN21 (2009)).



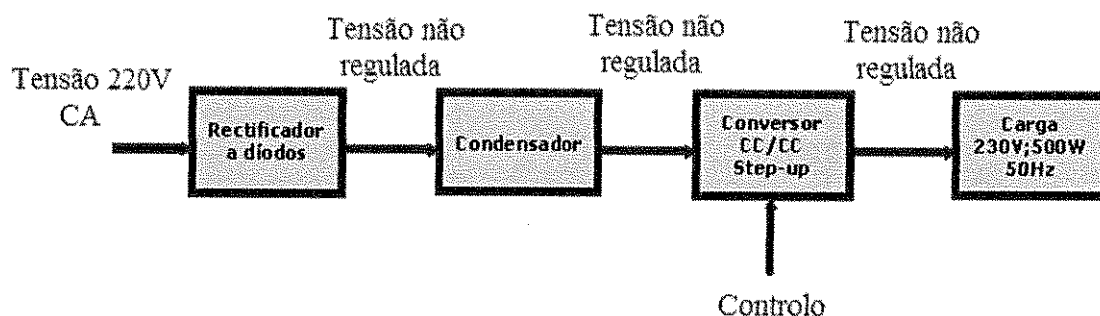


MODELO	KC120-
Potência máxima	120Wp
Tensão máxima	16.9 V
Corrente à potência máxima	7.10 A
Altura	1425mm
Largura	652mm
Espessura	52mm
Peso	11.9kg

**Tabela1:**Representa as dimensões do painel fotovoltaico (Fonte: REN21 (2009))

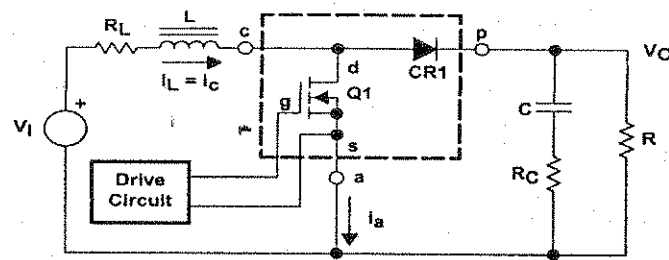
### CAPITULO III : DEFINIÇÃO E ESCOLHA DOS COMPONENTES DO SISTEMA

Os conversores são amplamente utilizados para controlo de guindastes marinhos, transportadores de minas, tracção de motores de automóveis eléctricos. Eles fornecem controlo de aceleração suave, alta eficiência e resposta dinâmica rápida. Os conversores podem ser usados na frenagem regenerativa de máquinas de corrente contínua, para devolver energia à fonte de alimentação, e essa característica resulta em economia de energia para sistemas de transporte com paragens frequentes. Os conversores são usados em reguladores de tensão CC e também como indutor para gerar uma fonte de corrente CC, especialmente para os inversores do tipo fonte de corrente. Um circuito comutado de potência consiste num andar de potência e num circuito de controlo. O andar de potência executa a básica conversão de potência da tensão da entrada para a tensão de saída e inclui os interruptores e o filtro de saída. Esta conversão é condicionada pelo circuito de controlo. Nos conversores CC/CC podemos obter à saída um determinado valor de tensão controlada, a partir de uma tensão de entrada não controlada. Os três circuitos básicos de comutação de potência de uso comum são o step-down (buck), o step-up (boost) e o buck-boost. Estas topologias são, não isoladas, isto é, a entrada e a saída de tensão partilham uma massa comum. Relativamente a este trabalho, apenas falaremos do step – up, uma vez que vai ser o circuito utilizado. Esta topologia de potência refere como os interruptores, a bobina de entrada e o condensador de saída são ligados. O step-up é uma topologia não isolada, que se utiliza quando se pretende que a tensão de saída seja maior que a tensão de entrada; a tensão de saída apresenta a mesma polaridade e não é isolada da tensão de entrada.



**Figura 5-**Diagrama de blocos do conversor CC/CC elevador (step-up) (Fonte: REN21 (2008))

A corrente de entrada do andar de potência do step-up é contínua, ou não pulsatória, porque a corrente de entrada é a mesma que a corrente na bobina. no entanto, a corrente de saída para o andar de potência é descontínua, ou pulsatória, uma vez que o diodo de saída só conduz durante uma parte do ciclo de comutação. O condensador de saída fornece por inteiro a corrente na carga para o resto do ciclo. Este texto descreve o modo de operação em regime permanente e mostra as formas de onda ideais do step-up nos modos de condução contínua e descontínua. A função de transferência da tensão de saída/duty-cycle é dada usando o “PWM switch model”.



**Figura 6**-Esquema simplificado do andar de potência do step-up com o bloco do circuito da *drive* incluído. (Fonte: [www.Solar Trough Power Plants](http://www.Solar Trough Power Plants) (PDF)).

### Funcionamento

O interruptor de potência  $Q_1$  é um MOSFET de canal n. O diodo de saída é  $CR_1$ . A bobina  $L$  e o condensador  $C$  são efectivamente o filtro de saída. A resistência equivalente do condensador (ESR),  $R_C$ , e a resistência DC da bobina,  $R_L$ , são incluídos na análise que se segue. A resistência  $R$  representa a carga vista pela saída do andar de potência.

Durante o funcionamento normal do step-up,  $Q_1$  repetidamente posto a conduzir (ON) e ao corte (OFF), durante respectivamente o tempo ON e o tempo OFF governado pelo circuito de controlo a frequência de comutação cria um train de impulsos na junção de  $Q_1$ ,  $CR_1$  e  $L$ .

### 3.1.PWM ( Modulação por Largura de Impulso )

Nos conversores CC/CC (choppers), a saída média de deve ser controlada para igualar um nível desejado, mesmo que a tensão de entrada e a carga na saída fltuem.Num conversor CC/CC com uma dada tensão de entrada, a saída média é controlada através da duração de condução e bloqueio da posição do interruptor ( $t_{on}$  e  $t_{off}$ ).Um dos métodos de controle da tensão de saída implica a comutação de  $t_{on}$  para  $t_{off}$  a uma frequência constante ( $t_s = t_{on} + t_{off}$ ) e ajusta-se o tempo em que o interruptor está on para controlar a tensão média de saída. Este método é chamado Modulação por Largura de Pulso - PWM. O outro método de controlo é mais geral, onde tanto a frequência de comutação (e portanto, o período), como o tempo de condução são alterados. Este método é utilizado apenas em conversores dc -dc com um certo tipo de tiristores (*force-commutated thyristors*). A variação da frequência de comutação faz com que seja difícil filtrar os componentes ripple nas formas de onde de entrada e saída do conversor. Este método é chamado de Modulação por Frequência - FM. No conversor PWM, comutado a uma frequência constante, o sinal de controlo do estado (*on* e *off* ) é gerado comparando-se uma tensão de controlo com uma forma de onda repetitiva (dente de serra). A tensão de controlo geralmente é obtida amplificando-se um erro, ou a diferença entre a saída actual e a de referência.

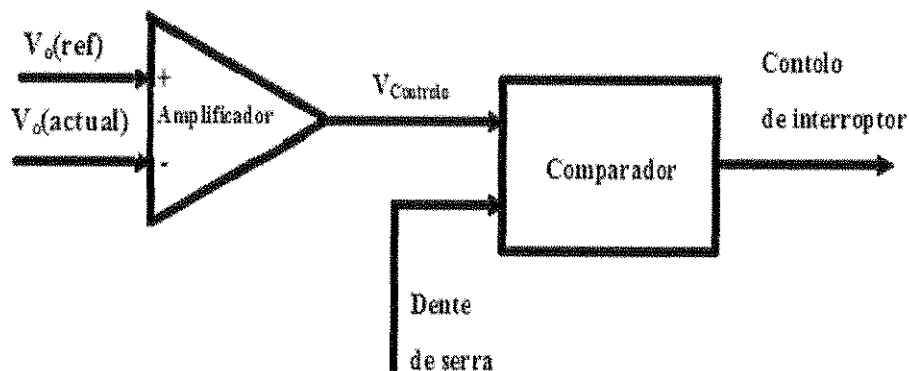
A frequência da forma de onda repetitiva estabelece a frequência de comutação. Ela é mantida constante no PWM, e varia entre alguns kilohertz até algumas centenas de kilohertz.

Quando o sinal de erro amplificado, (que varia muito lentamente em relação à frequência de comutação), é maior que a forma de onda de referência (tensão de controlo), o interruptor é fechado, passando a conduzir.

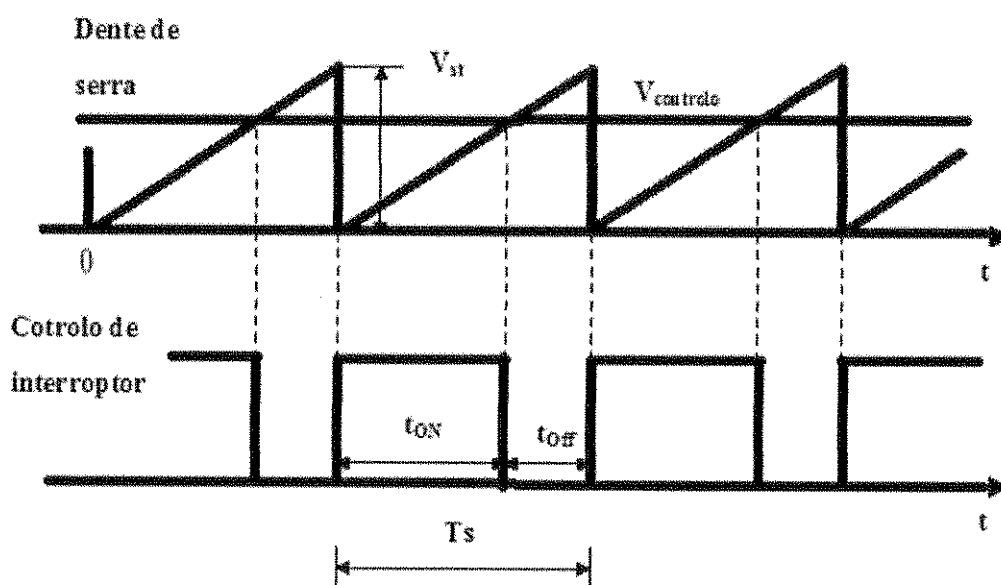
O duty cycle é dado pela seguinte formula:

$$D = \frac{T_{ON}}{T_s}$$

Os conversores CC/CC podem ter dois modos distintos de operação: modo contínuo e condução no modo descontínuo. Na prática, um conversor pode operar nos dois modos,



**Figura 7:** Conversor CC/CC (Fonte: <http://www.h2brasil.com/energia-renovável.php>.)



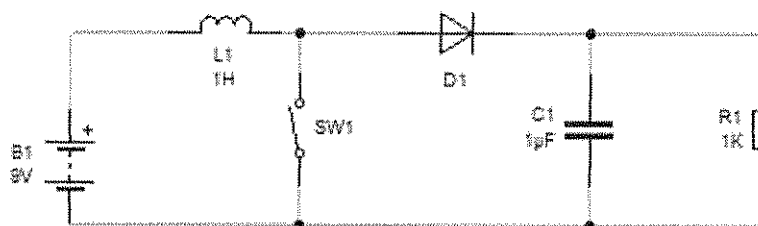
**Figura 8:** Forma de onda (Dente de serra). (Fonte: <http://www.h2brasil.com/energia-renovável.php>.)

que possuem características muito diferentes. Portanto, o conversor e o seu controlo são projectados com base nos dois modos de operação.

### 3.2. Princípio da Operação do Conversor /CC Elevador (Step-Up).

Um conversor CC/CC (chopper) pode ser utilizado para elevar uma tensão CC e um circuito para essa operação elevadora é mostrado na figura que se segue. Quando o interruptor é fechado por um tempo  $t_1$ , a corrente no indutor  $L$  cresce e é armazenada energia nele. Se o interruptor for aberto pelo tempo  $t_2$ , a energia armazenada no indutor será transferida para a carga através do

díodo  $D$  e a corrente no indutor acaba por descer.



**Figura 9-** Conversor cc/cc elevador (step-up) (Fonte: Taylor R. H., (1983.)

Se um condensador grande  $C$  é ligado em paralelo com a carga, como é mostrado na figura, a tensão de saída será contínua e  $v_o$  será o valor médio. A tensão sobre a carga pode ser elevada, variando-se o ciclo de trabalho.

### 3.2.1. Parâmetros de Performance

Os dispositivos semicondutores de potência requerem um tempo mínimo para entrar em condução e em corte. Portanto, o ciclo de trabalho  $k$  pode ser controlável apenas entre um valor mínimo  $k_{\min}$  e o máximo  $k_{\max}$ , limitando desta maneira os valores máximo e mínimo da tensão de saída. A frequência de comutação do chopper também é limitada. A ondulação da corrente de carga depende inversamente da frequência de operação do conversor CC/CC  $f_s$ . A frequência deve ter um valor o mais elevado possível para reduzir a ondulação da corrente de carga e minimizar o tamanho de qualquer indutor adicional em série, no circuito da carga.

### 3.3. Análise do andar de potência do step-up em regime permanente

Um andar de potência pode operar no modo contínuo ou no modo descontínuo. No modo de condução contínuo, a corrente circula continuamente na bobina  $L$  durante o ciclo do interruptor no estado permanente. Durante o modo descontínuo, a corrente na bobina é zero durante uma parte do ciclo do interruptor. A corrente começa em zero, atinge o seu valor de pico e retorna a zero ainda durante esse ciclo. É desejável para o andar de potência fique somente num modo de condução durante as condições de funcionamento requeridas, porque a resposta em frequência muda significativamente entre os dois modos de condução (contínuo- descontínuo). Um primeiro critério de escolha do interruptor é o dos limites de tensão e de corrente. Os MOSFET possuem uma faixa mais reduzida de valores, ficando, tipicamente entre: 100V/200A e 1000V/20A. Já os TBP e IGBT atingem potências mais elevadas, indo até 1200V/500A. Tais limites, e o especialmente para os IGBTs têm se ampliado

rapidamente em função do intenso trabalho de desenvolvimento que tem sido realizado. Como o accionamento do IGBT é muito mais fácil do que o do TBP, e o seu uso tem sido crescente, em detrimento dos TBP. Outro importante critério para a selecção, refere-se às perdas de potência no componente. Assim, em aplicações em alta frequência (acima de 50kHz) devem ser utilizados MOSFETs.

É usado um MOSFET de potência de canal n, e uma tensão positiva  $V_{GS}$  (ON) é aplicada entre a *gate* e a *source* do interruptor pelo circuito da *drive* para colocar no modo de condução ON o referido MOSFET.

