

# **Sistema de repulsão de vespas asiáticas à entrada em colmeias de abelhas**

**Luís Carlos Pereira Mendes**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Eletrotécnica e de Computadores**  
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Pedro Dinis Gaspar

**maio de 2020**



## **Agradecimentos**

O sistema de repulsão de vespas asiáticas à entrada de colmeias de abelhas apoia o agradecimento que endereço ao meu orientador Professor Doutor Pedro Miguel de Figueiredo Dinis Oliveira Gaspar pelo acompanhamento, apoio e interesse manifestado durante todo o projeto, mesmo à distância.

Importa agradecer também ao Engenheiro João Faria por toda a força, acompanhamento e amizade prestada.

Em todos os momentos, toda a força e disponibilidade financeira prestada, um infinito agradecimento aos meus pais Maria de Lurdes e José Rodrigues e ao irmão Nuno Mendes.

Á namorada Ana Mendes, por todo o apoio, paciência e ajuda ao longo deste percurso.

A todos os amigos que me acompanharam nesta jornada.

A todos um bem haja.



## **Resumo**

Esta dissertação apresenta o desenvolvimento de um meio de controlo e redução dos efeitos da praga da Vespa asiática nas colmeias de abelhas, reduzindo os danos que infringe tanto na recolha de mel, pólen, ceras e própolis, mas também dificultando a tarefa mais importante da abelha, a polinização.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema a ser colocado à entrada das colmeias de abelhas, que por meio do uso de uma descarga elétrica (princípio dos mata moscas), impeça a sua entrada ou repila a vespa asiática. O sistema devidamente equipado com gerador de tensão, tratamento, controlo e elevação de tensão é constituído por uma arpa elétrica composta por dois condutores devidamente espaçados entre si, que produzem uma descarga elétrica nas vespas quando estas entram em contacto com os dois fios. Este sistema não tem como objetivo dizimar a vespa, mas sim controlar o seu ataque a colmeias de abelhas. O sistema destina-se a ser implantado nos apiários com o intuito de manter o número de abelhas, visto ser fundamental assegurar a existência desta espécie para garantir a polinização das flores e por consequência promover a sustentabilidade ecológica.

## **Palavras-chave**

Vespas asiáticas; Harpa elétrica; Controlo; Repulsão; Conversor; Flyback; Energia fotovoltaica; multiplicador de tensão.



## **Abstract**

This dissertation presents the development of a method of controlling and reducing the effects of the Asian wasp pest on bee hives, reducing damage that imposes in the production of honey, pollen, waxes and propolis, but also hampering the bee's most important task, pollination.

This work aims at the development of a system to be placed at the entrance of bee hives, which, through the use of electric discharge (principle of fly kills), prevent or repel the Asian wasp. The system properly equipped with voltage generator, treatment, control and voltage increase will be composed of electric harps that with two conductors properly spaced between them, will do the electric discharge in the wasps when they come in contact with the two wires. This system is not intended to decimate the wasp, but rather to control their attack on bee hives. The system will be deployed in apiaries in order to maintain the number of bees, since it is essential to ensure the existence of this species to guarantee flowers pollination and consequently ecological sustainability.

## **Keywords**

Asian wasp; Electric harps; Control; Repelling; Converter; Flyback; Photovoltaic energy; Voltage multiplier.



# Índice

<b>Agradecimentos .....</b>	<b>i</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>v</b>
<b>Índice .....</b>	<b>vii</b>
<b>Lista de Figuras.....</b>	<b>xi</b>
<b>Lista de Tabelas.....</b>	<b>xv</b>
<b>Lista de Acrónimos.....</b>	<b>xvii</b>
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. O problema em estudo e a sua relevância .....	3
1.3. Objetivos e contribuição da dissertação .....	3
1.4. Visão geral e organização da dissertação .....	6
<b>2. Estado da Arte.....</b>	<b>7</b>
2.1. Dispositivos de controlo .....	7
2.1.1. Cavalo de Tróia .....	7
2.1.2. Eliminação do ninho .....	7
2.1.3. Armadilhas.....	8
2.1.4. Harpa elétrica .....	9
2.2. Conversores .....	10
2.2.1. Fundamentos .....	10
2.2.2. Conversores não isolados.....	11
2.2.3. Conversores DC/DC isolados.....	23
<b>3. Materiais e Métodos .....</b>	<b>29</b>
3.1. Multisim .....	29
3.2. Proteus.....	30

3.3.SketchUp.....	31
3.4.Nota Conclusiva.....	32
<b>4. Desenvolvimento do Protótipo.....</b>	<b>33</b>
4.1. Sistema derivado da rede elétrica.....	33
4.2.Sistema alimentado por rede elétrica AC.....	33
4.2.1. .... Multiplicadores de tensão.....	33
4.2.2. Modo noturno.....	40
4.3.Fonte de alimentação do circuito de proteção.....	40
4.3.1. Circuito modo noturno.....	42
4.4.Sistema fotovoltaico.....	44
4.5.Estudo para sistema Fotovoltaico.....	44
4.5.1. Tecnologia Solar Fotovoltaica.....	44
4.5.2. Efeito Fotovoltaico e Células Solares Fotovoltaicas.....	45
4.5.3. Células fotovoltaicas.....	45
4.5.4. Escolha do painel.....	47
4.5.5. Dimensionamento do conversor <i>Buck-Boost</i> para carregamento da bateria.....	48
4.5.6. Controlo.....	52
4.5.7. Dimensionamento do conversor <i>flyback</i> .....	52
4.5.8. LM555 - Configuração dos pinos e suas funções.....	53
4.5.9. Configuração do LM555.....	54
4.6.Simulações com o LM555.....	56
4.6.1. Simulação 1.....	56
4.6.2. Simulação 2.....	57
4.6.3. Simulação 3 - resistência variável a 0%.....	58
4.7.Desenho do circuito no Proteus.....	59
4.8.Tensão de saída.....	60

4.8.1. Inversor.....	61
4.8.2. Estudo do Inversor.....	62
4.9. Circuito do inversor.....	63
4.9.1. Inversor PCB.....	64
4.10. Proteções do circuito e carga.....	65
4.10.1. Modo noturno.....	65
4.10.2. Circuito de proteção de nível de bateria.....	65
4.10.3. Proteção de descarga da bateria (PCB).....	67
4.11. Baterias.....	68
4.11.1. Tipo de bateria.....	68
4.11.2. Técnicas de carga de baterias.....	68
4.11.3. Dados conclusivos.....	69
4.11.4. Harpa Elétrica.....	70
<b>5. Conclusões.....</b>	<b>71</b>
5.1. Conclusões gerais.....	71
5.2. Trabalho Futuro.....	72
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>73</b>



## **Lista de Figuras**

Figura 1-Vespa Velutina. ....	2
Figura 2-Diagram de blocos da estrutura do sistema de controlo e repulsão de vespas asiáticas. ....	4
Figura 3-Diagrama de blocos da estrutura do sistema de controlo e repulsão de vespas asiáticas – Sistema alimentado por painel fotovoltaico. ....	5
Figura 4-Diagrama de blocos da estrutura do sistema de controlo e repulsão de vespas asiáticas – Sistema alimentado pela rede elétrica. ....	6
Figura 5-Destruição de um ninho de vespa Velutina .....	8
Figura 6-Armadilha para Vespas.....	9
Figura 7-Esquema eletrico Conversor Step-down [5]. ....	11
Figura 8- Conversor Step-Down, Comportamento da corrente $i_L$ [5]. ....	12
Figura 9-Etapas do conversor Step-down. ....	13
Figura 10-Conversor Boost [5]. ....	15
Figura 11- Conversor Boost, Comportamento da corrente $i_L$ [5]. ....	16
Figura 12-Etapas do conversor Boost. ....	16
Figura 13- Conversor Boost, comportamento do circuito em condução contínua [5]. ....	17
Figura 14- Conversor Boost, corrente na bobina. [5] .....	18
Figura 15-Conversor Buck-boost [5]. ....	21
Figura 16-Etapas do conversor Buck-boost.....	21
Figura 17- Conversor Buck-Boost, comportamento da corrente (condução contínua) [5]. ....	22
Figura 18-conversor Flyback [5]. ....	23
Figura 19-Etapas do conversor Flyback. ....	24
Figura 20-Conversor Forward [5]. ....	25
Figura 21 --Etapas do conversor Forward. ....	26
Figura 22-Conversor Push-Pull [5]. ....	27
Figura 23 -Layout Multisim [7]. ....	29
Figura 24-Layout Proteus [10]. ....	31
Figura 25-Modelação 3D da harpa elétrica, desenvolvido no programa SketchUp.....	32
Figura 26-Diagrama de blocos para o circuito 2. ....	33
Figura 27-Estudo das correntes no multiplicador de tensão [11]. ....	34
Figura 28-Estágios do multiplicador de tensão [11]. ....	34
Figura 29-Circuito 1º estágio.....	35
Figura 30-Circuito 2º estágio [11]. ....	36

Figura 31-Circuito 3º estágio [11].	36
Figura 32-Circuito 4º estágio [11],	37
Figura 33-Fonte de tensão na simulação.	38
Figura 34-Simulação do multiplicador de tensão para uma saída de 1,3 kV.	38
Figura 35-Imagem relativa ao circuito multiplicador de tensão.	39
Figura 36-Imagem 3D da placa de circuito impresso relativo ao multiplicador de tensão.	39
Figura 37-Negativo do circuito do multiplicador de tensão (vista de topo).	39
Figura 38-Circuito para abaixamento e retificação da rede para 12 V.	41
Figura 39-Circuito de modo noturno ligado à rede elétrica (noite).	41
Figura 40-Circuito de modo noturno ligado à rede elétrica (dia).	42
Figura 41- Circuito do multiplicador de modo noturno.	42
Figura 42-Imagem 3D da placa de circuito impresso relativo ao Circuito modo noturno.	43
Figura 43-Negativo do circuito do multiplicador de modo noturno (vista de topo).	43
Figura 44-Negativo do circuito do multiplicador de modo noturno (vista de base)	43
Figura 45-Diagrama de blocos para circuito 1.	44
Figura 46-Efeito da diminuição do fator de forma na curva $I-V$ da célula fotovoltaica [3].	46
Figura 47-Efeito da irradiação solar na curva $I-V$ da célula fotovoltaica [3].	46
Figura 48-Efeito da temperatura no funcionamento da célula fotovoltaica [3].	47
Figura 49-Painel fotovoltaico.	47
Figura 50-Ilustração gráfica do ganho do conversor [14].	51
Figura 51-Conversor Flyback desenhado no software Multisim.	53
Figura 52-Pinout do circuito integrado LM555 [16].	54
Figura 53-Circuito standart para o LM555. [16].	55
Figura 54-Circuito para configuração 555.	56
Figura 55-Análise da onda da configuração do LM555, $R_{V2}=100\%$ .	57
Figura 56-Análise da onda da configuração do LM555, $R_{V2}=50\%$ .	58
Figura 57-Análise da onda da configuração do LM555, $R_{V2}=0\%$ .	59
Figura 58-Simulação do circuito flyback com drive.	60
Figura 59-Esquema alimentação via painel com <i>flyback</i> .	61
Figura 60-Esquema alimentação via painel com multiplicador.	61
Figura 61-Circuito Inversor 12 V DC-230 V AC.	62
Figura 62-Estudo da onda de saída do LM555.	63
Figura 63-Imagem relativa ao circuito do inversor.	64

Figura 64-Imagem 3D da placa de circuito impresso relativo ao Inversor.....	64
Figura 65-Negativo do circuito do inversor (vista de topo). ....	64
Figura 66-Negativo do circuito do inversor (vista de baixo).....	65
Figura 67-circuito de proteção bateria (acima de 11 V).....	66
Figura 68-circuito de proteção bateria (abaixo de 11 V). ....	66
Figura 69- Circuito de proteção de carga da bateria. ....	67
Figura 70-Imagem 3D da placa de circuito impresso relativo ao circuito de proteção de carga da bateria. ....	67
Figura 71- Negativo do circuito de proteção de carga da bateria (vista de topo). ....	68
Figura 72-Negativo do circuito de proteção de carga da bateria (vita de baixo).....	68
Figura 73-Harpa Elétrica, modelação no programa SketchUp. ....	70



## **Lista de Tabelas**

Tabela 1-Especificações do LM7812. [13].....	40
Tabela 2-Descrição do Pinout do circuito integrado LM555 [16]. .....	54
Tabela 3-Técnicas de carga para baterias [3]. .....	69



## Lista de Acrónimos

Geral:

$C$	Condensador, [F];
$D$	Díodo;
$f$	Frequência, [Hz];
$I$	Corrente, [I];
$L$	Indutância, [H];
$n$	Relação de transformação
$N$	Número de espiras;
$P$	Potência, [W];
$R$	Resistência elétrica, [ $\Omega$ ];
$T$	Interruptor
$T_{on}$	Tempo condução, [s];
$Tr$	Transformador;
$T_s$	Período, [s];
$V$	Tensão elétrica, [V];

*Índices inferiores:*

c	condensador
d	díodo
ce	coletor-emissor
g	gerador
in	entrada;
l	bobina
Ls	secundário
mi	media indutor
Ns	secundário
on	funcionamento
out	saída;
p	primário
t	interruptor
Ts	período

*Simbologia grega:*

$\Delta$  Variação;

$\delta$  Duty cycle

# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento

Pensa-se que a abelha, tal como a vespa, teve origem há cerca de 100 milhões de anos, quando surgiram as plantas de flor verdadeira. Existem hoje 10 ou 11 famílias de abelhas que englobam 20.000 espécies, entre as quais se encontra a abelha comum cujo nome científico *Apis Melifera* significa abelha que traz mel. Esta abelha é a mais comum em Portugal, sendo uma abelha pouco calma que faz uso do seu ferrão para defender a sua colónia de potenciais predadores.

A abelha tem um papel importantíssima no nosso ecossistema, sendo responsável pela polinização de um variado número de flores, entre elas, frutas bem nossas conhecidas como é o caso da maçã, kiwi, uva, morango, banana, entre outras [1].

*“(...) Einstein “se as abelhas desaparecerem da face da Terra, a humanidade terá apenas mais quatro anos de existência. Sem abelhas não há polinização, não há reprodução da flora, sem flora não há animais, sem animais, não haverá raça humana”. (in “Não deixem morrer as abelhas”, Frank Littlewall, 2015, 25)*

A abelha faz polinização voando de flor em flor à procura de néctar e pólen para se alimentar e levar reservas para a sua colónia. A flor é considerada o órgão sexual das plantas. Esta pode ter ambos os sexos, hermafroditas, ou no caso de possuir apenas um sexo é apelidada de dióica. Ao conjunto dos órgãos reprodutor masculino é dado o nome *Androceu* e ao conjunto dos órgãos reprodutores femininos é dado o nome *Gineceu* [1].

A polinização é feita no transporte do pólen do órgão reprodutor masculino para o feminino, no caso de flores hermafroditas. Todo o processo é feito na própria flor (exemplo: flor de macieira). No caso de flor dióica, é feito entre duas flores de sexo diferente (exemplo: flor de Kiwi).

A abelha, derivado ao pelo abundante no seu corpo, ao visitar cada flor, agarra várias partículas de pólen do órgão masculino, sendo que sem dar conta deposita no órgão feminino.

Em todo o mundo, pelo menos 75% das culturas alimentares dependem, de alguma forma, da polinização. A produção agrícola dependente de animais polinizadores aumentou 300% durante os últimos 50 anos. Só a produção de cereais e frutas, que depende diretamente da polinização entre 5% a 8%, representa cerca de 213 a 523 mil milhões de euros. Em Portugal, os produtos derivados da abelha geram na economia cerca de 100 milhões de euros [1].

Das abelhas podem ser colhidos, mel, pólen, cera, própolis e apitoxina, sendo que este último é cada vez mais usado para tratamentos. No entanto existem doenças, pragas entre elas, varroa, pássaros e agora a vespa, que pode dizimar enxames um pouco tempo.

Em Portugal, a vespa Asiática trata-se de uma espécie invasora e constitui uma séria ameaça tanto às abelhas autóctones como ao ser humano. Devido ao seu tamanho, ao seu instinto de caça, à sua agressividade e à sua rápida propagação, este inseto deixou de ter controlo e é considerado em Portugal como uma praga [2]. Este inseto é composto por uma fundadora que num ano aumenta o número de vespas no seu ninho para cerca 2000 vespas.

A Vespa velutina é uma vespa de grandes dimensões (ver Figura 1). A rainha possui um corpo com cerca de 3 cm enquanto que a obreira possui um corpo com cerca de 2,5 cm. A cabeça é preta com face laranja/amarelada. O corpo é castanho-escuro ou preto aveludado, delimitado por uma faixa fina amarela e um único segmento abdominal quase inteiramente amarelado-alaranjado. Os ninhos primários têm cerca de 5-10 cm de diâmetro. Os ninhos secundários têm uma forma redonda ou em pera, com cerca de 50-80 cm de diâmetro, e são geralmente feitos em árvores altas em áreas urbanas e rurais.



Figura 1-Vespa Velutina, imagem retirada em: [https://www.phosphorland.pt/wp-content/uploads/2016/08/Vespa\\_velutina\\_nigrithorax\\_MHNT\\_dos.jpg](https://www.phosphorland.pt/wp-content/uploads/2016/08/Vespa_velutina_nigrithorax_MHNT_dos.jpg) [consultado a 19 de novembro 2019].

Em cada ninho, no final da estação saem até 6 fundadoras que irão hibernar e retornar no ano seguinte. Com esta rápida propagação é presumível que a espécie aumente seis vezes a cada ano. Até à data de outubro de 2019 tem sido registado uma média de 6 ninhos de vespas por dia [2].

## **1.2. O problema em estudo e a sua relevância**

No decorrer dos anos, a vespa tem-se instalado cada vez mais na Europa, sendo esta considerada um inseto perigoso capaz de matar pessoas. Todos os anos, em meados de agosto aparece em massa para dizimar abelhas, conseguindo mesmo eliminar um enxame por completo. Esta praga além de se alimentar de néctar na época baixa de floração, ataca as abelhas, prejudicando assim também o trabalho das abelhas, pois sentem medo de sair da colmeia e são incapazes de fazer a recolha de néctar no campo. Na escassez de soluções, tanto na identificação dos ninhos, na eliminação como no controlo, há necessidade de recorrer às inúmeras formas para resolver este problema [2].

## **1.3. Objetivos e contribuição da dissertação**

Com aparecimento da praga da vespa Asiática (*Vespa velutina*), surge a necessidade de controlar e proteger as abelhas (*apis mellifera iberiensis*).

Tendo em foco o problema descrito, pretende-se recorrer à eletrónica para solucionar o problema maior, controlando e repelindo a entrada de vespas asiáticas nas colmeias, ajudando as abelhas na sua real função, como a recolha do mel e polinização. Esta solução vai ao encontro de ajudar os enxames a sobreviverem, pois, as vespas são um predador natural da abelha.

A proposta apresentada passa pelo uso de uma descarga elétrica (princípio dos mata moscas), em que um sistema devidamente equipado com gerador de tensão, tratamento, controlo e elevação de tensão é aplicado a harpas elétricas que com dois condutores devidamente espaçados entre si, que fazem a descarga elétrica nas vespas quando as mesmas entrarem em contacto com os dois fios.

É usado uma harpa de dois condutores entrelaçados (princípio da raquete mata insetos). Para matar a vespa é necessária uma tensão de saída acima dos 2000 V. A entrada do sistema tem uma alimentação de 12V fornecidos por uma bateria, sendo esta carregada por um sistema de carregamento de baterias alimentado por painéis fotovoltaicos ou ligado à rede elétrica 230 V. Estas são as condições iniciais do sistema, pelo que todo o desenvolvimento tem estas condições em consideração. Quando a alimentação é realizada por bateria, o sistema tem um controlo on/off do conversor consoante a carga da bateria.

Caso nível baixo, o sistema permanece desligado. Se tiver carga, liga o sistema. Possui também um circuito que permite que o sistema se ligue durante o dia e se desligue durante a noite, protegendo assim a bateria, visto não haver captação de energia solar durante a noite. No caso de ser alimentado por rede elétrica (AC), o sistema possui apenas a proteção noturna, desligando durante a noite, evitando assim matar outros animais noturnos.

Primeiramente, é preciso ter em atenção o nível de corrente na saída e para isso é calculada a resistência interna da vespa.

Assim, a presente dissertação propõe uma solução eletrónica de combate à praga da Vespa asiática que dizima os enxames da conhecida abelha do mel.

Para elaborar uma harpa com saída em alta tensão (acima de 1 kV), é necessário um estudo prévio para identificar as necessidades e os problemas. Para o efeito é necessária a estrutura exposta no diagrama de blocos da Figura 2.

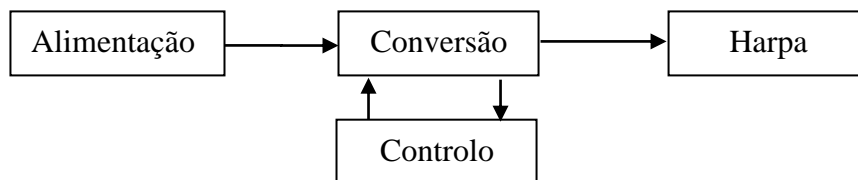


Figura 2-Diagram de blocos da estrutura do sistema de controlo e repulsão de vespas asiáticas.

Mais detalhadamente, o sistema tem dois métodos de funcionamento, um em que o sistema é alimentado pela rede elétrica (230 V AC) e noutro, em que o sistema é alimentado por um painel fotovoltaico em que tem carregamento de bateria. Em ambos os casos, o sistema tem métodos de poupança de energia. No caso do sistema alimentado pela rede, tem um circuito elétrico que desliga o sistema em período noturno (momento em que as vespas não atacam). No caso do sistema alimentado por painel fotovoltaico, tem também proteção noturna e um circuito de proteção de carga. Na eventualidade da carga da bateria baixar, o sistema é desligado, evitando assim uma descarga excessiva.

O sistema alimentado por painel fotovoltaico é mais vantajoso devido à fácil aplicação, e porque grande parte dos apiários se encontram afastados das povoações e por vezes sem possibilidade de ligação à rede elétrica. No entanto, este sistema tem mais particularidades e é necessário um estudo mais aprofundado e acaba por ter um maior valor de aquisição. O diagrama de blocos da estrutura do sistema alimentado por painel fotovoltaico é apresentado na Figura 3.

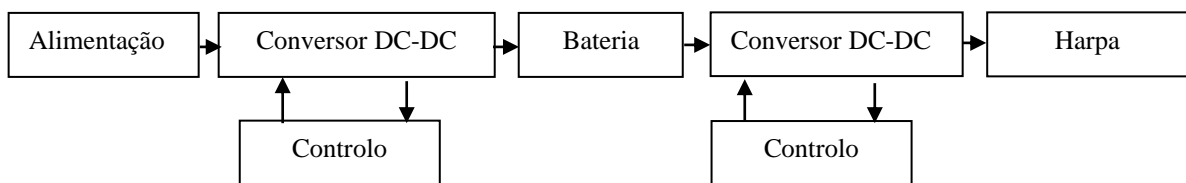


Figura 3-Diagrama de blocos da estrutura do sistema de controlo e repulsão de vespas asiáticas – Sistema alimentado por painel fotovoltaico.