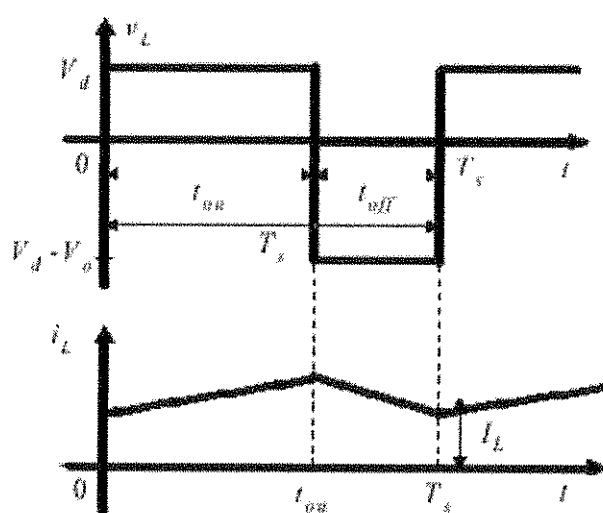
#### **Estado OFF:**

Quando o interruptor não se encontra a conduzir, este representa uma grande impedância (“drain-source”). Logo como a corrente na bobina não pode mudar instantaneamente, a corrente deixa de passar pelo interruptor e começa a flutuar pelo diodo. Devido a isto a corrente  $I_L$  decresce e a tensão na bobina inverte de polaridade até que o diodo D comece a conduzir. A tensão aplicada ao lado esquerdo de L fica  $(V_i - R_L I_L)$ . A tensão aplicada ao lado direito de L é agora a tensão de saída,  $V_o$  mais a tensão do diodo  $V_d$ . Durante o estado OFF do interruptor, a tensão na bobina é constante e por conseguinte é igual a  $(V_o + V_d + R_L I_L) - V_i$ . Mantendo a mesma convenção esta tensão é negativa. A corrente na bobina  $I_L$  decresce durante o estado OFF.

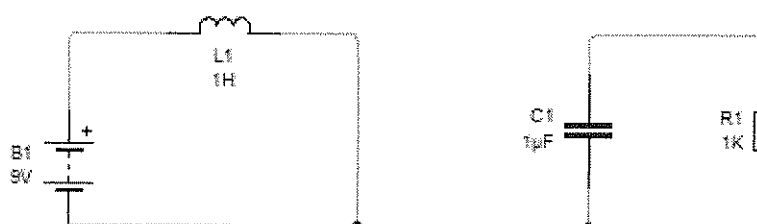
### 3.4-Análise do conversor cc/cc elevador (step-up) no modo de condução contínua

O resultado principal a reter é a relação de conversão de tensão para o modo de condução contínuo. Este resultado é importante uma vez que, mostra a maneira como a tensão de saída  $V_0$  depende do duty-cycle e da tensão de entrada.

Durante o modo de condução contínuo o step-up assume dois estados por ciclo. No estado ON, o interruptor está a conduzir e o diodo D não. No estado de condução OFF, o referido interruptor não conduz e o diodo D conduz, tal como foi referido anteriormente.

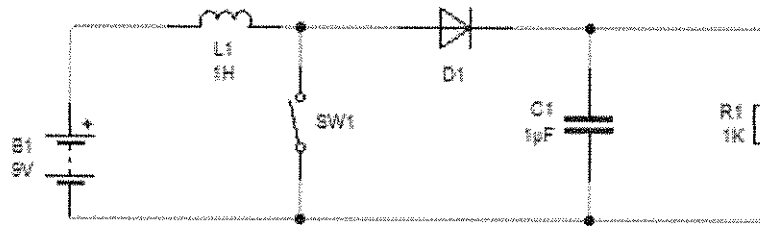


**Figura 11**-Tensão e corrente na bobina em condução contínua. Podemos verificar, como fica o circuito, dependendo do estado em que se encontra. (Fonte: Taylor R. H., (1983.)



**Figura 12**-Circuito resultante para o interruptor em condução.(Estado ON) (Fonte: Taylor R. H., (1983.)



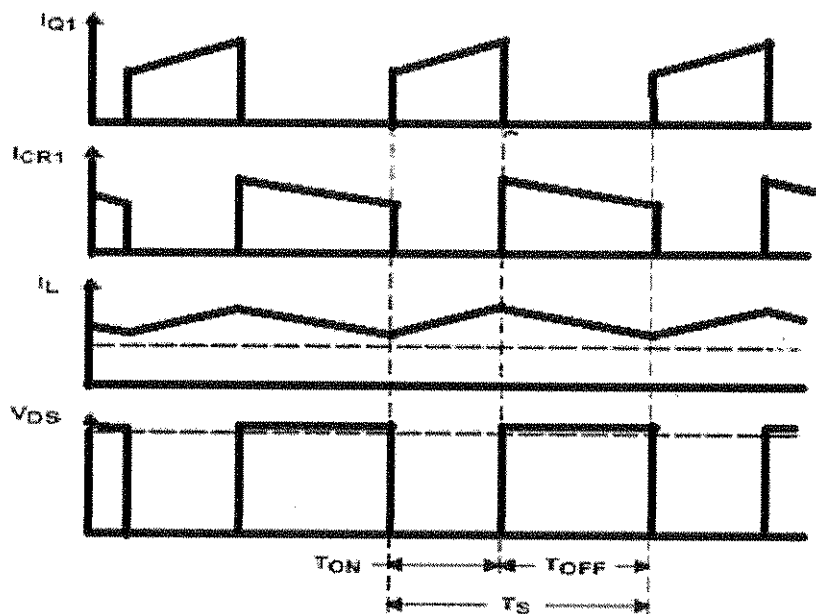


**Figura 13-**Circuito resultante para o interruptor fora de condução.(Estado OFF) (fonte:Philip Krein 1991)

O tempo de duração do estado ON (  $T_{ON} = D \cdot T_S$  ), onde  $D$  é o *duty-cycle* imposto pelo circuito de comando e controlo. A duração do estado OFF é  $T_{OFF}$  .

De referir que:  $T_{OFF} = (1-D) \cdot T_S$  ,  $T_S = T_{ON} + T_{OFF} = T_S$  .

Estes tempos são evidenciados nas formas de onda da figura seguinte.



**Figura 14:**Forma de onda resultante do interruptor (Quadrática) (fonte:Philip Krein 1991)

### Estado ON:

Durante o estado ON a tensão é igual a  $V_i - (V_{DS} + R_L \cdot I_L)$ , onde  $V_{DS}$  é a queda de tensão no MOSFET (ON) e  $R_L \cdot I_L$  a queda de tensão na bobina  $L$ . Uma vez que o diodo  $D$  se encontra polarizado inversamente, não vai conduzir neste estado.

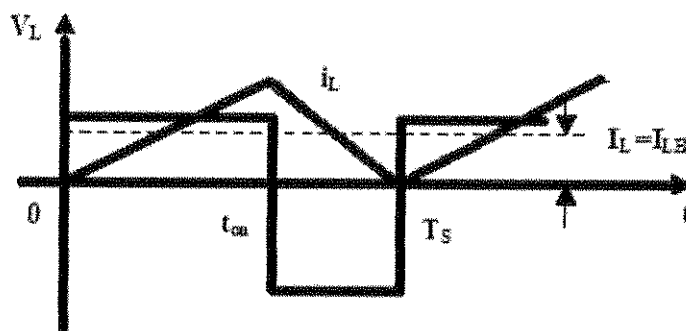
**Estado OFF:**

Quando o interruptor não se encontra a conduzir, este representa uma grande impedância (“drain-source”). Logo como a corrente na bobina não pode mudar instantaneamente, a corrente deixa de passar pelo interruptor e começa a flutuar pelo diodo. Devido a isto a corrente  $I_L$  decresce e a tensão na bobina inverte de polaridade até que o diodo D comece a conduzir.

A tensão aplicada ao lado esquerdo de L fica  $V_i - R_L \times I_L$ . A tensão aplicada ao lado direito de L é agora a tensão de saída,  $V_O$  mais a tensão do diodo  $V_d$ .

Durante o estado OFF do interruptor, a tensão na bobina é constante e por conseguinte é igual a  $(V_O + V_d + R_L \times I_L) - V_i$ .

Mantendo a mesma convenção esta tensão é negativa. A corrente na bobina  $I_L$  decresce durante o estado OFF.

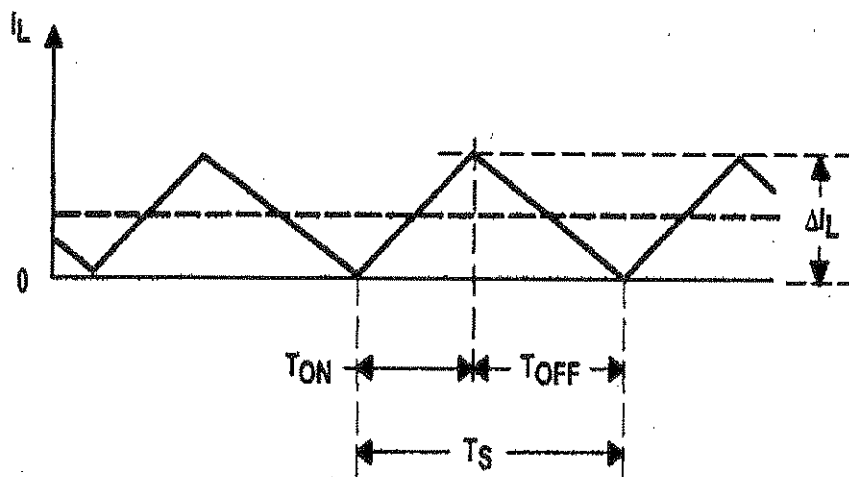
**3.4.1. Análise do Conversor Cc/Cc Elevador (Step-Up) no Limite da Condução Contínua**

**Figura 15-** Tensão e corrente na bobina no limite da condução contínua (fonte: Philip Krein 1991)

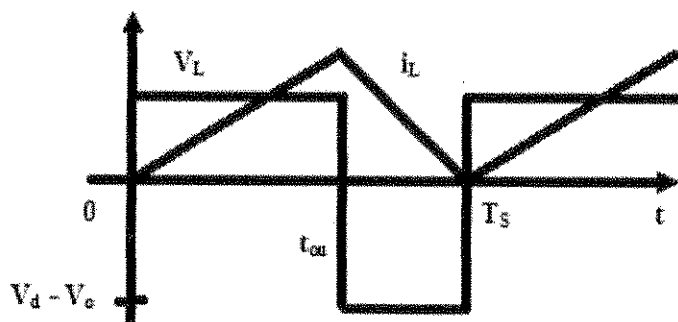
**3.4.2. Análise do Conversor Cc/Cc Elevador (Step-Up) no Modo de Condução Descontínua**

Vamos neste ponto analisar o que acontece se  $I_O$  decrescer e se passar para o modo de condução descontinuo.

Se a corrente de saída  $I_O$  descer abaixo de um dado valor crítico, a corrente  $I_L$  passará a ser zero para uma parte do tempo do ciclo  $T_s$ .



**Figura 17:** Forma de onda da análise do conversor (Triangular) (fonte: Philip Krein 1991)

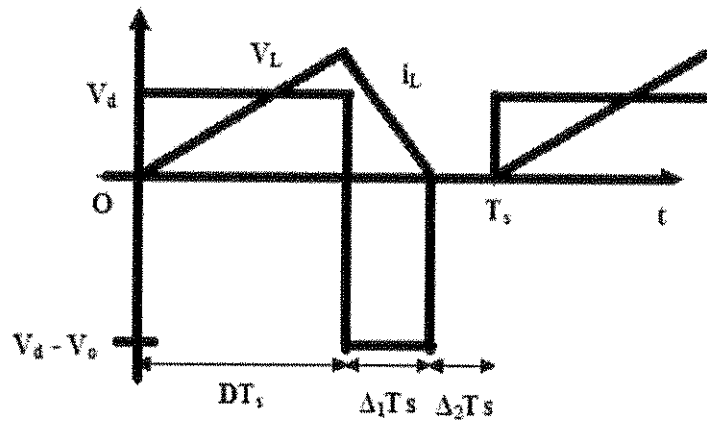


**Figura 18-** Limite da condução contínua (fonte: Philip Krein 1991)

No referido step-up se a corrente  $I_L$  tentar cair para valores menores que zero, logo acaba por ser zero, devido ao sentido único da corrente no diodo D e mantém-se lá até ao começo do novo ciclo. Este modo de operar reflecte o modo de condução descontinuo. Um step-up a funcionar no modo de condução descontinuo tem três estados únicos.

A figura anterior mostra a corrente na bobina  $I_L$  na condição de fronteira entre o modo contínuo e o modo descontinuo. Isto acontece quando a corrente  $I_L$  cai para zero e o ciclo imediato começa imediatamente a seguir a essa mesma corrente atingir o zero. Uma redução ainda maior no valor de  $I_L$  põe o step-up no modo de condução descontinuo. A figura seguinte mostra esta situação. A resposta em frequência dandar de potência é bastante diferente da do modo contínuo.

$$\frac{L}{2} i_{L,\max}^2 = \frac{(V_d * D * T_S)^2}{2L}$$



**Figura 20**-Condução descontínua (por redução de  $P_o$ ) (fonte:Philip Krein 1991)

$$T_{ON} = D * T_s$$

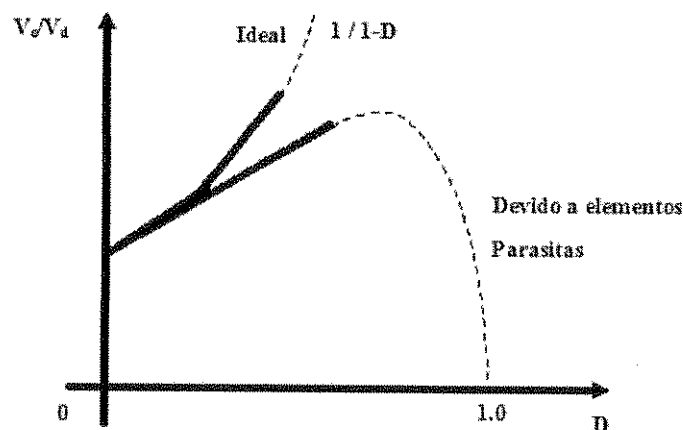
$$T_{OFF} = D_1 * T_s$$

O duty cycle em função de  $V_0$  e da corrente de carga.

$$D = \sqrt{\frac{4}{27} \left( \frac{V_v}{V_v} \right) * \left( \frac{V_v}{V_v} - 1 \right) * \frac{I_i}{I_{iB,max}}}$$

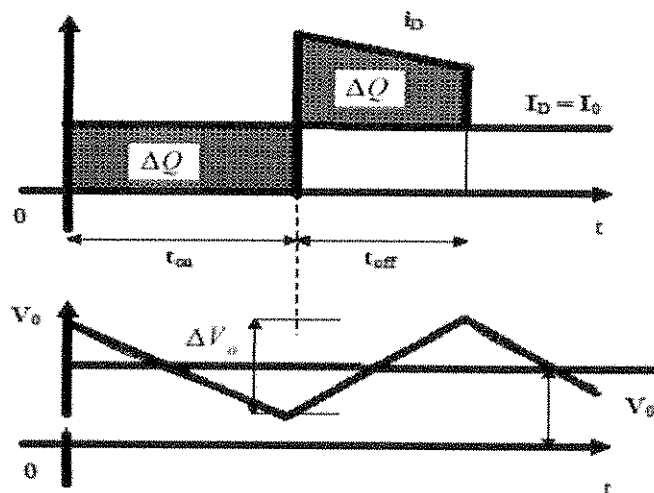
### 3.6.Efeito de Elementos Parasitas

Os elementos parasitas no conversor elevador estão associados às perdas na bobina e no condensador, no transístor e no díodo.