O sistema alimentado por rede elétrica é impossível em alguns apiários localizados em zonas remotas sem acesso à rede de energia elétrica. No entanto, fica mais em conta em termos monetários, pois evita um conjunto de conversores, baterias e o próprio painel fotovoltaico. Na Figura 4 é exposto o diagrama de blocos da estrutura do sistema de controlo e repulsão de vespas asiáticas alimentado pela rede elétrica.

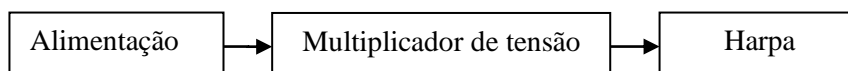


Figura 4-Diagrama de blocos da estrutura do sistema de controlo e repulsão de vespas asiáticas – Sistema alimentado pela rede elétrica.

#### **1.4. Visão geral e organização da dissertação**

A dissertação encontra-se distribuída por três capítulos. Primeiramente é feita uma contextualização explicativa dos insetos que originam o problema e dos que são consequentemente afetados pelo problema (vespa e abelha, respetivamente).

Apresentado o problema, no segundo capítulo são abordados os métodos de controlo existentes, suas vantagens, desvantagens e modo de aplicação/execução. É abordada uma solução ainda recente, a harpa que acarreta o uso de diversos conversores.

No terceiro capítulo é apresentado um estudo dos softwares necessários para todas as simulações e recolha de dados, tanto numéricos como gráficos.

Por fim, são apresentados todos os processos na elaboração dos protótipos, estes com a sua respetiva análise. Neste capítulo estão incorporadas várias soluções, sendo que algumas dessas surgem durante o estudo da solução apresentada ao longo da presente dissertação.

## **2. Estado da Arte**

### **2.1. Dispositivos de controlo**

Existem já métodos de combate à vespa asiática, sendo todos eles exclusivos e aplicados por apicultores. No entanto, nenhum desses métodos é eficaz. Para aumentar a eficácia, é usado o máximo possível de meios para controlar esta praga. Entre eles existem os métodos de seguida descritos.

#### **2.1.1. Cavalo de Tróia**

Um cavalo de Tróia consiste em apanhar várias vespas e introduzir veneno no seu dorso, sendo estas posteriormente libertas para regressar ao seu ninho. Para este método, os apicultores escolhem veneno com ação lenta para evitar que vespa morra antes de chegar ao seu ninho. O objetivo consiste na vespa espalhar o odor do veneno no ninho. Claro que este método ganha eficácia quantas mais vespas forem enviadas com veneno. No entanto, este método exige apanhar vespas, trabalhar com veneno e perder bastante tempo [2].

#### **2.1.2. Eliminação do ninho**

No caso de descoberto o ninho, há a possibilidade de o eliminar recorrendo a veneno ou a lume. No caso de ser usado lume para queimar o ninho de vespas, este método deve ser aplicado durante o período noturno para estarem todas as vespas recolhidas no ninho (exemplo exposto na Figura 6). Na queima do ninho, se esta for realizada em período diurno, estarão muitas vespas fora, na procura de alimento, o que quer dizer que se queima apenas parte do enxame e não a totalidade.

Como sabido, um enxame de vespas tem a particularidade de formar rainhas de forma bastante simples. Com isto, eliminado o ninho, a rainha e parte do enxame, as vespas sobreviventes assumem papel de rainhas e dividem-se formando novos enxames. Para tentar melhorar a eficácia, é usado agora um método em que é aplicado veneno de ação lenta em estacas de madeira e estas são inseridas no ninho, para aos poucos ir matando a criação e todo o enxame. Estes dois métodos são os mais usados, no entanto para o usar é preciso identificar os ninhos, o que não é fácil. Existem ninhos em barracões, casas, mas também existem em pinhais nos topos das árvores, o que torna a identificação como a aplicação do método bastante complicada, como é mostrado na Figura 5 [2].



Figura 5-Destruição de um ninho de vespa Velutina, imagem retirada em: <http://agriculturaemar.com/wp-content/uploads/2019/02/vespa-velutina-asiatica-5192-660x330.jpg> [consultado a 30 de novembro de 2019].

### **2.1.3. Armadilhas**

Existem várias armadilhas no mercado para esta espécie. No entanto, este método é desaconselhado, pois apanha outros insetos, pelo que em nada beneficia o ambiente.

Os apicultores que fazem escolha desta armadilha, fazem uso da mesma num período específico do ano. A vespa atinge o seu pico no fim do verão, sendo que a rainha reduz a postura até o enxame ficar apenas com fundadoras. Estas, futuras rainhas, hibernam por baixo do solo até à primavera, acordando e começando um ninho. Nesta altura, cada vespa que se mata é menos um futuro ninho e futuras fundadoras. Então, os apicultores fazem uso de armadilhas nesta altura para evitar o uso continuado e morte de outros insetos. A armadilha consiste num recipiente com entradas laterais afuniladas. Dentro

tem um atrativo para vespas (líquido), para quando entrarem molharem o corpo e perderem aderência nas patas como mostra a Figura 6 [2].



Figura 6-Armadilha para Vespas, imagem retirada em: <https://melliferaapicultura.com/wp-content/uploads/2018/04/armadilha-vespas-eco.jpg> [consultado a 30 de novembro de 2019].

#### **2.1.4. Harpa elétrica**

Este método tem vindo a ganhar cada vez adeptos, pois trata-se de um método simples e que protege os enxames. É aplicado junto às colmeias e evita a caça furtiva por parte das vespas. É um método que evita perder tempo e trabalha por si mesmo. No entanto, este método não evita a propagação das vespas, mas sim defende dos enxames junto às colmeias.

Para elaborar uma harpa, em que a tensão de electrocução terá de ser acima de 1000 V, é necessário fazer um estudo prévio de conversores. Este estudo será apresentado de seguida.

## 2.2. Conversores

### 2.2.1. Fundamentos

Os conversores DC-DC são sistemas normalmente utilizados para fornecer uma tensão contínua regulada a partir de uma fonte de tensão contínua não regulada.

Geralmente são compostos por transístores e por elementos passivos: díodos, bobinas, condensadores e resistências. Estes conversores são controlados através de modulação por largura de pulso (PWM – *Pulse Width Modulation*), sendo o duty-cycle a principal característica que controla o valor da tensão na saída.

Os conversores DC-DC podem funcionar em três modos diferentes, o modo de funcionamento contínuo (regime não lacunar), o modo de funcionamento descontínuo (regime lacunar) e o modo de funcionamento crítico. O modo de funcionamento está relacionado com a corrente na bobina,  $I_L$ . Se esta corrente nunca for nula, o conversor está a trabalhar no modo de funcionamento contínuo. No caso da corrente na bobina atingir o valor zero, o conversor funciona em modo descontínuo.

O modo de funcionamento crítico ocorre quando a corrente na bobina atinge o valor zero no preciso momento em que termina o período de comutação. O valor médio da tensão à saída do conversor é ajustado através da atuação sobre um componente semiconductor, por exemplo um MOSFET. Este controlo é efetuado por PWM, que é um sinal que define durante um período, o tempo em que o componente está ligado, ou seja, conduz. A gestão do tempo em que o componente está em condução é feita através do duty cycle, que se obtém através do tempo de condução,  $T_{on}$ , sobre o período,  $T_s$ , [3] de acordo com a Equação 1.

$$\delta = \frac{T_{on}}{T_s} \tag{1}$$

Estes conversores podem ser divididos em dois grupos:

- Conversores não isolados: step-down ou buck, step-up ou boost e step-up/down ou buck-boost.
- Conversores isolados: flyback, forward, push-pull, meia ponte e ponte completa.

Os conversores isolados denominam-se desta forma pois possuem um transformador no seu circuito que isola a saída da entrada [4].

### 2.2.2. Conversores não isolados

#### Conversor Step-down

Este tipo de conversor, na saída ( $V_{out}$ ) tem um valor igual ou inferior do que aquele aplicado na entrada ( $V_{in}$ ). Este é composto por 4 componentes básicos, sendo eles, um interruptor de potência  $T$ , o diodo  $D$ , a bobina  $L$  e o condensador  $C$ . O circuito elétrico deste tipo de conversor encontra-se exposto na Figura 7.

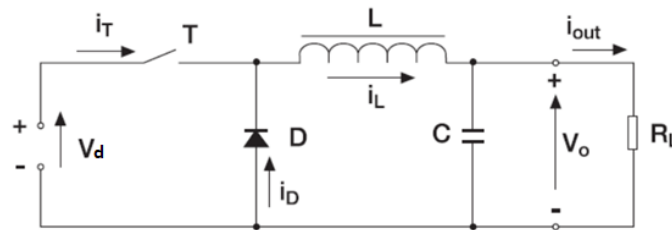


Figura 7-Esquema elétrico Conversor Step-down [5].

Especificamente, o interruptor comuta a uma frequência designada de comutação ( $f_s$ ).

O diodo tem o objetivo de direcionar o fluxo de corrente no circuito e garantir que existe um caminho para que a corrente da bobinha possa fluir.

A bobina e o condensador têm uma função de filtrar a tensão de saída, fazendo dela uma tensão constante.

#### Condução contínua

No modo de condução contínua, a corrente na bobina (Figura 8) flui continuamente ( $i_L(t) > 0$ ). Assumindo que o circuito opera em regime permanente e que o período  $T_s = t_{on} + t_{off}$ , as formas de onda devem repetir-se ao longo do tempo [5].

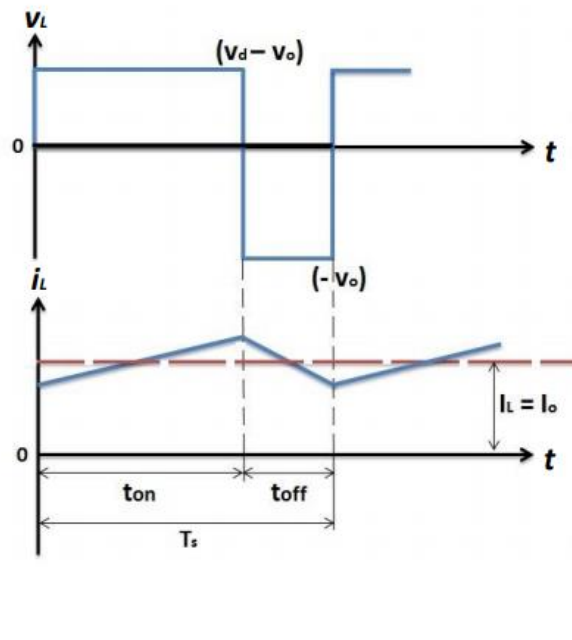


Figura 8- Conversor Step-Down, Comportamento da corrente [5].

Este circuito tem duas etapas, Estado *on* com  $T$  fechado e estado *off* com  $T$  aberto, sendo que este simula um transistor comutado por um PWM (duty cycle), abrindo ou fechando a alimentação de entrada do circuito.

Em  $t_{on}$  ocorre a passagem de corrente no circuito de alimentação ( $i_T \neq 0$ ). Neste caso, existe uma corrente a fluir pela bobina ( $i_L$ ) passando também pela carga na saída ( $R_L$ ). Nesta situação, além de se ter um valor de tensão na saída, a bobina é magnetizada e por sua vez comporta-se como um armazenamento de energia [4]. Na Figura 9 podem ser observadas as duas etapas.