**Figura 21**-Característica real de saída de um conversor elevador. (fonte:Philip Krein 1991)

### 3.5.1. Ondulação Da Tensão De Saída



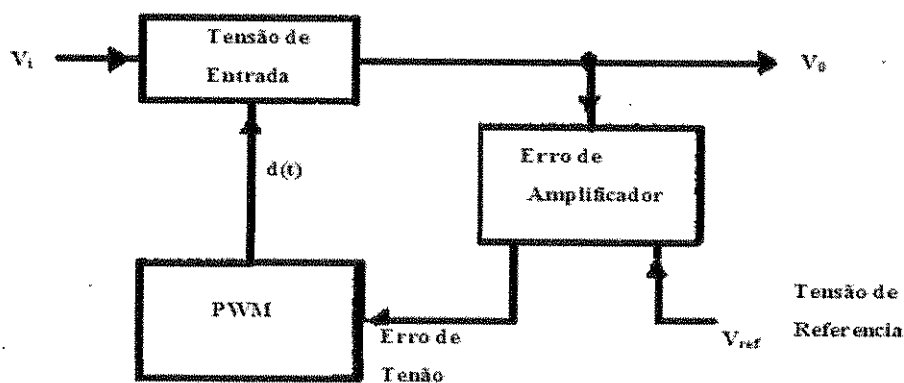
**Figura 22**-Ondulação da tensão de saída de um conversor CC/CC elevador.(fonte: Lars Kroldrup. Gains 2010)

O valor relativo da ondulação:

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = \frac{DT_S}{RC}$$

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = \frac{DT_S}{\tau}$$

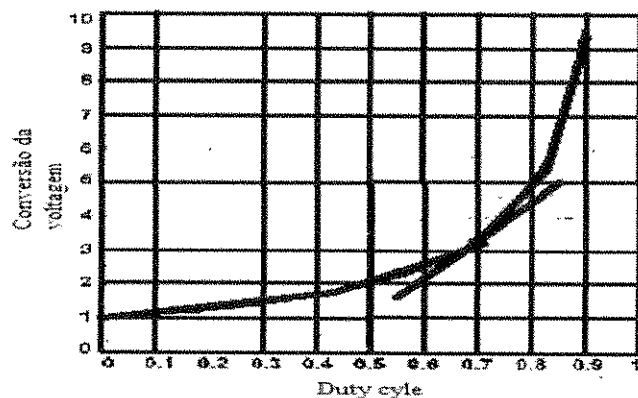
### 3.6. Modelização do andar de Potência do Step-Up



**Figura 23**: Andar de potência do step-up.(fonte: Lars Kroldrup. Gains 2010)

O andar de potência tem duas entradas, a tensão de entrada  $V_i$  e o *duty-cycle*  $d(t)$ . O *duty-cycle* é

a entrada de controlo, isto é, esta entrada é um sinal lógico que controla o interruptor e condiciona a tensão de saída  $V_O$ . A maioria dos step-up's têm uma razão de conversão, tensão  $V_O$  versus *duty-cycle* não linear.



**Figura 24**-Ilustração da razão de conversão de tensão no estado permanente, onde o step-up se encontra a funcionar no modo de condução contínuo, em função do *duty-cycle*  $D$ , no estado permanente. (fonte: Lars Kroldrup, Gains 2010).

O objectivo principal da modelização destes andares de potência consiste em representar o comportamento AC para um dado ponto e para ser linear à volta deste ponto de operação. A linearização permite-nos usar um variado número de ferramentas existentes para sistemas lineares. Sendo assim qualitativamente, se as variações de *duty-cycle* são pequenas, um modelo linear aprofundado representa o comportamento não linear do andar de potência em questão.

### 3.8. INVERSOR

Sistemas de conversão CC/CA, designados por inversores são usados em circuitos de motores de corrente alternada e sistemas de alimentação não interruptíveis, onde o objectivo é produzir uma tensão (CA) de saída  $V_O$  onde a amplitude e a frequência podem ambas ser controladas.

A tensão DC de entrada é normalmente obtida por rectificação e filtragem, através de díodos. Uma vez que a tensão de entrada é uma fonte CC, este tipo de inversores é designado por “voltage source inverters” (VSIs). Um outro tipo de inversores, mas que não vamos utilizar, são os “current source inverters” (CSIs), sendo estes utilizados apenas para elevadas potências e onde a entrada (CC) do inversor, é uma fonte de corrente.

Voltando aos inversores que iremos aplicar verificamos que eles podem estar divididos em três categorias diferentes:

**inversores com PWM (“Pulse Width Modulation”)** – Nestes inversores, a tensão de entrada (CC), é essencialmente constante em amplitude. Por conseguinte, o inversor deve controlar a amplitude e a frequência da tensão de saída (AC).

**Inversores de onda quadrada** – Nestes inversores, a tensão de entrada (DC) é controlada de forma a controlar a amplitude da tensão de saída (CA), e por conseguinte o inversor tem de controlar apenas a frequência da tensão de saída.

**Inversores monofásicos com tensão de cancelamento** No caso dos inversores monofásicos, é possível controlar a amplitude e a frequência do inversor. Contudo a sua entrada é uma tensão CC constante.

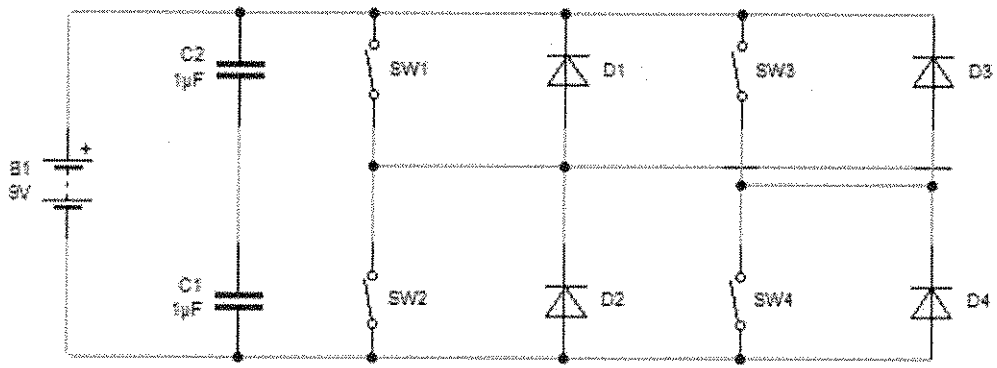
**Pulse Width Modulation”**. Por conseguinte este tipo de inversores combina as características dos dois inversores anteriormente descritos. É de notar que este tipo de tecnologia funciona apenas para monofásico.

No nosso caso apenas nos vamos dedicar à análise do inversor com PWM. Existem vários tipos de esquemas de inversores com o objectivo de fazer com que a onda de saída do circuito do inversor seja o mais próximo possível de uma onda sinusoidal.

Desta forma a montagem escolhida para o circuito de potência do inversor monofásico foi de ponte completa (“Full-Bridge Inverter”). Uma vez que temos um valor reduzido de potência, não seria necessário utilizar uma ponte completa, ou seja, poderíamos utilizar uma montagem de meia ponte (“Half-Bridge”). Mas tendo em conta o futuro e o aumento de potência que poderia ocorrer a qualquer momento optamos pela a montagem em ponte completa, visto que o orçamento o permitia e o local a instalar não tinha restrições de espaço.

O inversor de ponte completa, consiste em dois inversores de meia ponte que no nosso caso são do tipo PWM. Sendo assim aplicando o mesmo valor de tensão (DC) na entrada do inversor de meia ponte e no de ponte completa, teremos à saída uma tensão máxima no inversor de ponte completa que será o dobro da tensão no inversor de meia ponte. Isto implica que, para a mesma potência, a corrente de saída e a corrente dos interruptores, será metade na meia-ponte. Para níveis de potência muito elevados, esta é uma grande vantagem, uma vez que necessita de um menor número de componentes em paralelo.

É a comutação que se estabelece entre os quatro transístores ( $T_{A+}$ ;  $T_{A-}$ ;  $T_{B+}$ ;  $T_{B-}$ ) que vai determinar a forma de onda obtida na saída do inversor. A forma de onda desejada da saída é obviamente filtrada de forma a se obter uma onda sinusoidal de frequência igual a 50 Hz e amplitude variável.



**Figura 26:** Inversor de ponte-completa (fonte: John Wiley & Sons, Inc., 1995)



## CAPITULO IV: SIMULAÇÃO

Para simular os modelos usamos como software o Psim.

### 4.1.Malha aberta

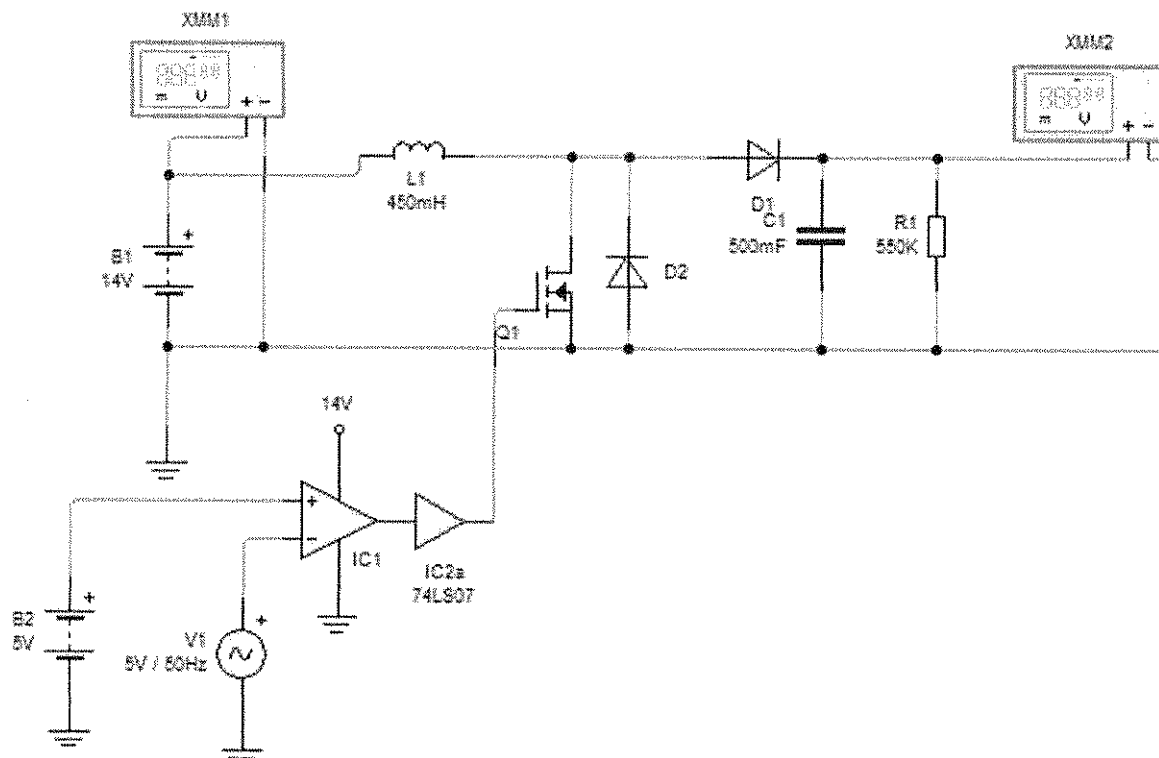


Figura 27-Modelo da simulação do conversor CC/CC em malha aberta.(fonte: John Wiley & Sons, Inc., 1995)

(Com um condensador de 7mF)

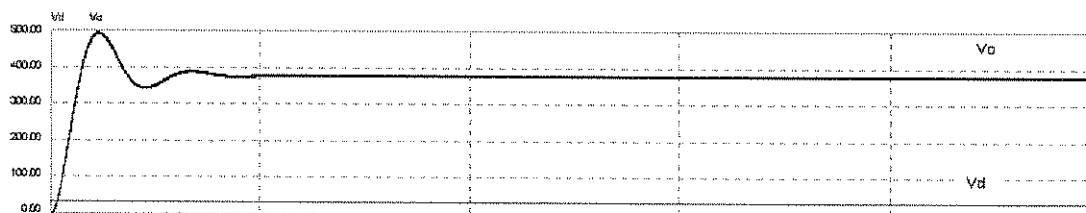


Figura 28-Forma de onda da entrada ( $V_d=34V$ ) e de saída( $V_o=360V$ ). (fonte: Autor da pesquisa).

(Com um condensador de 500mF (simular as baterias)).

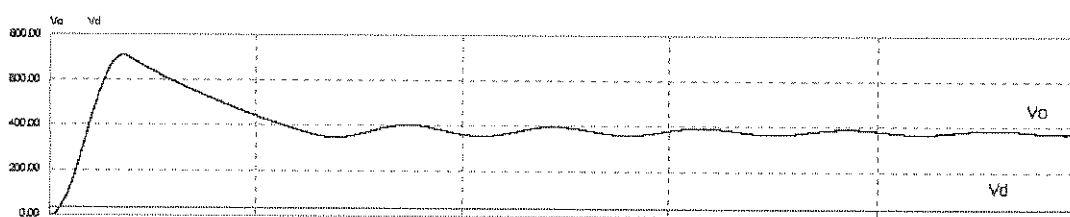


Figura 30- Forma de onda da entrada (Vd) e de saída(Vo). (fonte:Autor da pesquisa).

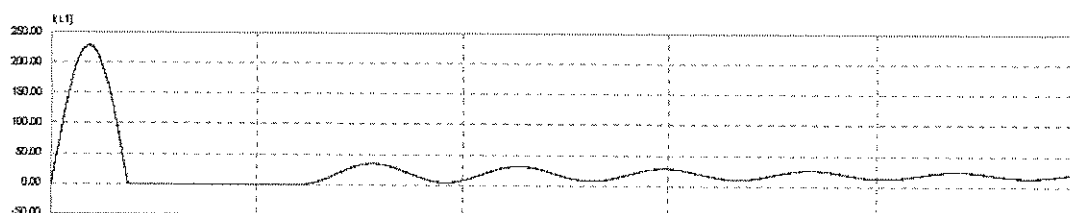


Figura 31- Corrente na bobina(IL)- A corrente na bobina em regime transitório anula-se(condução descontinua). (fonte:Autor da pesquisa).

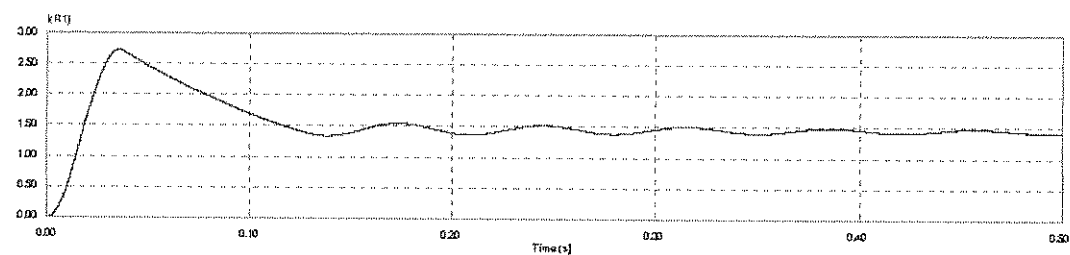


Figura 32- Corrente na Carga. (fonte:Autor da pesquisa).

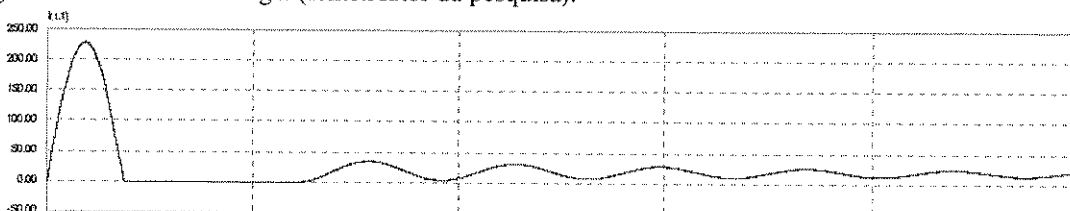


Figura 33- Corrente na bobina(IL)- A corrente na bobina em regime transitório anula-se(condução descontinua). (fonte:Autor da pesquisa).

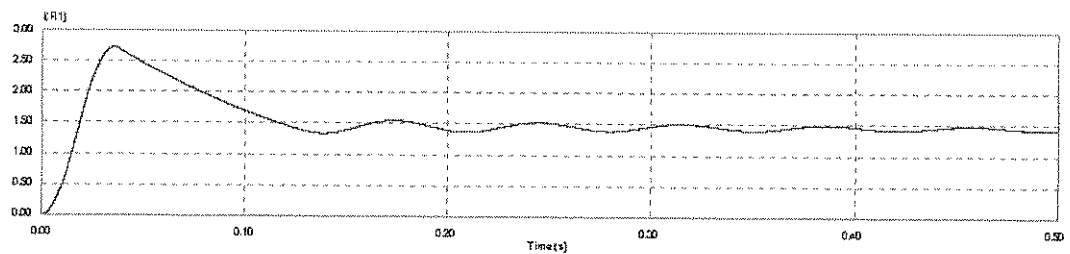


Figura 34- Corrente na Carga. (fonte:Autor da pesquisa).

## 4.2.Método de Controle – Linearização

A relação controlo-saída é a função transferência mais usada para o controlo da realimentação.

Passo 1 - Descrição, por variáveis de estado, de cada estado do circuito interruptor *on* e interruptor *off* (apenas condução contínua). Em cada estado do circuito, o circuito linear é descrito por um vector de estado,  $x$ , que consiste na corrente na bobina e na tensão no condensador (contendo os elementos parasitas). Na especificação das variáveis tem-se, por exemplo:

$$v_0 = V_0 + v_0$$

$$T_P(s) = \frac{v_0(s)}{d(s)} = C[SI - A]^{-1} * [(A_1 - A_2)X + (B_1 - B_2) * v_d] + (C_1 - C_2)X$$

### 4.2.1. Obtenção da função de transferência Para o Conversor Cc/Cc Elevador (Step-Up) em Condução Contínua

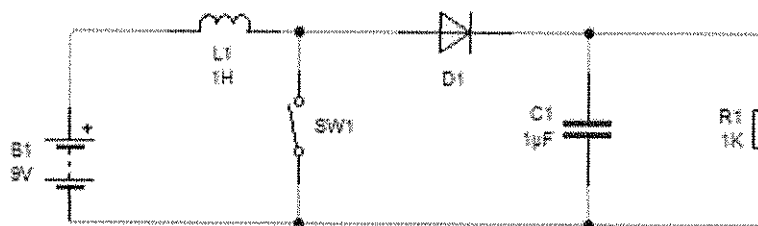


Figura 35- Conversor CC/CC elevador (step-up),(fonte: John Wiley & Sons, Inc., 1995)

$V_d=34V$ ;  $V_0 =360V$ ;  $L=1.7mH$ ;  $C=500 \text{ F}$ ;  $R=260$  ;  $f_s=50KHz$

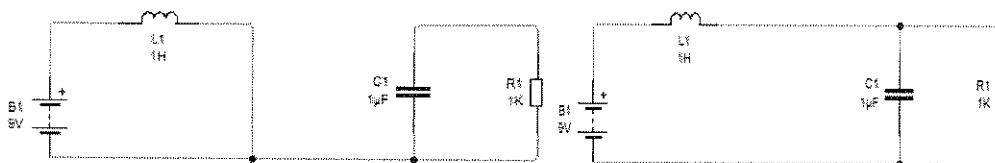


Figura 36- Conversor CC/CC: diagrama, com o interruptor *on* e com o transistor o.(fonte: John Wiley & Sons, Inc., 1995)

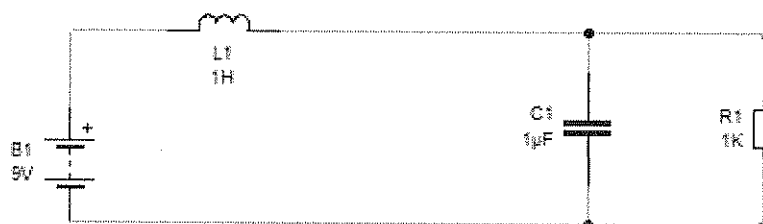
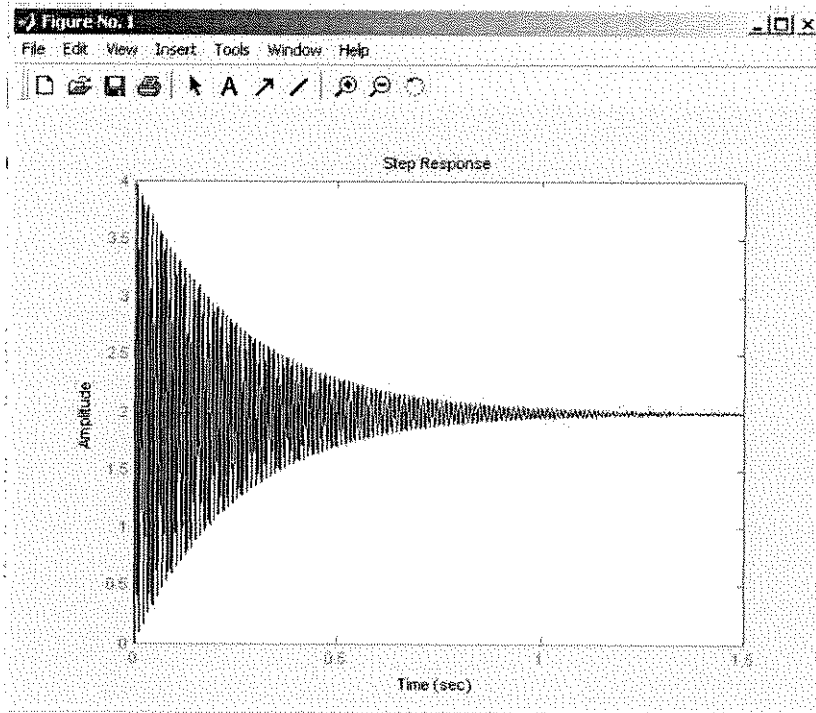


Figura37: Para o interruptor *on*.(fonte: John Wiley & Sons, Inc., 1995)





**Figura 40-** Saida da função transferência em malha aberta em resposta a um degrau (fonte: Autor da pesquisa).

É de salientar que não se fez a análise para o modo descontínuo, uma vez que o projectamos conversor CC/CC para funcionar sempre no modo contínuo.

#### 4.2.1. Modelização do controlador do andar do (Step- Up)

Depois de determinada a função transferência do sistema em malha aberta havia que projectar um controlador. Para isso usamos o matlab para projectar o controlador de modo que este tivesse um tempo de resposta ao sistema rápido sem grandes flutuações. Através da função sisotool do matlab, desenvolvemos um compensador com as seguintes características: Um compensador proporcional-integral (PI), que possibilita a eliminação do erro em regime permanente para uma entrada do tipo degrau, é utilizado para o controlo da tensão de saída. Outro factor para a escolha do compensador é que é um dos mais utilizados.

A equação desse compensador é apresentada na equação seguinte:

$$\frac{U_s}{e_s} = K_i \left( 1 + \frac{W_z}{T_i S} \right)$$

$$\frac{U_s}{e_s} = K_i \left( \frac{S + W_z}{S} \right)$$

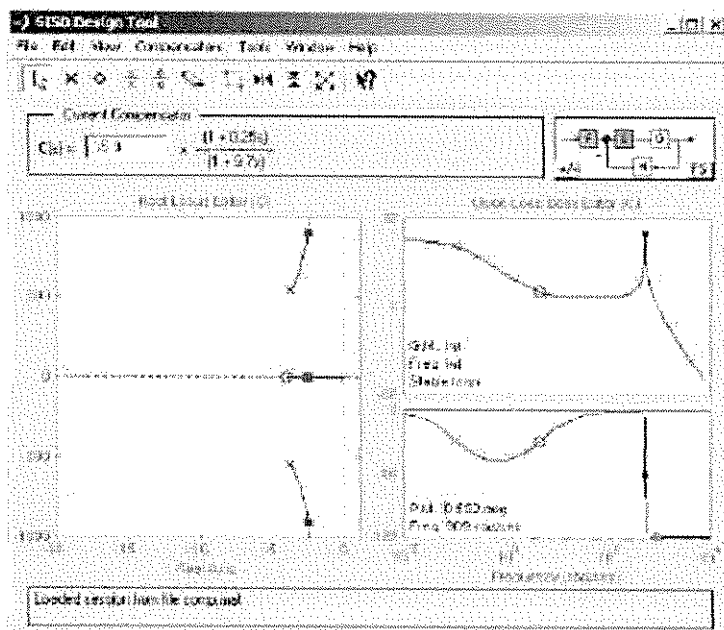


Figura 41- Lugar de raízes, módulo e fase do sistema CG. (fonte:Autor da pesquisa).

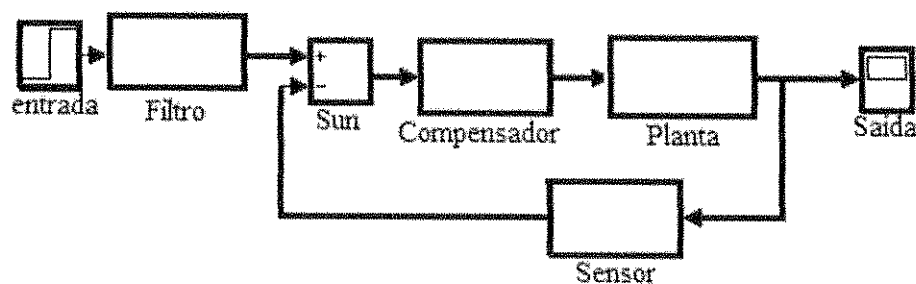


Figura 42: Diagrama de blocos do sistema. (fonte:Autor da pesquisa)

$$G_s = \frac{5,88 \times 10^5}{s^2 + 7,695s + 2,94 \times 10^5}$$

$$C_s = 35,9 * \frac{0,25s + 1}{9,75 + 1}$$

$$F_s = \frac{10}{s-1}$$

$$H_s = 1$$

Função Transferência do sistema:

$$T(s) = \frac{5,277 * 10^6 s + 2,111 * 10^7}{(9,7s^4 + 176,6s^3 + 8,13 * 10^6 s^2 + 1,027 * 10^8 s + 2,14 * 10^8)}$$

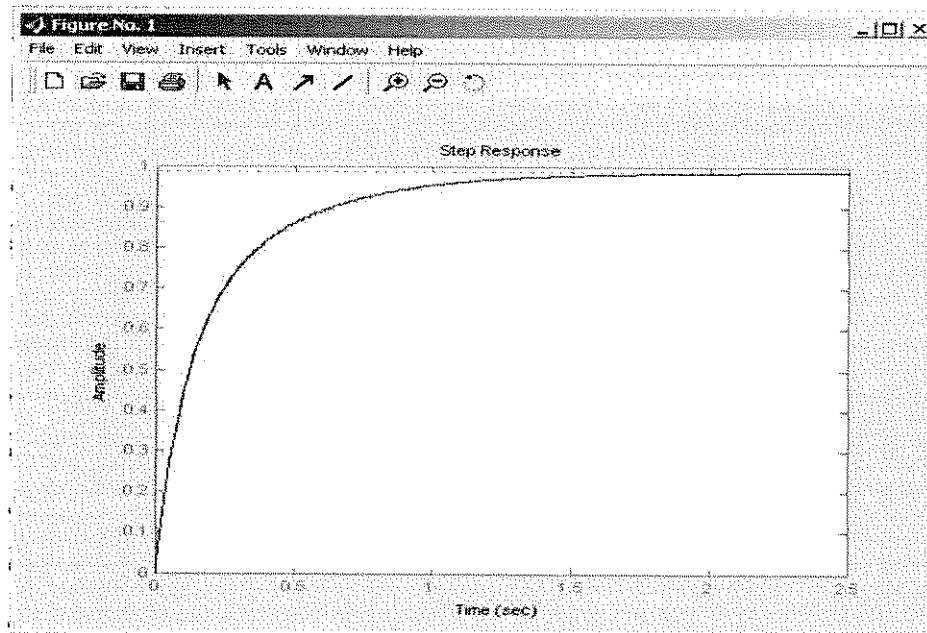
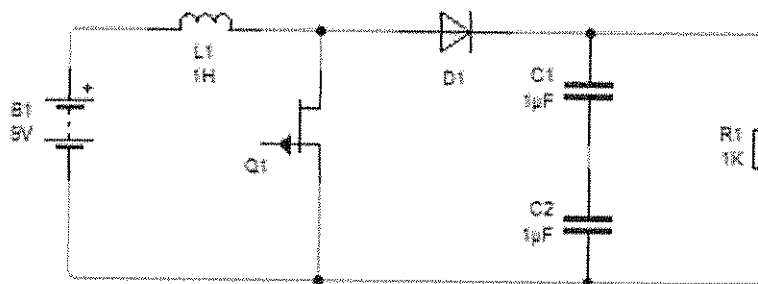


Figura 43-Resposta do sistema a um degrau. (fonte:Autor da pesquisa).

## CAPITULO V: IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÓMICA

### 5.1.Circuito de Potência

O circuito de potência terá a seguinte configuração:



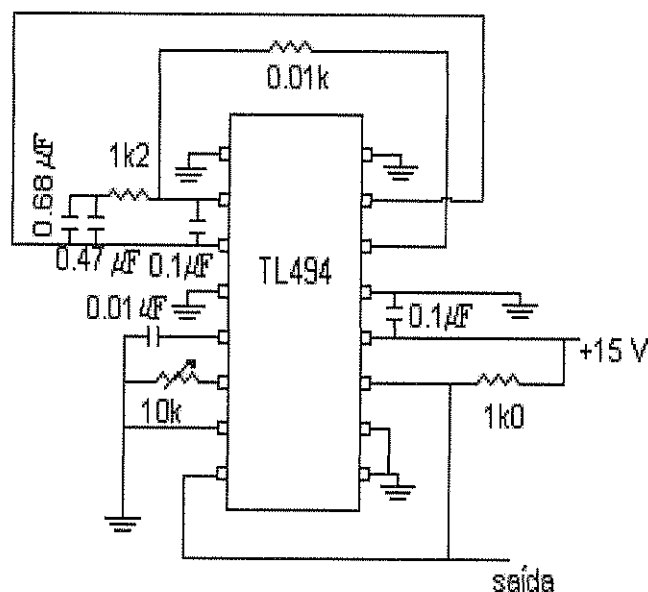
**Figura 44:** Circuito de potência(fonte:Autor da pesquisa).

- ✓  $L=1.7 \times 10^{-3}$  mH
- ✓ Díodo:BYX46 600R(díodo rápido c/ ânodo à caixa);
- ✓ Mosfet:IRF360;
- ✓  $C1=C2=1000$  F,400V (polarizados).