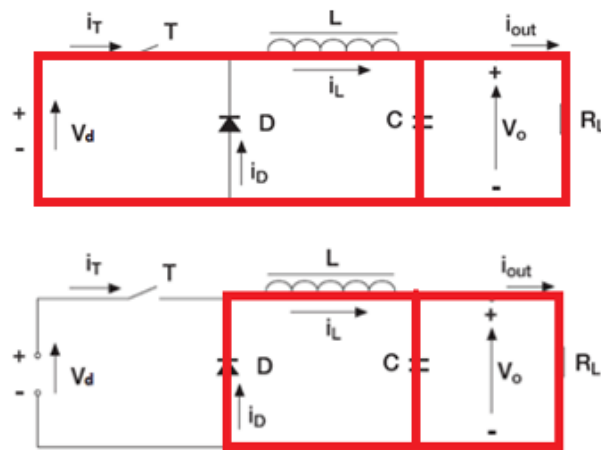


Figura 9-Etapas do conversor Step-down.

No estado on:

Como a bobina armazena energia (corrente que percorre a bobina aumenta) [5]:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{v_d - v_o}{L} \quad (2)$$

A carga e descarga do condensador pode ser descrita por [5]:

$$\frac{di_o}{dt} = \frac{i_L - \left(\frac{v_o}{R}\right)}{C} \quad (3)$$

No estado off:

O circuito de alimentação é aberto e ( $I_T=0$ ) e o diodo ( $D$ ) entra em condução, sendo que a bobina é desmagnetizada transferindo a sua energia diretamente para a saída [5].

$$\frac{di_L}{dt} = -\left(\frac{v_o}{L}\right) \quad (4)$$

$$\frac{dv_o}{dt} = \frac{i_L - \left(\frac{v_o}{R}\right)}{C} \quad (5)$$

O interruptor de potência comuta a uma determinada frequência ( $f_s$ ) e o período de tempo ( $T_s$ ) é dado por [5]:

$$T_s = \frac{1}{f_s} \quad (6)$$

Numa comutação existem dois estados, *on* (Interruptor ligado) e *off* (Interruptor desligado). Para cada estado existe um período associado, sendo respetivamente  $T_{on}$  e  $T_{off}$  [5]:

$$T_s = T_{on} + T_{off} \quad (7)$$

O *duty-cycle* (D) define a quantidade de tempo que o interruptor de potência fica no estado *on* [5].

$$D = \frac{T_{on}}{T_s} \quad (8)$$

Em modo contínuo e para uma determinada tensão de entrada ( $V_d$ ), a tensão de saída ( $V_o$ ) varia linearmente com o *duty-cycle* [5].

$$V_o = \frac{T_{on}}{T_s} \cdot V_d = D \cdot V_d \quad (9)$$

O tempo  $T_{off}$  pode ser expresso [5]:

$$T_{off} = T_s - T_{on} \quad (10)$$

Assim sendo, o funcionamento do circuito será [5]:

$$(V_d - V_o) \cdot T_{on} = V_o \cdot (T_s - T_{on}) \quad (11)$$

Ignorando as perdas de potência associadas aos elementos do circuito, a potência de saída ( $P_o$ ) igual à potência de entrada  $P_d$  [5]:

$$P_o = P_d \tag{12}$$

$$V_d \cdot I_d = V_o \cdot I_o \tag{13}$$

Ou como relação entre correntes:

$$\frac{I_o}{I_d} = \frac{V_d}{V_o} = \frac{1}{D} \tag{14}$$

### Conversor Boost

Este tipo de conversor, na saída ( $V_o$ ) tem um valor igual ou superior do que aquele aplicado na entrada ( $V_d$ ). Este conversor é composto por 5 componentes básicos, sendo eles, um interruptor de potência  $T$ , o diodo  $D$ , a bobina  $L$  e o condensador  $C$  e controlador de PWM. O circuito elétrico deste tipo de conversor encontra-se exposto na Figura 10.

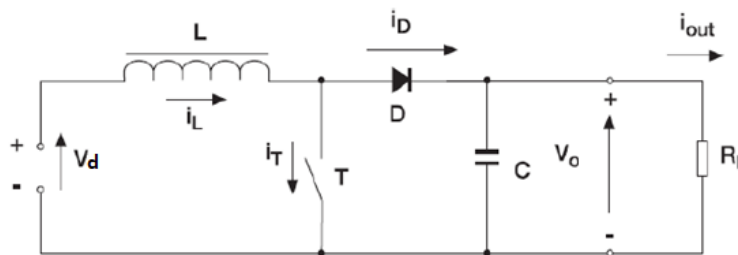


Figura 10- Conversor Boost [5].

### Condução contínua

No modo de condução contínua, a corrente na bobina (Figura 11) flui continuamente ( $I_L(t) > 0$ ). Ao longo de um ciclo e acompanhando os ciclos de carga e descarga da bobina, a corrente na bobina varia respetivamente entre um valor máximo e mínimo. A Figura 11 expressa o comportamento da corrente na bobina para o modo contínuo [5].

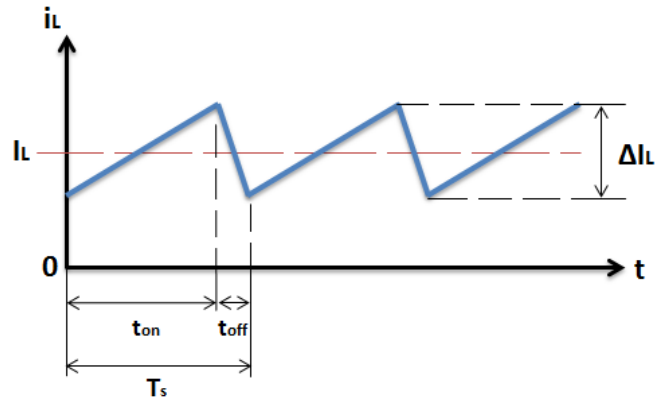


Figura 11- Conversor Boost, Comportamento da corrente  $i_L$  [5].

A primeira etapa ocorre quando há passagem de corrente no circuito de alimentação ( $I_t \neq 0$ ). Neste caso, existe uma corrente a fluir pela bobina ( $I_L$ ), sendo esta magnetizada e por sua vez se comporta como um armazenamento de energia. Como o diodo não conduz, isola o estágio de saída e como tal o condensador mantém a tensão de saída.

Na segunda etapa, o circuito de alimentação é aberto e ( $I_T=0$ ) e o diodo ( $D$ ), diretamente polarizado, entra em condução. Por sua vez, devido a este efeito, a energia que estava na bobina flui pelo circuito até à saída. Os dois estados podem ser observados na Figura 12. Como  $V_d$  e a bobina fornecem energia na saída, esta por sua vez sofre um aumento de tensão.

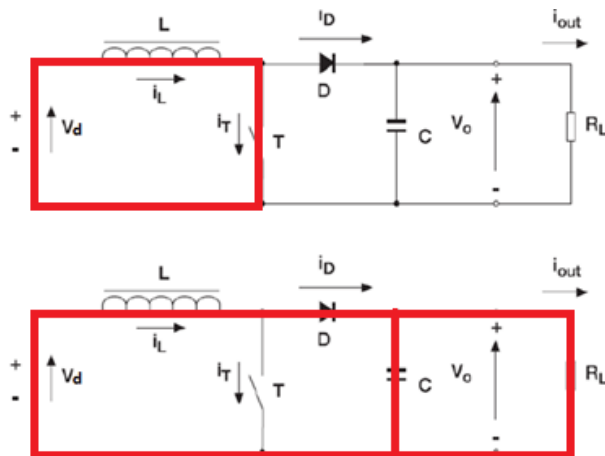


Figura 12-Etapas do conversor Boost.

A tensão de saída é controlada através do tempo  $T_{on}$  em que o interruptor de potência se encontra a conduzir (ver Figura 13).

No estado *on*:

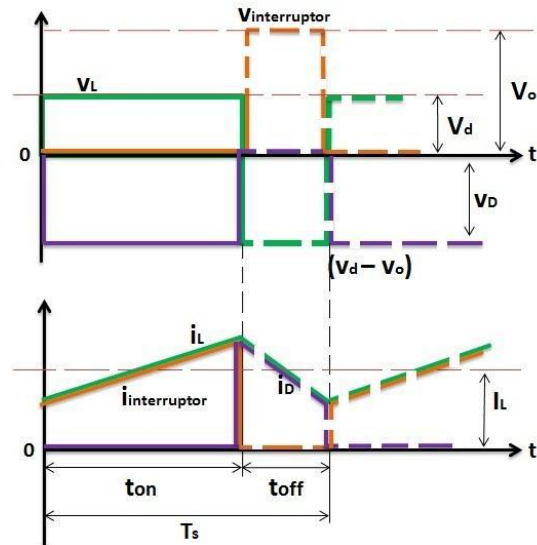


Figura 13- Conversor Boost, comportamento do circuito em condução contínua [5].

Em cada ciclo de comutação, o interruptor permanece ligado por um intervalo de tempo  $T_{on}$  [5]:

$$T_{on} = D \cdot T_s \quad (15)$$

Como a taxa de crescimento da corrente na bobina depende do valor de tensão ( $V_d$ ) e pelo valor de indutância ( $L$ ), a equação diferencial que descreve esta condição é [5]:

$$L \cdot \frac{di_L}{dt} = v_d(t) \quad (16)$$

No regime permanente, a corrente na bobina tem um valor superior a zero. Durante  $T_{on}$  a corrente na bobina acresce do valor  $\frac{\Delta I_L}{2}$  (ver Figura 14).

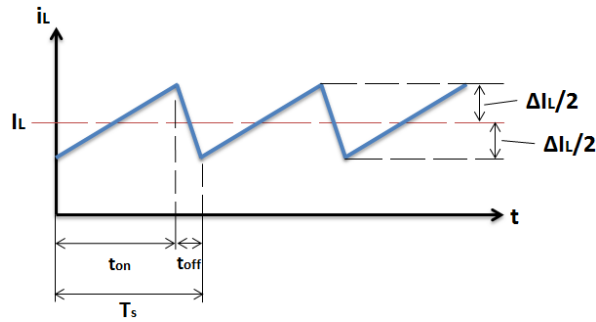


Figura 14- Conversor Boost, corrente na bobina. [5]

O valor da corrente na bobina ( $I_L$ ) pode ser expresso em termos de valor médio e varia de acordo com a Equação 17 [5].

$$I_{L\max} = I_L + \left(\frac{\Delta I_L}{2}\right) \quad (17)$$

Se a tensão da fonte de alimentação se mantiver constante, a corrente na bobina aumenta de uma forma fixa e positiva enquanto a bobina não sature [5]. Assim:

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{V_d}{L} \quad (18)$$

No estado *on*, a tensão aos terminais da bobina é igual à tensão da fonte de alimentação, criando assim uma corrente na passagem pela bobina no intervalo de tempo  $T_{on}$ . Esse aumento de corrente na bobina pode ser obtido pela Equação 19 [5].

$$\Delta I_L = \frac{V_d}{L} \cdot (DT_s) \quad (19)$$

A tensão na bobina tem um comportamento descrito pela Equação 20 [5].

$$V_L = L \cdot \frac{di_L}{dt} \quad (20)$$

E desta forma em  $T_{on}$ :

$$V_L = V_d \quad (21)$$

No estado  $T_{off}$ :

O circuito de alimentação é aberto ( $I_T=0$ ) e o diodo ( $D$ ), diretamente polarizado, entra em condução. Por sua vez, devido a este efeito a energia que estava na bobina flui pelo circuito até à saída.

Enquanto a bobina descarrega a sua energia, a tensão aos terminais da bobina faz com que o terminal conectado ao diodo fique positivo em relação ao terminal conectado à fonte de alimentação, como tal, o condensador tem um valor superior à tensão da fonte de alimentação [5].

Assim  $T_{off}$ :

$$T_{off} = (1 - D) \cdot T_S = T_S - (D \cdot T_S) = T_S - T_{on} \quad (22)$$

Quando o interruptor está no estado desligado, apresenta uma impedância bastante elevada, assim, a corrente começa a fluir pelo diodo em direção à carga [5]. Neste caso, a tensão aos terminais da bobina é dada pela Equação 23:

$$V_L = V_d - V_o \quad (23)$$

Como a tensão de saída do circuito é superior à entrada, a tensão nos terminais da bobina é negativa e a taxa de crescimento da corrente que percorre também [5]. Assim:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_d - V_o}{L} \quad (24)$$

Consoante aumenta a resistência da carga, a corrente média da bobina reduz. O valor mínimo de  $I_L$  pode ser expresso em termos de valor médio e varia de acordo com a Equação 25 [5].

$$I_{Lmin} = I_L - \left(\frac{\Delta I_L}{2}\right) \quad (25)$$

No estado *off* num intervalo igual a  $(1 - D) \cdot T_s$ , a alteração da corrente na bobina pode ser calculada pela Equação 26 [5].

$$\Delta I_L = \frac{V_d - V_o}{L} \cdot (1 - D) \cdot T_s \quad (26)$$

Período  $T_s$ :

Em condução contínua, se for considerado que o conversor opera em regime permanente, a quantidade de energia armazenada nos componentes mantém-se inalterável entre o início e o fim de um ciclo.

No fim de um período, o valor médio de  $V_L$  é nulo [5]:

$$V_d \cdot T_{on} + (V_d - V_o) \cdot T_{off} = 0 \quad (27)$$

Como a variação da corrente da bobina ao fim de um ciclo é zero, sendo a resposta  $I_L(t)$  periódica, a soma das variações da corrente na bobina deve ser zero [5].

$$\frac{V_d}{L} \cdot D \cdot T_s + \left(\frac{V_d - V_o}{L}\right) \cdot (1 - D) \cdot T_s = 0 \quad (28)$$

Sabendo que [5]:

$$T_s = T_{on} + T_{off} \quad (29)$$

Obtém-se a equação de tensão de saída em relação à entrada e do *duty-cycle* [5]:

$$\frac{V_o}{V_d} = \left( \frac{T_s}{T_{off}} \right) = \left( \frac{1}{1-D} \right)$$

(30)

### Buck-boost

Este tipo de conversor, na saída ( $V_o$ ) tem um valor inferior ou superior do que aquele aplicado na entrada ( $V_d$ ). Este circuito é utilizado em fontes de alimentação reguladas. O circuito elétrico pode ser consultado na Figura 15.

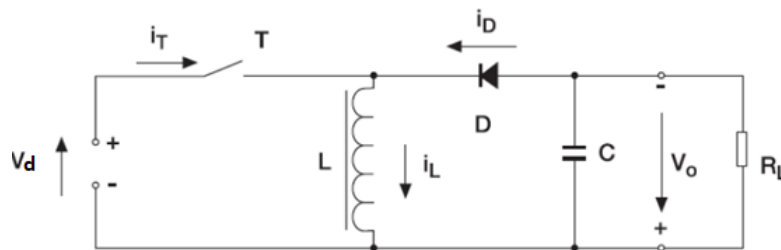


Figura 15- Conversor Buck-boost [5].

Este circuito como os anteriores possui duas etapas, com  $T$  aberto e com  $T$  fechado, sendo que este simula um transístor comutado por um PWM (duty cycle), abrindo ou fechando a alimentação de entrada do circuito. Este circuito na sua saída tem valor negativo relativo à referência (GND). Como o seu nome indica, este conversor é a junção dos dois anteriores (boost e buck). Os dois estados podem ser observados na Figura 16.

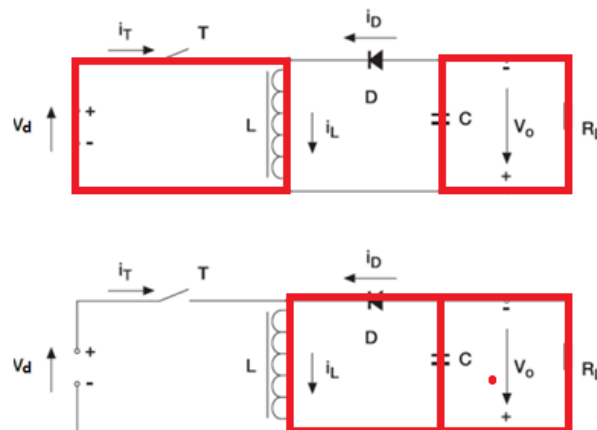


Figura 16- Etapas do conversor Buck-boost.

A primeira etapa ocorre quando há passagem de corrente no circuito de alimentação ( $I_t \neq 0$ ). Neste caso, existe uma corrente a fluir pela bobina ( $I_l$ ), sendo esta magnetizada e por sua vez, comporta-se como um armazenamento de energia. O condensador previamente carregado alimenta a saída.

Na segunda etapa, o circuito de alimentação é aberto e ( $I_t = 0$ ) e o diodo ( $D$ ), diretamente polarizado, entra em condução. Por sua vez, devido a este efeito, a energia que estava na bobina flui pelo circuito até à saída. O condensador descarregado da etapa anterior, carrega nesta etapa para descarregar na próxima, conforme exposto na Figura 17.

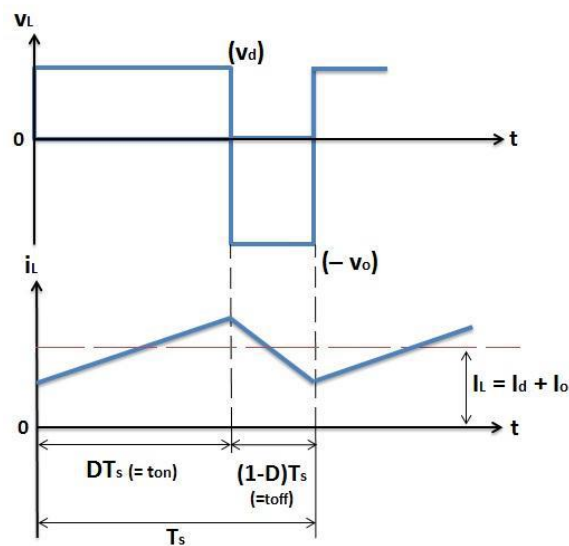


Figura 17- Conversor Buck-Boost, comportamento da corrente (condução contínua) [5].

Analisando o circuito ao longo do um período em regime permanente, obtém-se a relação da saída com a entrada que é dada pela Equação 31 [5]:

$$V_d \cdot D \cdot T_s + (-V_o) \cdot (1 - D) \cdot T_s = 0 \quad (31)$$

Sendo que a saída é dada por [5]:

$$V_{out} \frac{V_o}{V_d} = D \frac{1}{1-D} \quad (32)$$

### 2.2.3. Conversores DC/DC isolados

O que difere este tipo de conversores dos anteriores é o seu isolamento galvânico (magnético). Um transformador de alta frequência que assegura o isolamento entre a saída e a entrada.

#### *Flyback*

Este tipo de conversor, na saída ( $V_o$ ) tem um valor inferior ou superior do que aquele aplicado na entrada ( $V_d$ ). O circuito elétrico pode ser consultado na Figura 18. De referir que o seu funcionamento se baseia na quantidade de energia transferida entra a sua entrada e a sua saída.

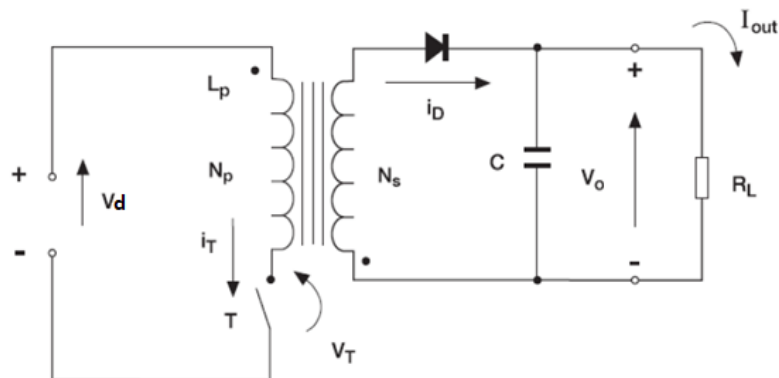


Figura 18-conversor Flyback [5].

Este circuito possui duas etapas, com  $T$  aberto e com  $T$  fechado, sendo que este simula um transístor comutado por um PWM (duty cycle), abrindo ou fechando a alimentação de entrada do circuito. A bobina funciona como o seu isolamento.

A primeira etapa ocorre quando há passagem de corrente no circuito de alimentação ( $I_t \neq 0$ ). Neste caso, existe uma corrente a fluir pelo primário do transformador ( $I_1$ ), sendo este magnetizada e por sua vez se comporta como um armazenamento de energia. Previamente o condensador na saída é descarregado na carga.

Na segunda etapa, o circuito de alimentação é aberto e ( $I_t=0$ ) e a energia previamente armazenada no primário passar para o secundário, diodo ( $D$ ), diretamente polarizado,

entra em condução. Por sua vez, devido a este efeito, a energia que estava na bobina flui pelo circuito até à saída. O condensador descarregado da etapa anterior, carrega nesta etapa para descarregar na próxima. Os dois estados podem ser observados na Figura 19.

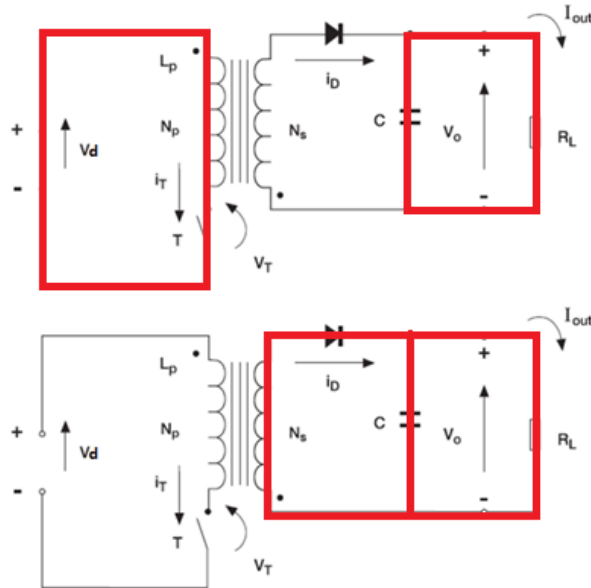


Figura 19-Etapas do conversor Flyback.

Ganho estático para regime não lacunar [5]:

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{N_s}{N_p} \cdot \frac{D}{1-D} \quad (33)$$

Sendo que a saída é dada por [5]:

$$V_o = \frac{N_s}{N_p} \cdot \frac{D}{1-D} \cdot V_d \quad (34)$$

Neste tipo de conversor é aconselhado a utilização de um circuito de *snubber* montado em paralelo com o transistor, devido aos picos de tensão provenientes do ligar e desligar do transistor.

### Forward

Este tipo de conversor deriva do conversor *step-down*, no entanto dependendo da razão de transformação, na saída ( $V_o$ ) tem um valor inferior ou superior do que aquele aplicado na entrada ( $V_d$ ). O circuito elétrico pode ser consultado na Figura 20.