### 5.2.Circuito de comando e controlo

Para gerar a PWM, que controla os tempos de comutação do MOSFET, utilizou-se o integrado TL494.Essencialmente, e de uma forma sucinta, o TL494 gera internamente um dente de serra cuja intersecção com uma tensão DC origina os impulsos para a *drive* do transístor; é gerada uma onda quadrada com *duty cycle* variável. A montagem utilizada é a seguinte:





**Figura 45:** Circuito de comando e controlo (fonte: Autor da pesquisa).

**Note-se o seguinte:**

O dente de serra gerado, vai depender do paralelo à massa do condensador que está ligado no pino 5 e da resistência projectada e ligada ao pino 6. O dente de serra gerado pode ser observado no pino 5; a frequência utilizada nesta aplicação, foi de 40 kHz, visto ser a frequência típica de oscilação do componente em causa.

A frequência de oscilação da PWM é dada pela seguinte expressão:

$$F_{osc} = \frac{1,1}{R_T * C_T}$$

A tensão DC necessária para a intersecção com o dente de serra é injectada no pino 3. Essa tensão é obtida à saída do pino 14. Uma vez que a amplitude do dente de serra varia entre 0 V e 3,3 V, conseguimos fazer com que a tensão DC, a intersecte através da ligação de um potenciometro, como mostra a figura.

A PWM pode ser observada no terminal 8 ou no terminal 11, terminais estes que estão associados aos colectores dos transístores que se encontram no interior do TL494.

Na saída do TL494, é instalado o circuito anterior de forma a obter uma PWM mais perfeita, ou

seja, os vértices da forma de onda, menos curvilíneos possível.

O sinal da PWM que alimenta a *drive* do MOSFET só estará activo se a corrente que circula entre o dreno e a *source* do transistor for igual ou inferior a um valor de referência. Valor esse que será de 20 A partir do momento em que esse valor seja ultrapassado, as protecções actuam, desligando o circuito. Utiliza-se um LEM de corrente, um FLIP-FLOP do tipo D e portas AND.

De acordo com os pressupostos obteve-se a seguinte montagem:

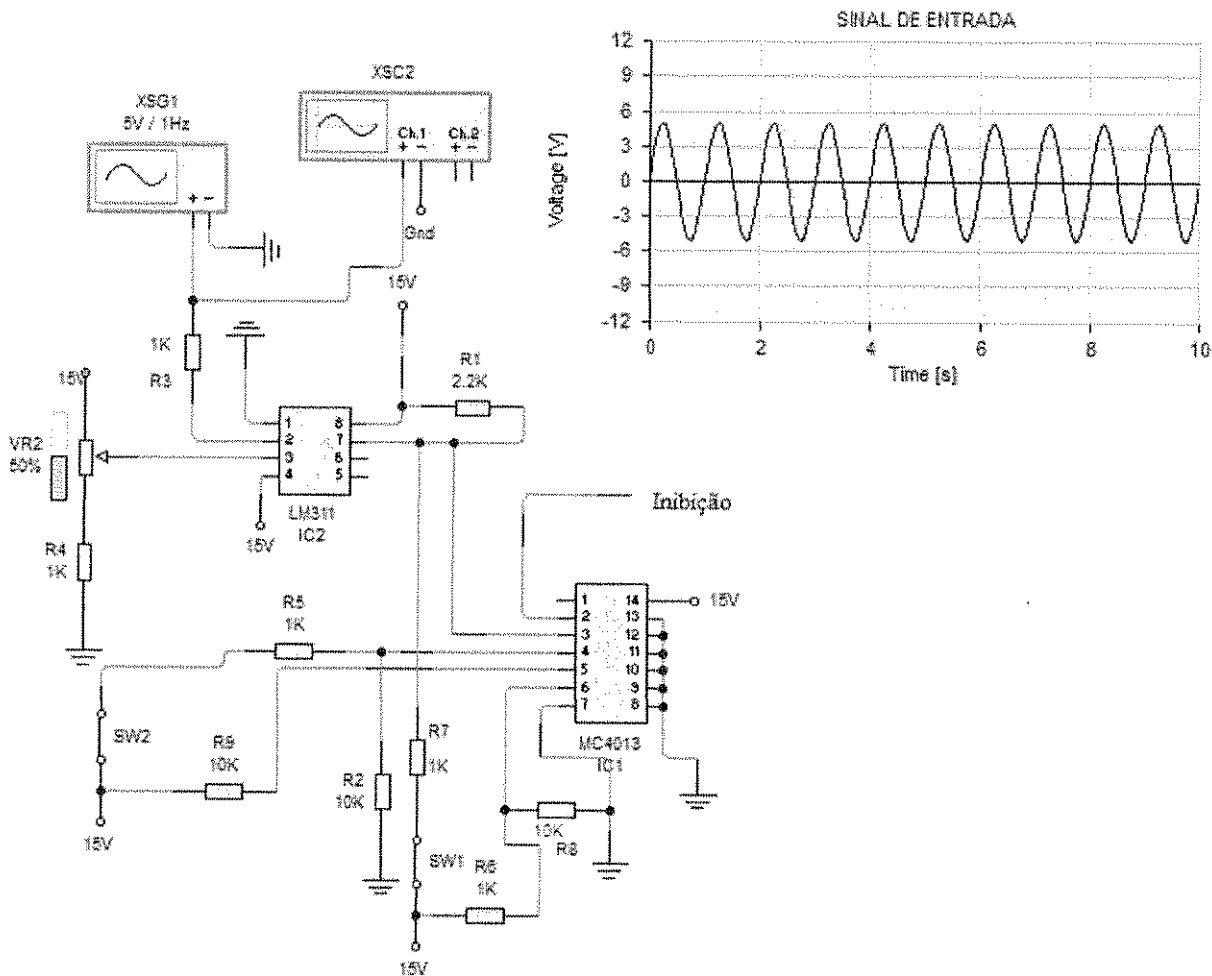
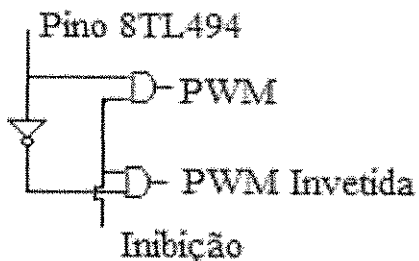


Figura 46: Circuito de potência (fonte: Autor da pesquisa).

### Observações:

O LEM utilizado é percorrido por uma corrente 1000 vezes inferior à corrente que atravessa o circuito de potência; sendo assim, aos terminais da entrada não inversora do comparador, tendo esta uma resistência de 560 existirá uma tensão proporcional à corrente que percorre o circuito; A montagem utilizada para o FLIP-FLOP envia um sinal de inibição à *drive* do MOSFET caso seja ultrapassado o valor de corrente pré-fixado através do valor de tensão (regulado por um

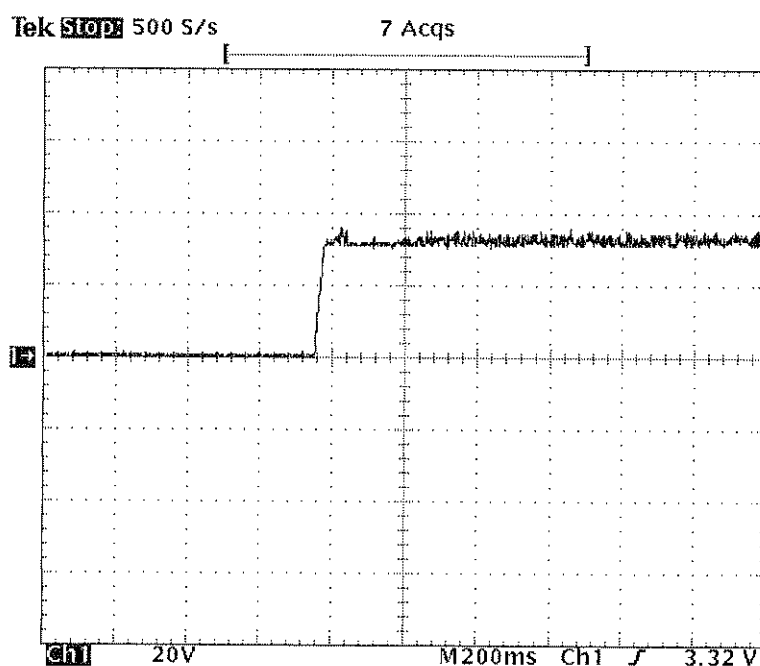
potenciômetro) na entrada inversora do comparador, esta montagem possui ainda um sinal *SET* e *RESET*, sendo possível qualquer momento inibir manualmente o sinal da PWM para a *drive* do MOSFET.



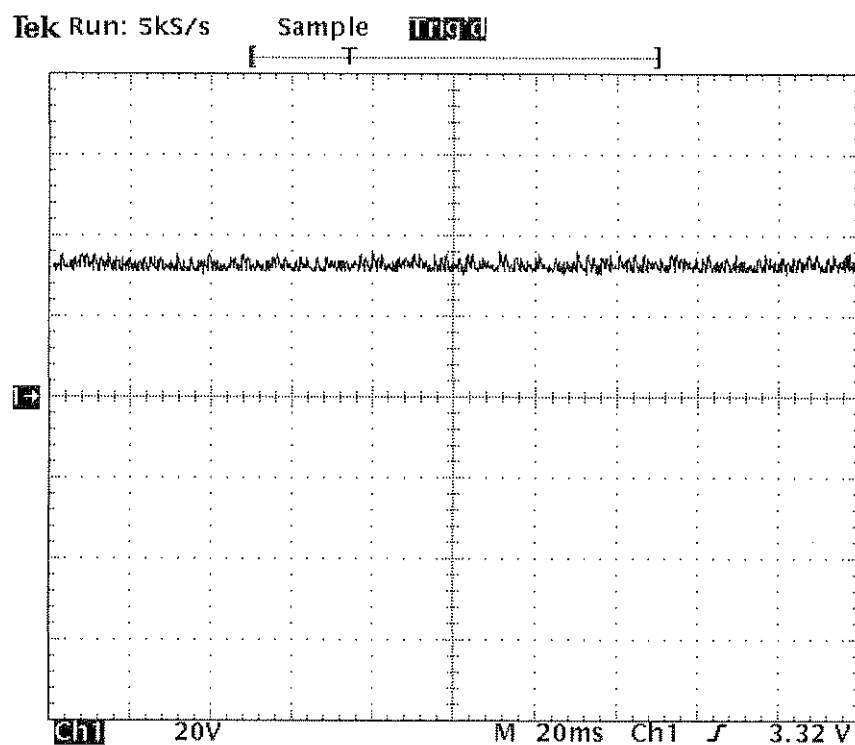
**Figura 47:** Drive do MOSFET (fonte: Autor da pesquisa).

É de salientar que para a drive do MOSFET, é necessário o sinal original do PWM e o seu complementar daí a necessidade da utilização de duas portas AND, e de uma porta inversora.

### 5.2.1. Resultados Experimentais



**Figura 48-**Resposta do conversor a um degrau (Fonte: Autor da pesquisa)

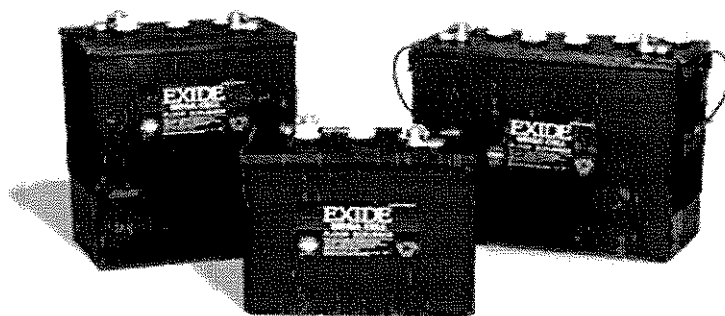


**Figura 49**-Tensão de saída do conversor CC/CC. (Fonte:Autor da pesquisa).

Depois de implementação e teste do sistema concluímos que o conversor CC/CC era um pouco lento a recuperar quando sujeito a variações bruscas da tensão de entrada e da carga.



### 5.3. Banco de Baterias

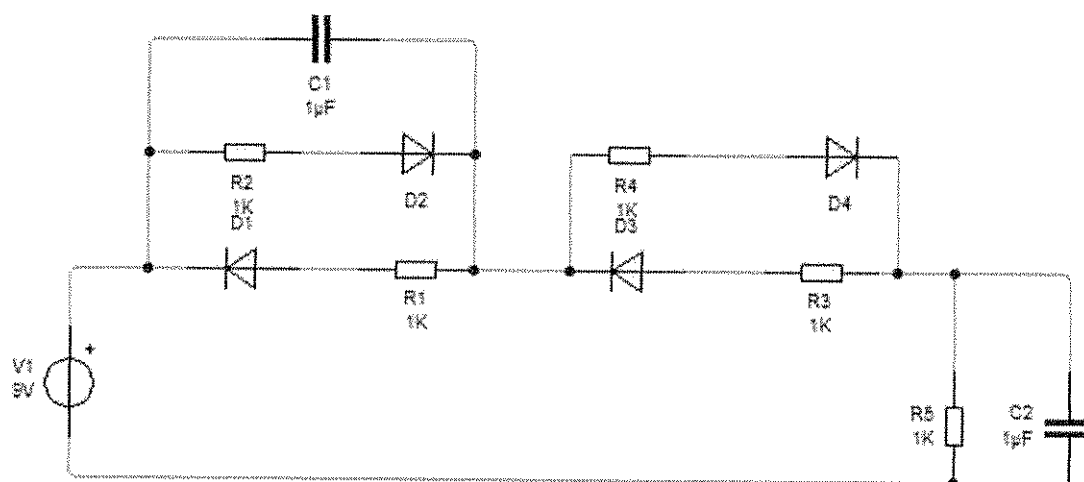


**Figura 50:** Baterias (fonte: <http://www.h2brasil.com/energia-renovável.php>).

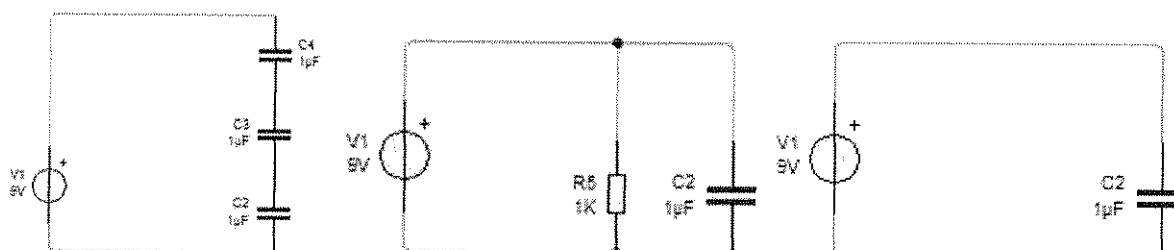
As baterias usadas para os sistemas foto voltaico são baterias de chumbo (ácidas). As baterias de cádmio níquel (alcalinas) só são utilizadas em locais com condições climáticas adversas ou em locais em que é necessário grande fiabilidade. Quando se escolhe uma bateria para um sistema foto voltaico deverão ter-se em conta, para além da tensão nominal, factores como:

- Gama de temperaturas admissíveis (-15 C até +50 C);
- Taxa de auto descarga (2% por mês a 25 C);
- Tempo de vida (1800 ciclos com 80% de profundidade de descarga);
- Eficiência de carga desde 20 % descarregada;
- Capacidade (Ah) para descargas de 10h;
- Frequência requerida para restabelecer os níveis de electrólito;
- Peso, resistência á sobrecarga e custo.