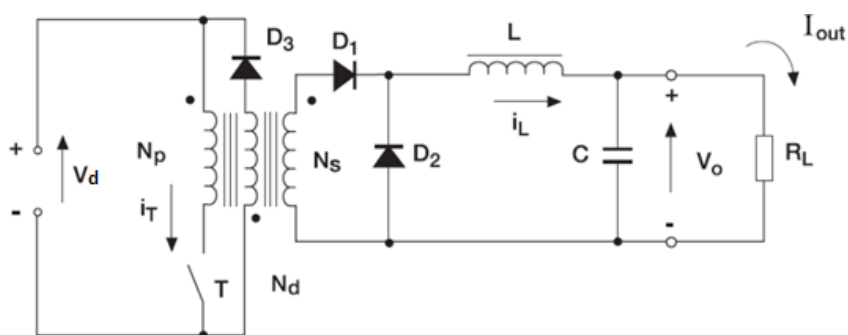


Figura 20- Conversor Forward [5].

Este circuito possui duas etapas, com  $T$  aberto e com  $T$  fechado, sendo que este simula um transistor comutado por um PWM (duty cycle), abrindo ou fechando a alimentação de entrada no primeiro enrolamento do circuito.

A primeira etapa ocorre quando há passagem de corrente no primeiro enrolamento da bobina ( $I_t \neq 0$ ). Neste caso, existe uma corrente a fluir pelo primário do transformador ( $I_t$ ) colocando um valor de tensão diretamente na saída. Nesta etapa, o enrolamento primário é magnetizado e por sua vez comporta-se como um armazenamento de energia.

Na segunda etapa, o circuito de alimentação do primário (primeiro enrolamento) é aberto e ( $I_t=0$ ) e a energia previamente armazenada no primário passa para o secundário, tudo porque o diodo ( $D$ ), diretamente polarizado, entra em condução. Por sua vez, devido a este efeito, a energia que estava na bobina flui pelo circuito até à saída. Os dois estados podem ser observados na Figura 21.

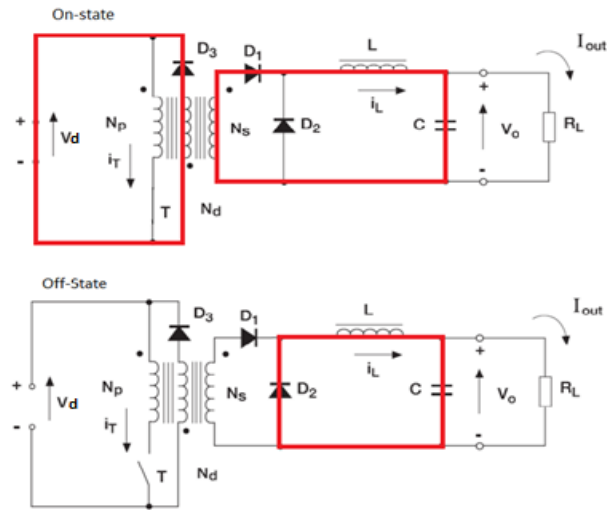


Figura 21 --Etapas do conversor Forward.

O ganho estático do conversor *forward* para o regime não lacunar é o seguinte [5]:

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{N_s}{N_p} \cdot D$$

(35)

### *Push-Pull*

Este tipo de conversor, tal como o anterior, deriva do conversor *step-down*, no entanto dependendo da razão de transformação, na saída ( $V_o$ ) tem um valor inferior ou superior do que aquele aplicado na entrada ( $V_d$ ). Este conversor tem a particularidade de ser composto por dois conversores *forward* a operar em oposição de fase. O circuito elétrico pode ser consultado na Figura 22.

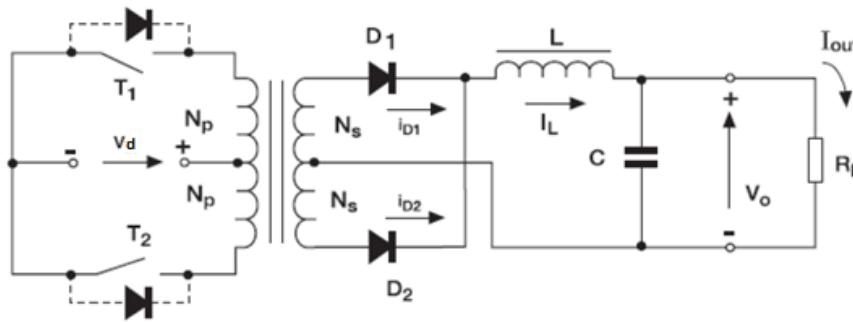


Figura 22- Conversor Push-Pull [5].

Este circuito possui dois transístores que ligados alternadamente fazem com que a frequência da saída seja o dobro da frequência de comutação dos transístores.

Este circuito possui duas etapas, com  $T$  aberto e com  $T$  fechado, sendo que este simula um transístor comutado por um PWM (*duty cycle*), abrindo ou fechando a alimentação de entrada no primeiro enrolamento do circuito. Com isto é possível obter uma tensão de saída com menos oscilações. Neste conversor o *duty-cycle* deve sempre ser inferior a 0,5 para evitar a condução simultânea dos transístores.



### 3. Materiais e Métodos

Para realizar todos os testes, são usadas as ferramentas informáticas de simulação, Multisim e Proteus.

#### 3.1. Multisim

O Multisim é um software de simulação esquemático da *National Instruments Circuit Design Suite*, que auxilia na execução das principais etapas do projeto de circuitos. Este é um ambiente de simulação SPICE padrão da indústria e software de projeto de circuitos para o ensino e pesquisa de eletrônica digital, analógica e de potência [6]. Na Figura 23 é apresentada a janela de trabalho do software [7].

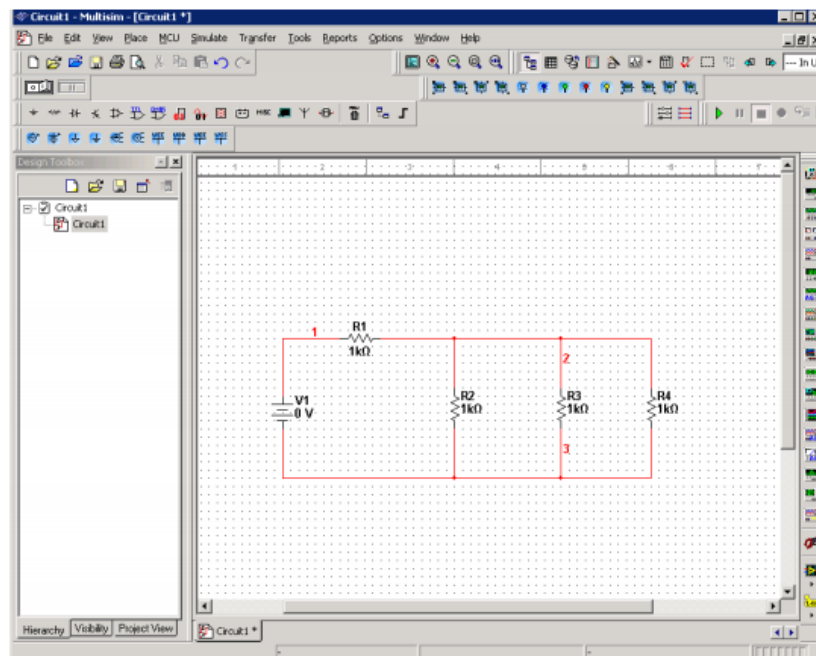


Figura 23 -Layout Multisim [7].

*SPICE* significa *Simulation program with Integrated Circuits Emphasis*, concebido por Laurence W. Nagel na Universidade da Califórnia em Berkeley. O Programa SPICE teve a sua primeira versão finalizada em 1972, escrito na linguagem FORTRAN IV. Cópias gratuitas deste software foram distribuídas pelas universidades e indústria, permitindo, com base nas necessidades dos utilizadores, que fosse melhorado chegando à sua versão SPICE 2. A partir de 1980 tornou-se disponível a versão SPICE 3, cujo programa fonte encontra-se codificado em linguagem “C”.

Em 1985 foi desenvolvido o primeiro programa comercial exclusivamente para ser usado em microcomputadores. É basicamente o programa SPICE2, que foi adaptado pela empresa MicroSim para uso em microcomputadores IBM-PC e posteriormente para workstations com sistema operacional UNIX. A grande vantagem em relação ao programa SPICE2 de Berkeley foi a apresentação de um programa associado chamado PROBE, de modo a permitir a visualização gráfica dos resultados da simulação de modo mais interativo que as listagens originais do SPICE2. As versões mais recentes do programa Pspice incluem a possibilidade de se efetuar além da simulação analógica a simulação lógica do circuito (níveis digitais). Estão também disponíveis diversas “bibliotecas” de dispositivos semicondutores comerciais previamente modelados. Há versões para microcomputadores (Windows e Linux) e para diversos tipos de workstations [7].

### **3.2. Proteus**

O Proteus é um software que permite o desenvolvimento completo de projetos através esquemáticos, simulações e layout's (PCB). A grande diferença do PROTEUS em relação a outros softwares é a capacidade de simular circuitos elétricos e circuitos com microcontrolador, pois além de fornecer componentes animados, também possui as ferramentas necessárias para aperfeiçoar o software desenvolvido para o microcontrolador, acompanhando seu comportamento na simulação do hardware [8]. Na Figura 24 é exposta a janela de trabalho do software [10].

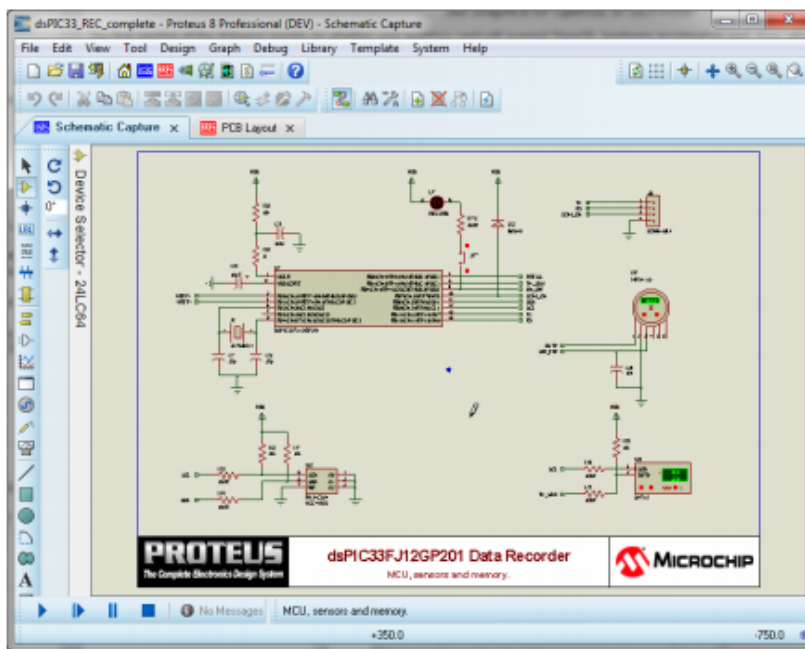


Figura 24-Layout Proteus [10].

### 3.3. SketchUp

O SketchUp é um software que permite a modelação a duas (2D) ou três dimensões (3D), é um software eficiente desenvolvido para etapas conceituais do objeto/projeto. Funcionando como o lápis do desenho digital e combinando diferentes ferramentas, é um programa capaz de organizar e simplificar os projetos 3D, uma vez que tem um layout simples e intuitivo para uma fácil percepção das ferramentas do mesmo [9].