Encontrar um modelo eléctrico e/ou matemático que descreva o comportamento dinâmico de uma bateria é uma tarefa difícil e bastante complexa, pois suas reacções químicas não são lineares e sofrem influência de diversos factores, inter-relacionados, tais como temperatura, tempo de uso, nível de carga ou de descarga e aspectos construtivos. Na literatura, existem vários trabalhos que buscam encontrar um modelo que descreva o funcionamento da bateria, mas esses modelos são encontrados através de vários ensaios específicos. Os outros modelos são de pouca aplicação prática e dependem de coeficientes empíricos e de aproximações e é apresentado um circuito eléctrico equivalente a uma bateria, considerando as suas não linearidades, conforme Figura 2. Esse circuito é relativamente simples, de fácil simulação e com boa precisão.



**Figura 51:** Circuito geral de bateria (fonte: Autor).



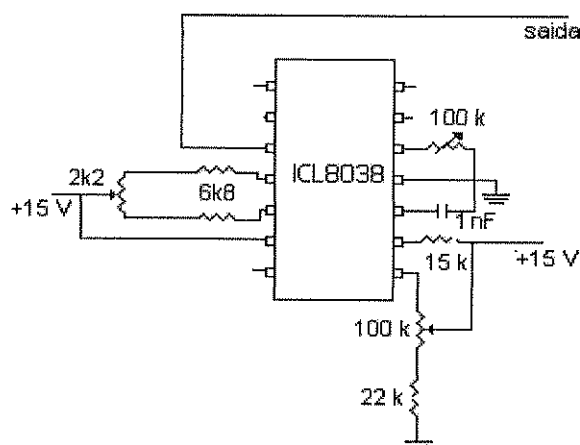
**Figura 52-** Circuitos equivalente de uma bateria: (a) banco de baterias; (b) circuito equivalente simplificado; (c) circuito simplificado (fonte: Autor).

Na Figura encontra-se em (a) o banco de baterias, em (b) o circuito simplificado da figura 28 e, em (c), encontra-se o modelo mais simplificado possível. Assim, o banco de baterias é substituído por uma fonte de tensão ideal. Na prática, o modelo mais utilizado para simular uma bateria é uma fonte de tensão ideal com uma resistência em série que corresponde à resistência interna da bateria. No nosso trabalho substituímos o nosso banco de baterias pelo circuito equivalente de uma bateria (c) circuito simplificado. Para tal, usamos um condensador com uma capacidade significativa (500 F). Não existe um mercado específico para baterias destinadas a sistemas fotovoltaicos. As baterias mais comuns são as baterias de automóveis que estão dimensionadas para fornecer elevadas correntes em curtos intervalos de tempo. Estas baterias, embora baratas, não são as mais aconselháveis, para sistemas fotovoltaicos, pois o seu tempo de vida é muito curto quando aplicadas em sistemas com elevadas profundidades de descarga. As baterias seladas são baterias de ácido desenvolvidas propositadamente para sistemas foto voltaicos. Estas baterias são mais caras e não suportam temperaturas extremas, como as baterias convencionais, mas tem a vantagem de não ser necessário restabelecer os níveis de electrólito.

As baterias nica são baterias robustas, leves, resistentes a temperaturas extremas, tem baixas taxas de autodescarga e aguentam perfeitamente profundidades de descarga que podem chegar abaixo dos 10%. Uma desvantagem é o facto de diminuir a sua capacidade com o aumento do número de ciclos de descarga. Outra desvantagem é o seu elevado preço. No nosso trabalho não chegamos a efectuar o teste do sistema com as baterias visto ser necessário um número elevado de baterias.

### 5.3.1. Circuito De Comando E Controlo

Para começar, é necessário, como já foi dito anteriormente fazer um gerador de onda triângular e onda sinusoidal. Para isso, utilizamos o ICL8038, para gerar os dois tipos de onda.



**Figura 53:** Circuito De Comando E Controlo (fonte: <http://www.h2brasil.com/energia-renovavel.php>).

Como já foi referido, optamos por gerar a onda triângular com o ICL8038. A onda será gerada a uma frequência de 50 kHz.

É de salientar que, teremos um potenciómetro ligado ao pino 12 de forma a diminuir a distorção da onda pretendida, sendo o valor indicado, perto dos 82 k .

O potenciómetro de 2.2 K servirá para ajustar o valor do dutycycle, em que as resistências que a ele ligam serão iguais de forma a termos um duty cycle de 50 %. Podemos variar o valor da frequência através do potenciómetro ligado ao pino 8, devendo esta tensão variar apenas entre  $\frac{2}{3}V_{cc} \leq V_{\text{pino8}} \leq V_{cc}$ ; Registe-se ainda que o valor de frequência obtido depende do valor das resistências ligadas ao pino 4 e 5 e também do condensador ligado ao pino 10, como indica a equação seguinte:

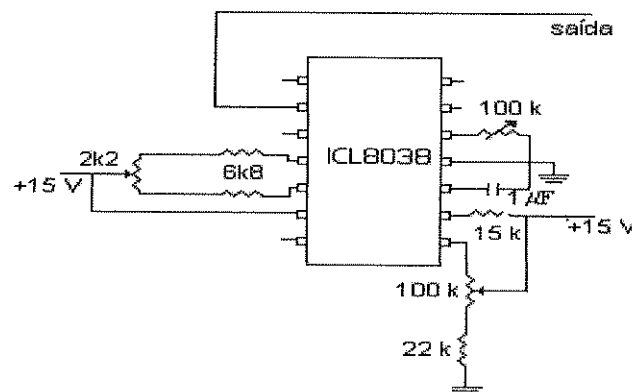


$$F = \frac{0.33}{R * C}$$

A onda triangular gerada, apresenta uma componente DC não nula. Dada a necessidade das duas formas de ondas apresentarem valor médio semelhante, de forma a sobreporem-se para obter o sinal de comando do inversor (neste caso optou-se por valor nulo) para que possam ser comparadas posteriormente. Para isso utilizamos um filtro passa baixo, à saída do integrado ICL 8038, de forma a eliminar a componente contínua do sinal. Seguidamente, utilizamos um amplificador operacional (741) de forma a podermos variar o valor da sua amplitude, como mostra o circuito.

Uma vez que o valor da sinusóide à saída do gerador de ondas é muito baixo, optamos por instalar um seguidor, antes do filtro passa baixo, de forma a aumentar a sua amplitude. Através do potenciómetro de 220 K, podemos regular a amplitude da onda triangular.

Para gerar a onda sinusoidal, de frequência 50Hz, utilizou-se o gerador de funções ICL8038 recorrendo à seguinte montagem:



**Figura 55:** Circuito de gerador de funções (fonte: <http://www.h2brasil.com/energia-renovavel.php>).

Utiliza-se igualmente um potenciómetro para variar o valor de frequência de forma a obter o valor desejado à saída.

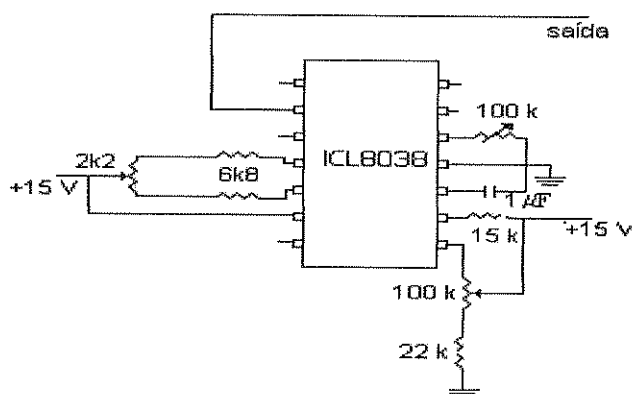
- Variação do potenciômetro ligado ao pino 8, devendo esta tensão variar apenas entre  $2/3V_{cc} \leq V_{pino8} \leq V_{cc}$ ;
- No pino 12 e como já referimos, existirá um potenciômetro de forma a diminuir o máximo possível a distorção da onda de saída.
- O valor da resistência aplicada aos pinos 4 e 5, deve ser igual de forma a obter um *duty cycle* de 50%, onde se liga entre elas e a tensão  $V_{cc}$  um potenciômetro para obter uma forma de onda mais perfeita possível.

O valor de frequência obtida na saída, depende ainda do valor da capacidade entre o pino 10 e a massa.

Dado que a corrente de saída da onda sinusoidal do ICL8038 é muito baixa, é necessário utilizar uma montagem seguidora recorrendo a um amplificador operacional (741), tal como utilizamos para o gerador de onda triangular. Este amplificador tem então ganho unitário e proporciona um ganho de corrente; após este AMPOP, utiliza-se uma montagem semelhante à utilizada para a onda triangular de modo a retirar a componente DC do sinal e variar a sua amplitude. O sinal à saída desta última montagem irá ao comparador LM311 que compara as duas formas de onda.

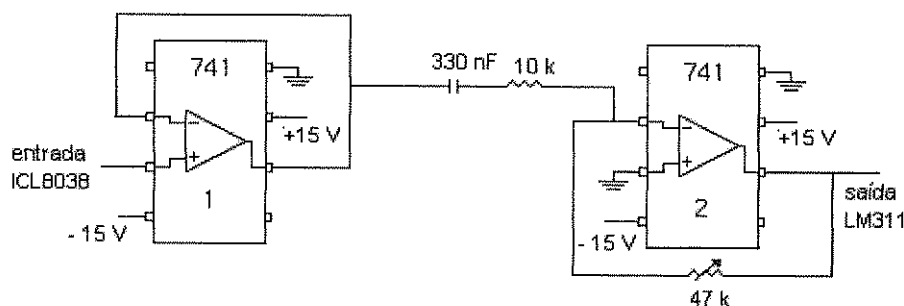
Uma vez que o valor da sinusóide à saída do gerador de ondas é muito baixo, optamos por instalar um seguidor, antes do filtro passa baixo, de forma a aumentar a sua amplitude. Através do potenciômetro de 220 K, podemos regular a amplitude da onda triangular.

Para gerar a onda sinusoidal, de frequência 50Hz, utilizou-se o gerador de funções ICL8038 recorrendo à seguinte montagem:



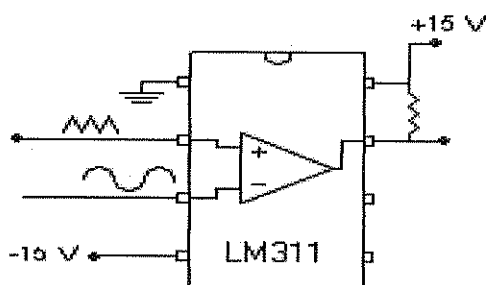
**Figura 55:** Circuito de gerador de funções(fonte: <http://www.h2brasil.com/energia-renovavel.php>).

Utiliza-se igualmente um potenciômetro para variar o valor de frequência de forma a obter o valor desejado à saída :



**Figura 56:** Comparador de ondas(fonte: <http://www.h2brasil.com/energia-renovável.php>).

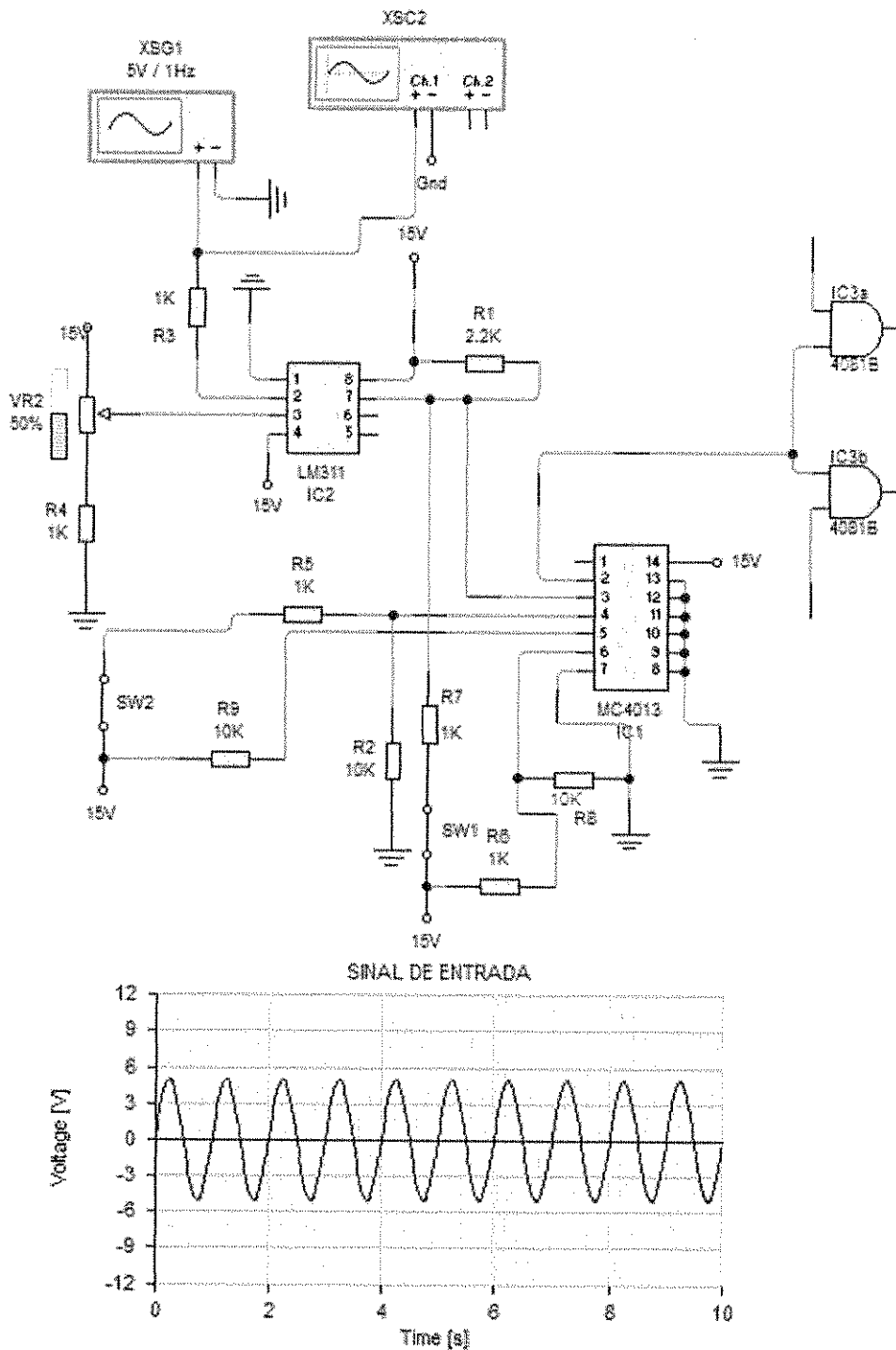
Através do uso do comparador, LM 311, podemos gerar o PWM na sua saída.



**Figura 57:**Gerador de PWM (fonte: A. Pina, Martins, "Sistemas de Electrónica).

Tendo em vista o comando de quatro MOSFET's, serão instalados dois LM311, de forma a obter quatro sinais de comando. O sinal de PWM obtido terá de ser decomposto em dois, já que a comutação dos MOSFET's no inversor se faz alternadamente. Para que isso aconteça, utilizam-se portas inversoras e malhas RC de atraso à subida nos sinais para recuperação de sinal, de modo a evitar que os transístores possam comutar simultaneamente. Dois desses sinais serão obtidos por comparação da onda sinusoidal com a onda triângular e os outros dois, comparando a onda sinusoidal invertida com a mesma onda triângular.