O processo de conceção no software inicia-se através da projeção/desenho na forma 2D sempre em conjunto com a conceção 3D, uma vez que ambas as dimensões são trabalhadas ao mesmo tempo, permitindo ajustar o objeto de estudo e perceber as suas formas tridimensionais para a peça.

Tem-se um programa com diversas ferramentas complementares do desenho, como sombras, perspetivas, materialização do objeto, iluminação solar, entre outros.

Para a presente dissertação, este software foi essencial para o desenho do protótipo da harpa elétrica, solução apresentada para o controlo da incidência da vespa nas colmeias das abelhas durante o processo de polonização. Na Figura 26 é apresentada um desenho 3D da solução da harpa elétrica.

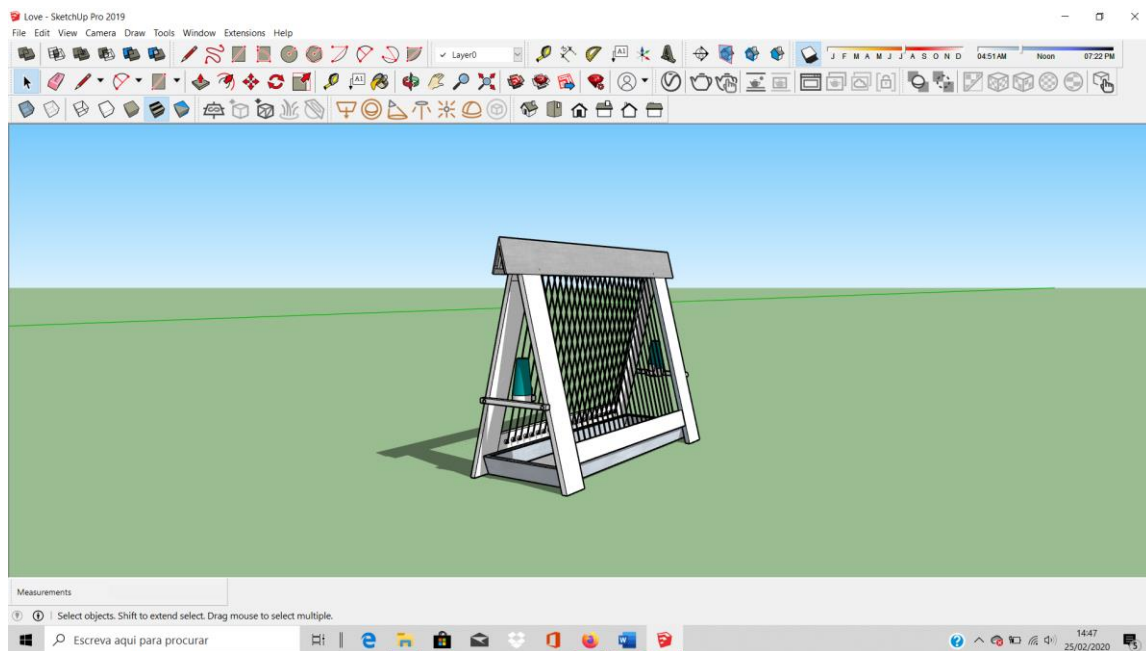


Figura 25-Modelação 3D da harpa elétrica, desenvolvido no programa SketchUp.

### 3.4. Nota Conclusiva

Os conversores existem nos mais variados sistemas e permitem aumentar ou diminuir tensão de saída em relação à entrada. Para esta aplicação, da harpa eléctrica para controlo e repulsão de vespas asiáticas em colmeias, será necessário usar o conversor *Buck-boost* para o carregamento de baterias e o *Flyback* para aumentar a tensão de saída para valores acima de 1,4 kV. No entanto, o conversor *Flyback* necessita de transformador, o que implica consumos constantes.

No próximo capítulo será estudado o funcionamento com conversor *Flyback* para aumento de tensão para alta tensão, mas também será estudado a possibilidade de um multiplicador de tensão.

## 4. Desenvolvimento do Protótipo

Serão estudadas duas soluções diferentes para o mesmo efeito, uma em que o sistema é alimentado pela rede elétrica e outra em que o sistema será alimentado por uma bateria, carregada por um painel fotovoltaico.

### 4.1. Sistema derivado da rede elétrica

Neste caso, como exposto na Figura 26, o sistema alimentado pela rede elétrica 230 V AC irá sofrer uma multiplicação para obter valores acima de 1 kV para ser aplicado à harpa. Será também elaborado um circuito para desligar as cargas durante o período noturno, pois não circulam vespas e desta forma protegem-se os insetos noturnos.

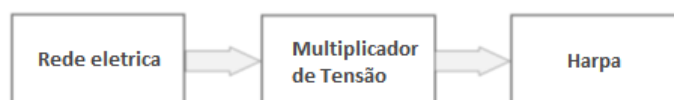


Figura 26-Diagrama de blocos para o circuito 2.

### 4.2. Sistema alimentado por rede elétrica AC

Na possibilidade do apiário estar numa zona com ligação à rede elétrica (apiários perto de casa ou barracões), existe a possibilidade do sistema de alta tensão ser ligado direto à rede. Para tal, dimensiona-se um sistema multiplicador de tensão. Este pode ser ligado diretamente à rede ou pode ser alimentado pela bateria em que terá de integrar um conversor DC-AC [10].

#### 4.2.1. Multiplicadores de tensão

Os multiplicadores de tensão são dispositivos que convertem AC para DC, compostos por díodos e condensadores. Os condensadores produzem uma tensão de CC de alto potencial a partir de tensões mais baixas. Com isto, com os vários estágios consegue-se tensões muito elevadas. Ao elevar-se a tensão, reduz-se a corrente elétrica.

Este tipo de circuito faz frente aos transformadores, pois faz um efeito (entrada/saída) aumentador e com um menor peso e menor volume ocupado. Também tem os seus defeitos, entre quais o atraso entre a entrada e saída, o grande ripple de tensão de saída e o valor de capacitância necessário [11].

O circuito mais conhecido e usado é o circuito multiplicador de meia onda. O seguinte circuito (ver Figura 27) não apresenta perdas e apresenta inversões sequenciais da polaridade do transformador ( $T_s$ ). Na Figura 28 pode ser consultado o número de estados para obter a tensão de saída desejada.

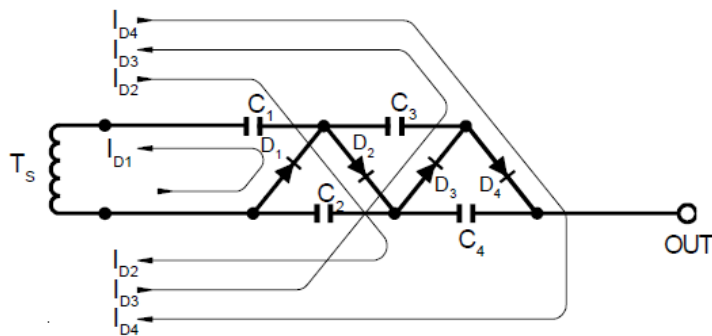


Figura 27-Estudo das correntes no multiplicador de tensão [11].

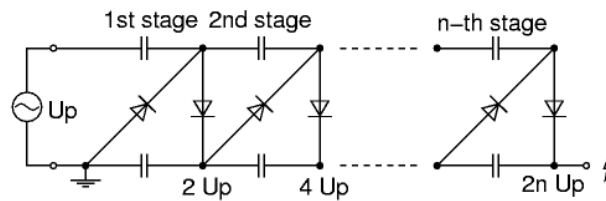


Figura 28-Estágios do multiplicador de tensão [11].

### Análise do funcionamento do circuito

No primeiro semi-circuito:

- $U_p$  está no semi-circuito negativo
- $D_1 = \text{ON}$ ;  $D_2 = \text{OFF}$
- O condensador  $C_1$  carrega com  $+U_p$

No segundo semi-circuito:

- $U_p$  está no semi-circuito positivo
- $D_1 = \text{OFF}; D_2 = \text{ON}$
- O condensador  $C_1$  e a fonte  $UP$  transferem cargas para  $C_2$
- As cargas transferidas apresentam agora o dobro do valor de  $UP$

No terceiro semi-circuito:

- $U_p$  está no semi-circuito negativo
- $D_1 = \text{ON}; D_2 = \text{OFF}$
- O condensador  $C_1$  carrega com  $+UP$
- O condensador  $C_2$  mantém as cargas acumuladas no ciclo anterior

No segundo semi-circuito:

- $U_p$  está no semi-circuito positivo
- $D_1 = \text{OFF}; D_2 = \text{ON}$
- O condensador  $C_1$  e a fonte  $UP$  transferem cargas para  $C_2$
- A tensão em  $C_2$  aumenta

O processo repete-se resultando num crescimento exponencial da tensão em  $C_2$  até atingir  $2U_p$  (caso não haja corrente na saída) [12]. Quando  $D_1$  está a conduzir (semi-circuito negativo), o circuito elétrico corresponde ao exposto na Figura 29.

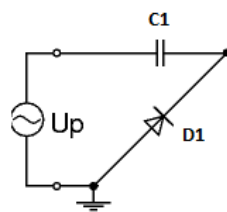


Figura 29-Circuito 1º estágio.

$D_1$  comporta-se como uma fonte de tensão constante de 0,7 V.

A tensão aos terminais de  $C_1$  vem:

$$U_{c1} = -0.7 + U_p \quad [11] \quad (36)$$

Quando  $D_2$  está a conduzir (semi-circuito Positivo), apresenta o esquema indicado na Figura 30.

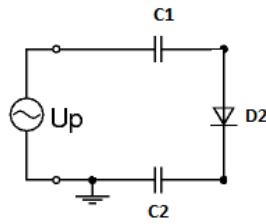


Figura 30-Circuito 2º estágio [11].

$D_2$  comporta-se como fonte de tensão constante de 0,7 V.

$$U_{c2} = -0.7 + U_{c1} + U_p \quad [11] \quad (37)$$

Substituindo  $U_{c1}$  obtém-se:

$$U_{c2} = 2U_p - 1,4 \quad [11] \quad (38)$$

Quando  $D_3$  a conduzir ( $U_p$  está no semi-circuito negativo), corresponde ao circuito exposto na Figura 31.

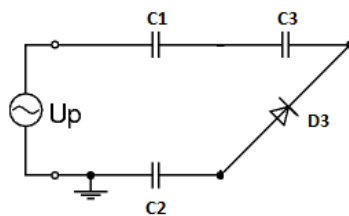


Figura 31-Circuito 3º estágio [11].

$D_2$  comporta-se como fonte de tensão constante de 0,7 V.

$$U_{c3} = -0,7 + U_{c2} + U_{c1} \quad [11] \quad (39)$$

$$U_{c3} = 2U_p - 1,4 \quad [11] \quad (40)$$

No entanto, para saber a tensão no multiplicador de 3 estágios, é necessário determinar as tensões no circuito exposto na Figura 32:

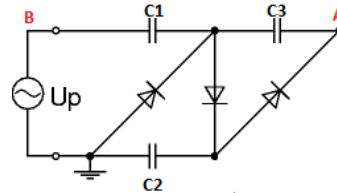


Figura 32-Circuito 4º estágio [11],

Tensão entre o ponto A e o ponto B:

$$U_{AB} = U_{c3} + U_{c1} \quad [11] \quad (41)$$

$$U_{AB} = 3U_p - 2,1 \quad [11] \quad (42)$$

$$U_{AB} = 3U_p - 3U_{diodo} \quad [11] \quad (43)$$

### Simulação do multiplicador de tensão

Com a fonte de tensão:

Na Figura 33 estão apresentados os valores referentes á fonte de alimentação. V1 tem o valor de 230 V AC com frequência de 50 Hz.