Para proteger o circuito, utilizamos a montagem seguinte:

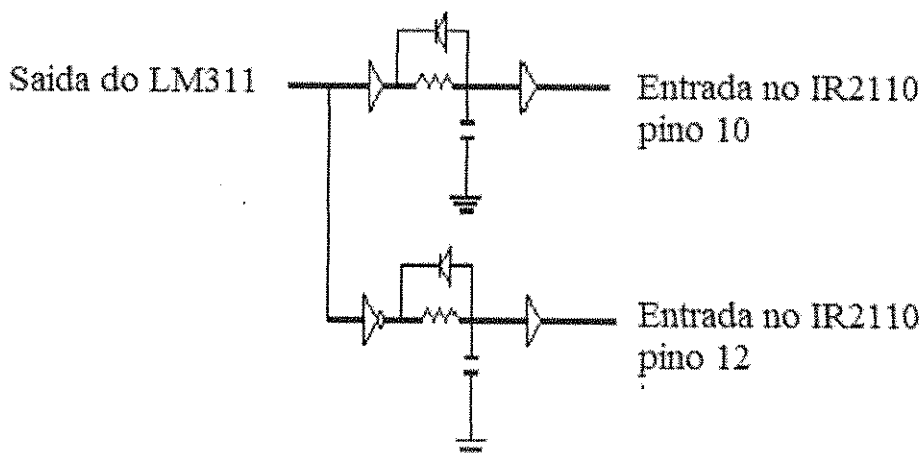


**Figura 58:** Protector de circuito comparador de onda (fonte: A. Pina, Martins, "Sistemas de Electrónica").

O sinal da PWM, só estará activo, se a corrente que circula entre o dreno e a source é igual ou inferior a um dado valor de referência. Utilizamos como valor máximo uma corrente de 10 A. Sendo assim o valor da resistência onde irá ligar o LEM, será de 560. O LEM utilizado vai ser percorrido por uma corrente 1000 vezes inferior à corrente que atravessa o circuito. A montagem utilizada para o flip-flop envia um sinal de inibição à drive do mosfet caso o valor da corrente

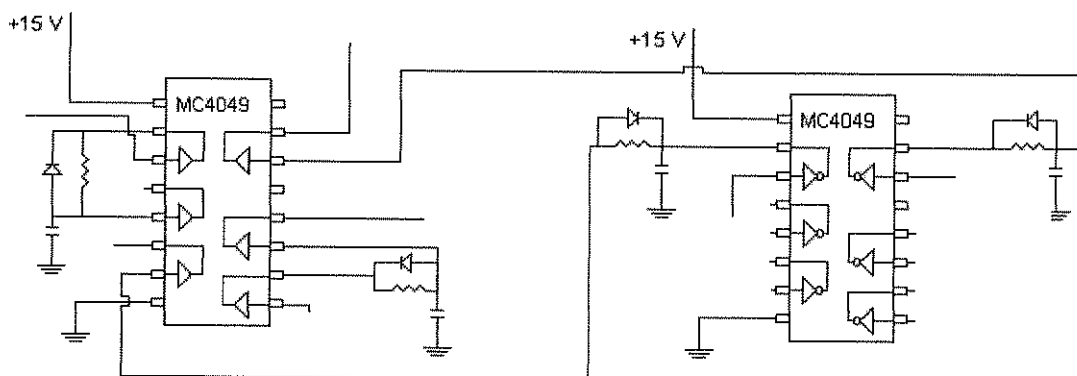
definida, seja ultrapassado. Esse valor será estipulado, pela variação do potenciômetro. Teremos ainda um sinal de *set* e *reset* para poder inibir manualmente a PWM, para a drive do MOSFET.

A malha de atraso a impleme será a seguinte:



**Figura 59:** Drive do MOSFET. (fonte: A. Pina, Martins, "Sistemas de Electrónica").

Em que o circuito a utilizar no inversor de ponte completa será:



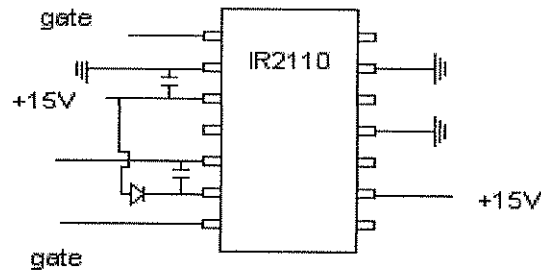
**Figura 60:** Inversor de ponte completa (fonte: A. Pina, Martins, "Sistemas de Electrónica").

Neste circuito, e para um atraso de 1 S, temos as resistências com o valor de 10 k e os condensadores com o valor de 330 pF. A saída do LM, irá ligar aos pinos 3 e 9 do MC4050 e aos pinos 3 e 14 do MC4049, sendo as saídas para o mosfet's os pinos 4, 6, 12 e 15 do MC4050.

#### 5.4. Drives

Os componentes utilizados, serão os IR2110.

São estes componentes que vão fazer o comando do inversor. O circuito utilizado é o seguinte:

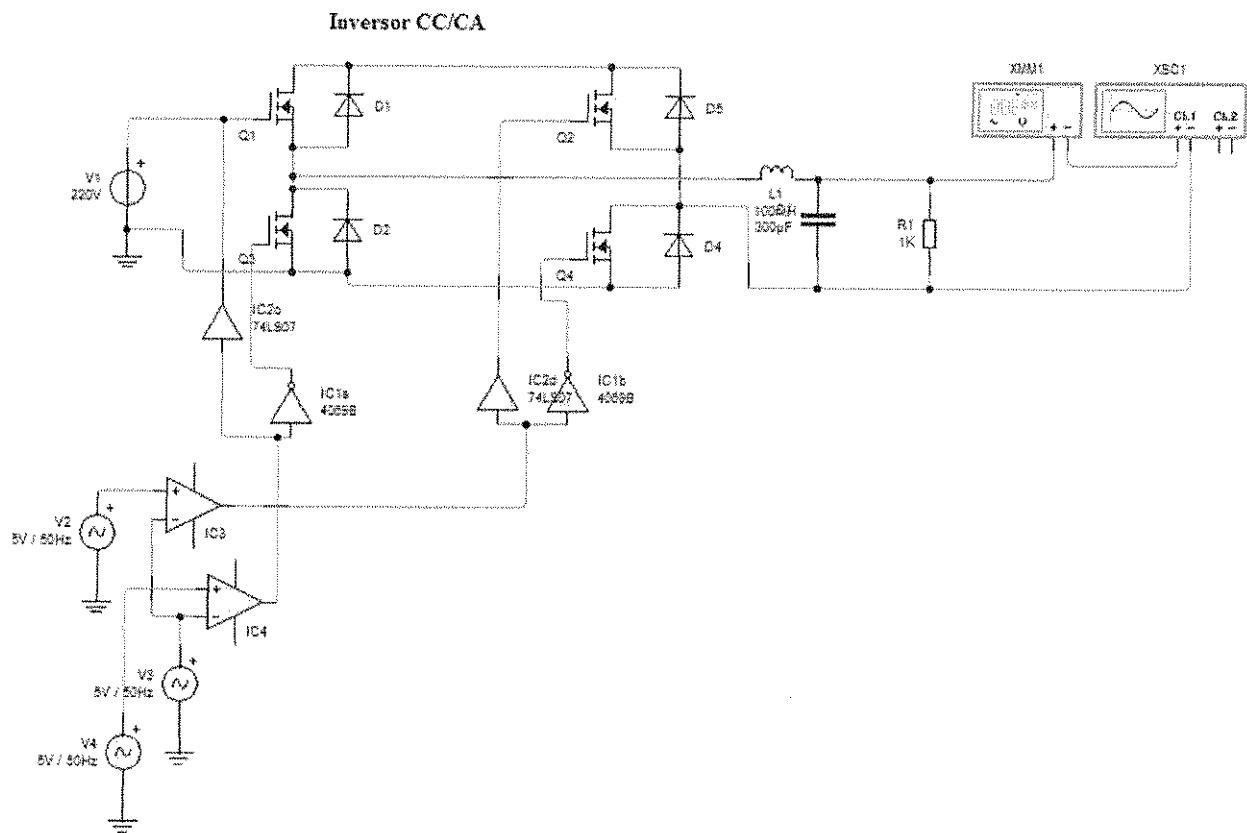


**Figura 61:** Circuito *Drive* (fonte: A. Pina, Martins, "Sistemas de Electrónica").

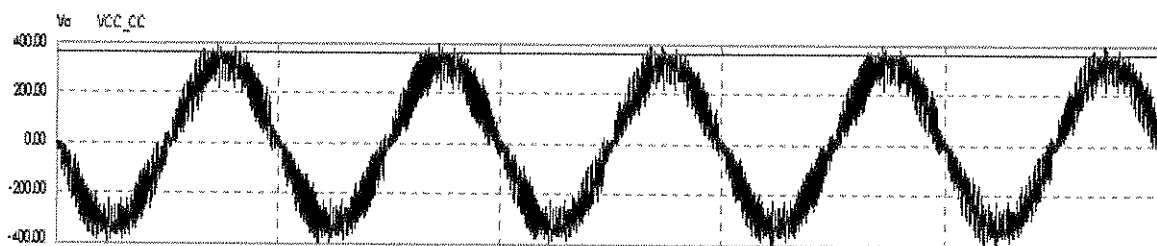
Podemos constatar que os pinos 1 e 7 vão ligar à gate do mosfet que constitui o inversor. O pino 1 liga ao mosfet que está na parte de baixo enquanto o pino 7 liga ao mosfet que está na parte de cima. Os condensadores utilizados serão de 1F cada um. Quanto ao sinal de entrada, ele virá da malha de atraso, que foi mencionada anteriormente. O pino 10, vai ligar a malha que corresponde à parte de cima, o pino 12 liga a malha que corresponde à parte de baixo.

## 5.5. Simulação do Inversor

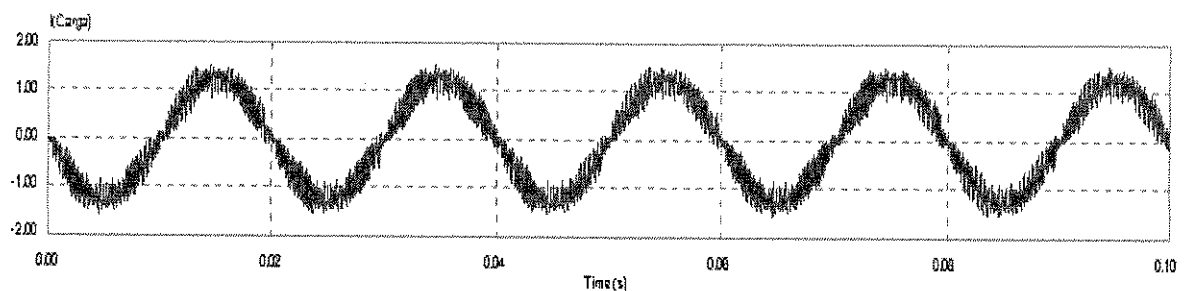
### 5.5.1. MALHA ABERTA



**Figura 62-**Modelo de simulação do inversor CC/CA em malha aberta).(fonte:Autor da pesquisa)



**Figura 63-**Forma de onda da tensão de entrada ( $V_{cc/cc}$ ) tensão esta gerada do conversor CC/CC e da tensão de saída do inversor ( $V_o$ ). (fonte:Autor da pesquisa)



**Figura 64-**Forma de onda da corrente na carga ( $i_{carga}$ ). (fonte:Autor da pesquisa)

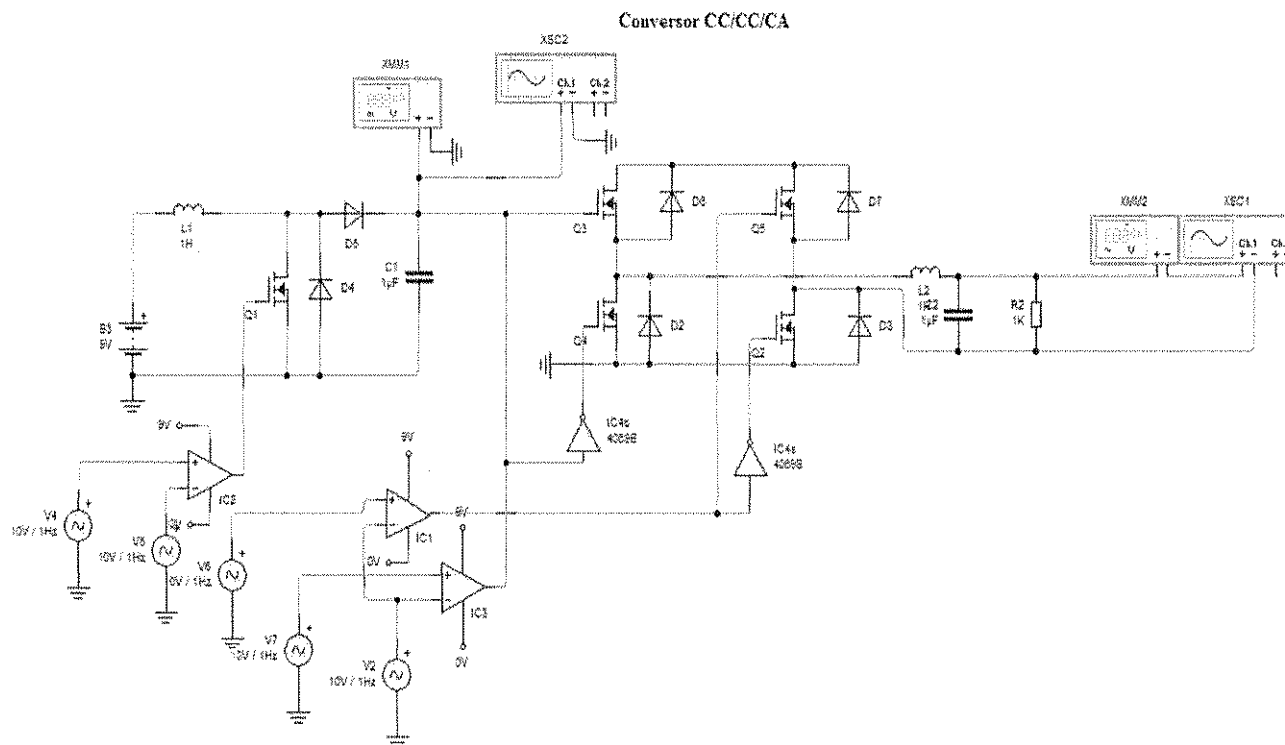
### **Conclusão da simulação**

O inversor não chegou a ser testado, apenas se atingiu a fase de montagem isto devido à nossa falta de sensibilidade, na calibração do inversor. Na fase de montagem deparamo-nos com algumas dificuldades com a geração de uma onda sinusoidal, isto é, na geração do PWM.

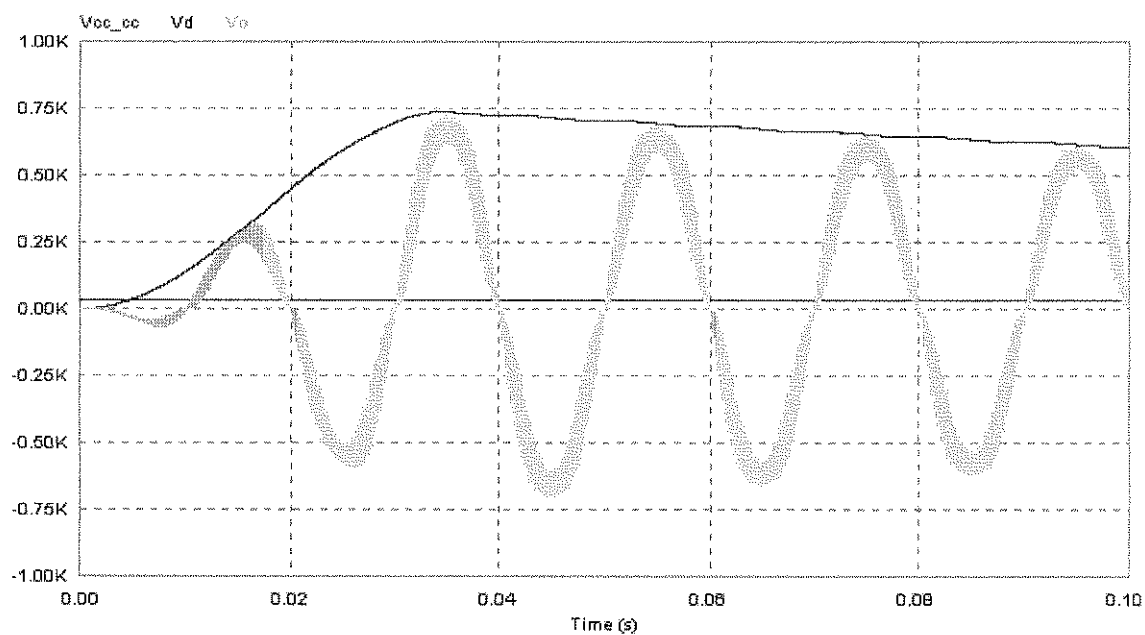


## 5.6.Simulação do Sistema

### 5.6.1.MALHA ABERTA



**Figura 65-**Modelo de simulação do sistema em malha aberta (fonte:Autor da pesquisa)



**Figura 66:** Forma de onda da tensão de saída (Vd) (Fonte:Autor da pesquisa)

Forma de onda da tensão de entrada ( $V_d$ ), tensão de saída do conversor CC/CC ( $V_{cc/cc}$ ) e a tensão de saída do inversor ( $V_o$ ) em malha aberta do sistema. O sistema só estabilizará depois de um certo tempo, ou seja, quando a de saída do conversor for aproximadamente constante.

### 5.7. Orçamento

Na tabela abaixo, são apresentados os preços dos componentes

Componente	Preço Unitário(MT)	Quantidade	Preço Total (MT)
Diodos	15.00	25	375
IR2110	300.00	1	300,00
MOSFET	30.00	6	180,00
MC4049	400.00	1	400.00
MC4050	350.00	1	350.00
LM311	500.00	1	500,00
Resistor	5.00	20	100,00
ICL8038	300.00	1	300,00
LM311	250.00	1	250.00
Transistor	25.00	6	150.00
Porta AND	35.00	4	140.00
Fonte de alimentação de Multiplas saidas (5v; 6v e 12v)	425.00	1	425.00
Capacitores	15.00	25	375.00
Conversores	1800.00	3	5400.00
Módulo Fotovoltaico	14000.00	10	140000.00
MC4013	240.00	1	240.00
TL494	200.00	1	200.00
<b>TOTAL</b>	<b>18890.00</b>	<b>108.00</b>	<b>149985.00</b>

**Tabela 2:** Preço real dos componentes (fonte:Autor)

A tabela 4: apresenta o preço total dos componentes que serão utilizados para implementar o sistema, onde:

#### Custo de mão de obra

Estima-se que o custo de mão de obra necessária para implementar o sistema será de 30.000,00 MT.

O custo total de implementação do sistema pode ser determinado:

Custo total = Preço total + custo de mão de obra

= 149985 + 30.000,00= 179.985,00 MT

### 5.7.1. Determinação do período de retorno do investimento

Segundo SINOPOLI (2006), com a implementação de sistemas similares ao proposto neste trabalho, consegue-se uma redução no consumo de energia eléctrica, com os aparelhos de ar condicionado e a iluminação, da ordem de 10%. Assim sendo o período de retorno de investimento será dado por:

$$R.I = \frac{V.I}{P.A} = \frac{V.I}{V.A.a - 0.1V.A.a} = \frac{V.I}{0.9V.A.a}$$

Onde:

$R.I$  é o período de retorno do investimento feito.

$V.I$  é o valor investido.

$V.A.a$  é o valor anual actual da factura de energia eléctrica da sala.

Assim sendo, e supondo que o valor da factura mensal de energia do anfiteatroII, é de 250 MT, ter-se-ia para este caso:

$$R.I = \frac{17995,00}{12 \times 250} = 4,94 \text{ anos, o que corresponde a um período de recuperação do investimento, de 4 anos, 3 meses e 7 dias.}$$

## CAPITULO VI- CONCLUSÕES

As fontes alternativas de energia são uma necessidade mundial, tendo em vista a prevista escassez dos combustíveis fósseis, a saturação do potencial hídrico e o facto de que cerca de 60% da população do planeta não tem acesso ainda à energia eléctrica convencional. Para competir com as fontes convencionais de energia, é necessário que o custo da energia gerada através de uma fonte alternativa seja reduzido a níveis equivalentes aos das fontes convencionais, sem considerar, a princípio, o benefício social associado. A produção de energia eléctrica com células foto voltaicas é uma possibilidade muito atraente, por ser não-poluente e renovável. O volume de trabalhos publicados em congressos internacionais sobre energia solar e a variedade de equipamentos industrializados apontam para uma consolidação desta fonte de energia renovável em aplicações diversas, desde a interligação de grandes sistemas foto voltaicos e de "casas isoladas" a grandes barramentos eléctricos, assim como o fornecimento de electricidade a pequenas estações de telecomunicação e a localidades isoladas. Em termos técnicos, o desenvolvimento de células solares foto voltaicas pode ser caracterizado por pequenos e constantes avanços na optimização da eficiência da conversão, associado à tecnologia de materiais.

A utilização dos conversores, para o tratamento da energia eléctrica proveniente de um painel foto voltaico, é uma saída bastante interessante, por permitir a adaptação do funcionamento do conversor de acordo com a potência fornecida pelo painel, tendo em vista que esta potência depende do grau de irradiação solar. Os conversores realizam as comutações dos interruptores de uma forma não-dissipativa. Operam com eficiência na faixa de 93%. Trabalham com frequências de comutação maiores que 30kHz. Com isto, os componentes reactivos de filtragem são reduzidos, aumentando-se, desta forma a densidade de potência.

Este trabalho consistia no desenvolvimento de dois modelos, sendo um o conversor CC/CC, e o outro um inversor CC/CA.

A implementação do conversor CC/CC foi efectuada, obtendo-se resultados satisfatórios relativamente ao seu desempenho, no que diz respeito à comparação entre o modelo desenvolvido e o modelo implementado. Em relação ao inversor CC/CA, não foram obtidos resultados, ficando a sua implementação pela fase de montagem. Isto deveu-se à insuficiência de alguma sensibilidade em relação à geração do PWM, que absorveu boa parte do tempo disponível. Contudo, o trabalho contribuiu para abordar os conhecimentos já adquiridos, nomeadamente nas áreas da Electrónica de Potência e Controlo.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1].A. Pina, Martins, “Sistemas de Electrónica – Fontes Comutadas”, Feup-Leec, 2001.
- [2].A.Pina, Martins, “Electrónica Industrial – CC/CC”, Feup-Leec, 2001
- [3].Applications and Design”, John Wiley & Sons, Inc., 1995.
- [4].James Russell. Record Growth in Photovoltaic Capacity and Momentum Builds for Concentrating Solar Power *Vital Signs*, June 03, 2010.
- [5].Lars Kroldrup. Gains in Global Wind Capacity Reported *Green Inc.*, February 15, 2010.
- [6].N. Mohan, T. M. Underland, W. P. Robbins , “ Power Electronics – Converters.
- [7].National Academy Press, (1981), Renewable Resources and Alternative Technologies for Rural Development, National Academy Press, Washington
- [8].Philip Krein, “Elements of Power Electronics”, UI-UC Oxford University Press, ISBN.
- [9].REN21 (2010). Renewables 2010 Global Status Report p. 15-16.
- [10].REN21 (2008). Global Status Report 2007 REN21 Secretariat, p. 51.
- [11].REN21 (2009). Renewables Global Status Report: 2009 p. 9.
- [12].REN21 (2009). Renewables Global Status Report: 2009 p. 12.
- [13].REN21 (2009). Renewables Global Status Report: 2009 Update p. 15.
- [14].Taylor R. H., (1983), Alternative Energy Sources, Adam Hilger Ltd.
- [15].<http://www.World's largest photovoltaic power plants>.(consultada no dia 3/9/11 pelas 11H).
- [16].[http://www.Solar Trough Power Plants \(PDF\)](http://www.Solar Trough Power Plants (PDF)). .(consultada no dia 7/8/11 pelas 8H).
- [17].<http://www.America and Brazil Intersect on Ethanol>. .(consultada no dia 3/10/11 pelas 12H).
- [18].<http://www.h2brasil.com/energia-renovável.php>. .(consultada no dia 4/9/11 pelas 11H).
- [19].<http://www.China ultrapassou EUA como maior investidor em energia limpa em 2009> (em português). .(consultada no dia 3/11/11 pelas 1H).

# ANEXOS



Figura 67: Representa uma central fotovoltaica (fonte:WWW.fsolar.co

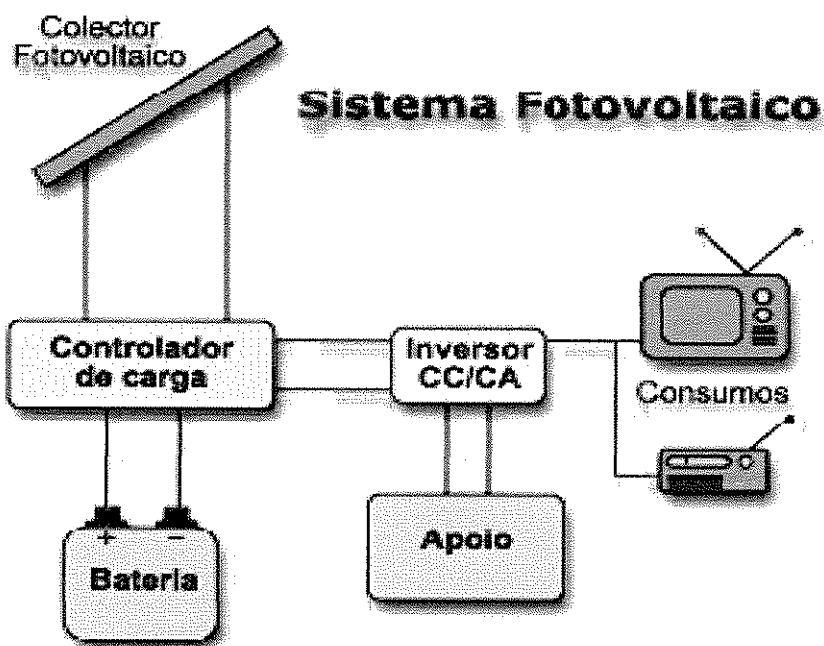


Figura 68: Esquema simplificada de uma central fotovoltaico (fonte:WWW.fsolar.com).

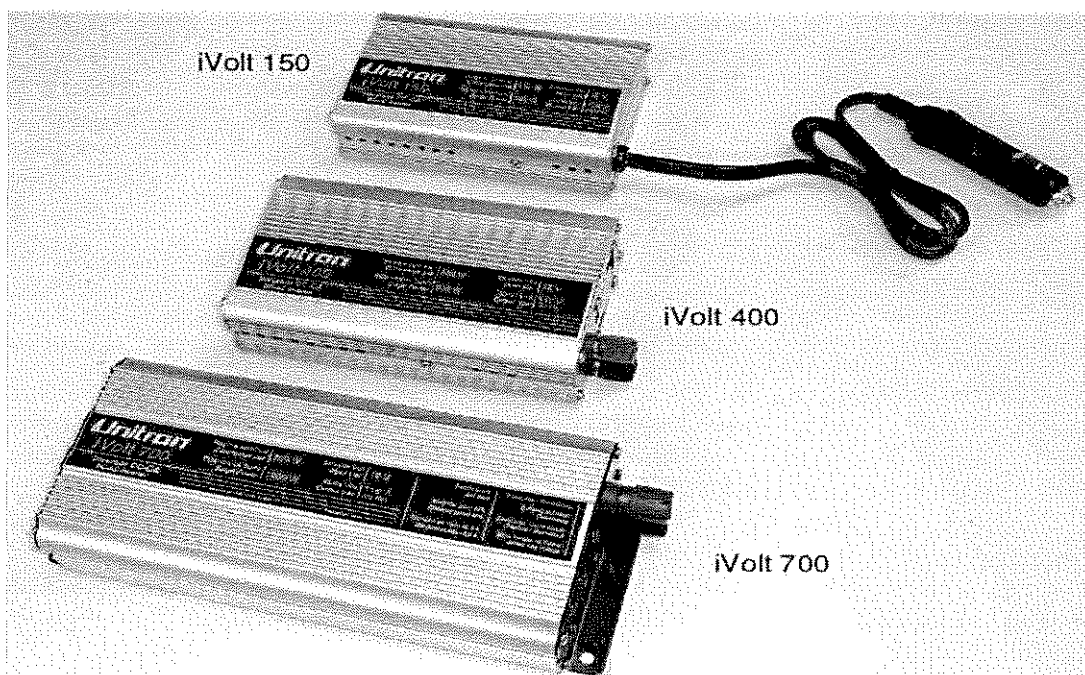


Figura 70 :Inversores(fonte:WWW.fsolar.com).

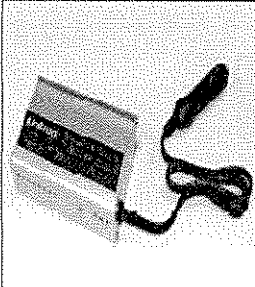
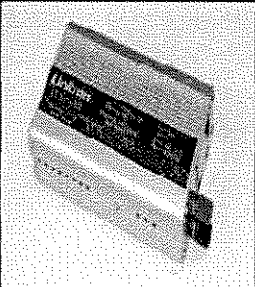
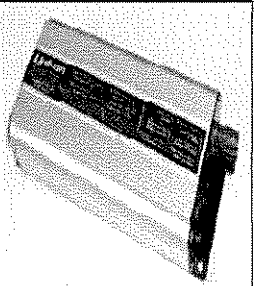
			
	iVolt 150	iVolt 400	iVolt 700
Potência Máxima de Saída	150 W	400 W	700 W
Potência Extra (tempo)	160 W (1 minuto)	450 W (1 minuto)	800 W (tempo indeterminado)
Potência de Surto	300 W	800 W	1400 W
Consumo em Vazio (sem aparelhos ligados à saída)	<1 W	<1 W	<9 W
Fusível no Plug para Tomada Automotiva	20 A	15 A	---
Fusível Interno	---	40 A	4 x 25 A

Tabela 3:Características dos inversores (fonte:WWW.fsolar.com).