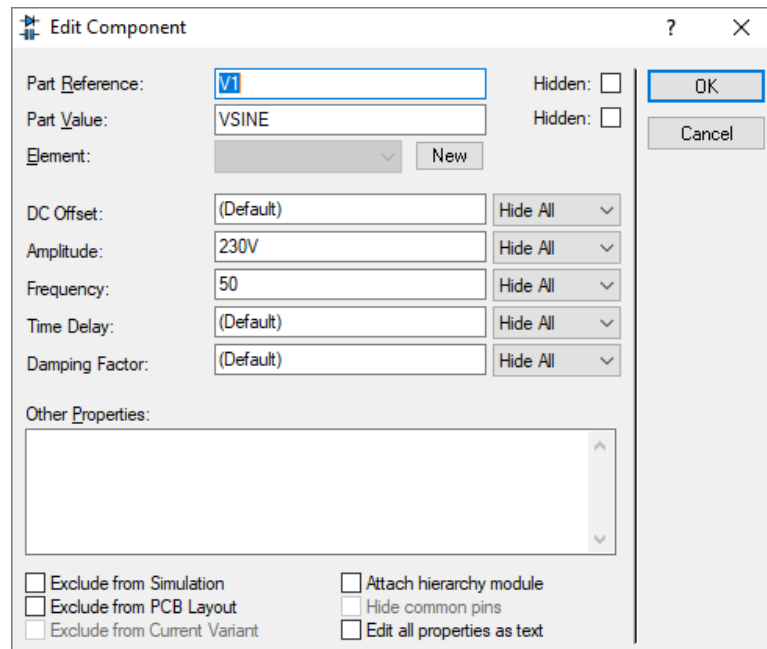


Figura 33-Fonte de tensão na simulação.

Foi elaborado o circuito multiplicador de tensão no Programa Proteus e após os testes é possível obter na saída um valor de 1,34 kV. Desta forma é possível manter a harpa em alta tensão para fazer descarga através das vespas. Este esquema encontra-se apresentado na Figura 30.

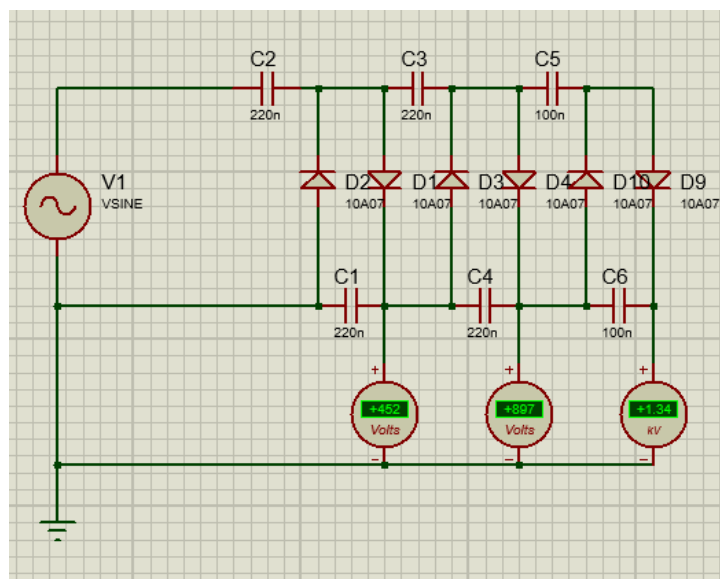


Figura 34-Simulação do multiplicador de tensão para uma saída de 1,3 kV.

### Circuito multiplicador de tensão

Para o circuito de alta tensão, foi realizado o estudo para a construção de uma PCB. Para tal, no software *Proteus* foi introduzido o circuito e elaborado de maneira a criar pistas para condução elétrica como é ilustrado na Figura 35. É possível também criar um 3D da placa como é ilustrado na Figura 36. Por fim na Figura 37, obtém-se o “negativo” das pistas a usar na construção da placa constituída por pistas e malha.

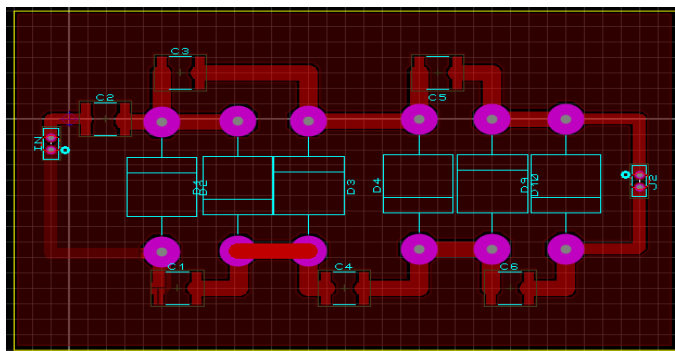


Figura 35-Imagem relativa ao circuito multiplicador de tensão.

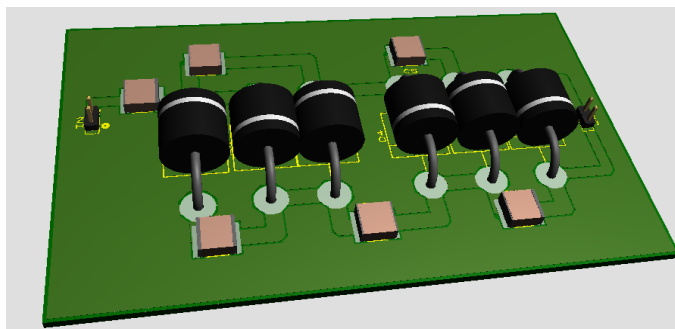


Figura 36-Imagem 3D da placa de circuito impresso relativo ao multiplicador de tensão.

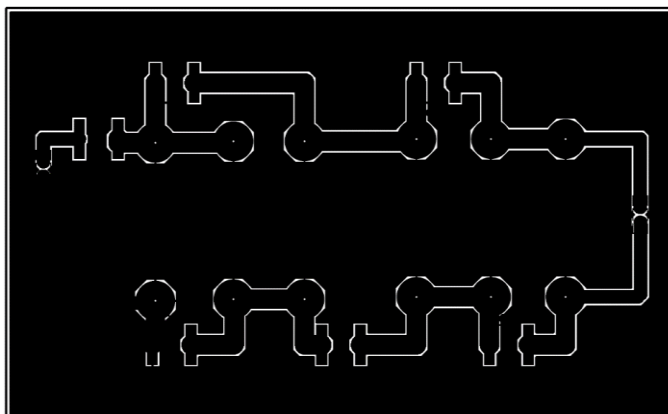


Figura 37-Negativo do circuito do multiplicador de tensão (vista de topo).

### 4.2.2. Modo noturno

Para o modo noturno, será aplicado um circuito de proteção, tal que na presença de baixa luminosidade, o circuito será desligado. Durante a noite tanto as vespas como as abelhas não saem do ninho, como tal, não há vantagem alguma em manter o circuito em carga, até porque existem insetos noturnos que em nada prejudicam as abelhas e que poderiam ser sujeitos a uma descarga elétrica.

Para este circuito, como a tensão da rede está a 230 V AC, é necessário reduzir a tensão e cortar a sua componente AC, para isso será elaborada uma fonte de tensão.

### 4.3. Fonte de alimentação do circuito de proteção

Para elaborar o circuito de alimentação de circuito de proteção ilustrado na Figura 34 é necessário retificar, filtrar e regular a tensão. Como ilustrado na Figura 38, com uma entrada de 230 V AC, seguido de uma ponte retificadora da tensão, seguido de um condensador para a sua filtragem, reduzindo o efeito de Ripple, mantendo assim uma tensão constante. Na parte final é introduzido um LM7812 que regula a tensão para 12 V.

Um regulador de tensão tem como objetivo estabilizar uma tensão num determinado valor, neste caso foi optado por um regulador de tensão de 12 V (LM7812) para alimentar o circuito de proteção noturna.

Recorrendo ao datasheet obtém-se a tabela de ligações exposta na Tabela 1 [13]:

Tabela 1-Especificações do LM7812. [13]

Parameter	Symbol	Conditions	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output Voltage	$V_O$	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$	11.50	12	12.5	V
Line Regulation	$\Delta V_O$	$V_I = 14.5\text{V to } 30\text{V } T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		10	240	mV
		$V_I = 16\text{V to } 22\text{V } T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		3.0	120	
Load Regulation	$\Delta V_O$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}, 25\text{ }^\circ\text{C}$		12	240	mV
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}, 25\text{ }^\circ\text{C}$		4	120	
Ripple Rejection	RR	$V_I = 15\text{V to } 25\text{V}, f=120\text{Hz}$	55	71		dB
Output Noise Voltage	$V_N$	$F= 10\text{Hz to } 100\text{Hz } T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		75		$\mu\text{V}$
Dropout Voltage	$V_D$	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		2.0		V
Quiescent Current		$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		4.3	8.0	mA
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$V_I = 14.5\text{V to } 30\text{V}, T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$			1.0	mA
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}, T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$			0.5	

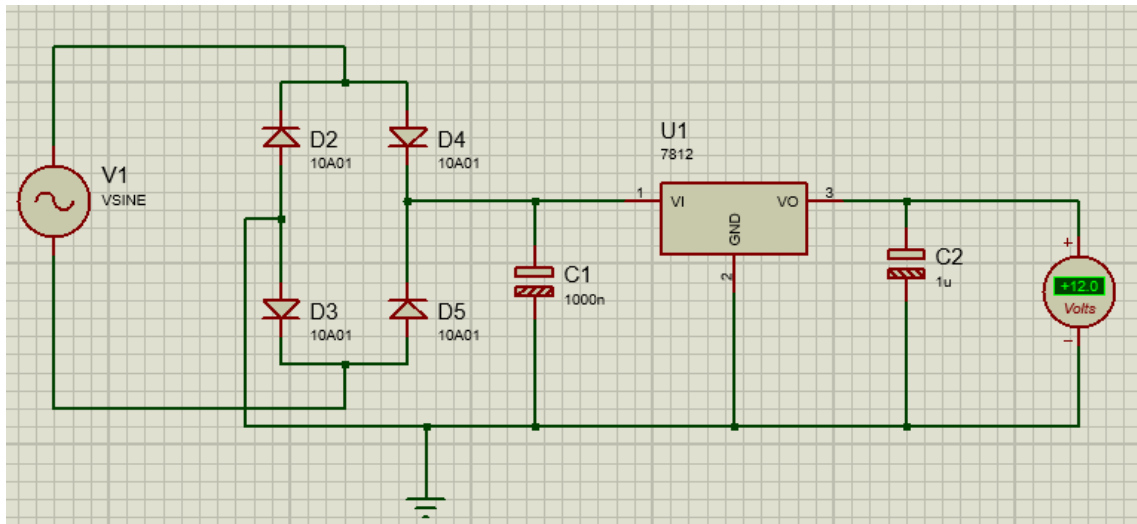


Figura 38-Circuito para abaixamento e retificação da rede para 12 V.

Esta fonte de tensão é então associada a um circuito de proteção que consiste num circuito simples com um sensor de luminosidade, um transístor, duas resistências, uma delas variável para afinação de sensibilidade, um relé para fazer a abertura e o fecho do circuito e um díodo de roda livre.

Este circuito funciona devido ao aumento e abaixamento de corrente na base do díodo. Quando há falta de luz, período noturno ou tempo nublado, nem abelhas nem vespas circulam pela harpa. Como tal o circuito é aberto, garantindo desta forma a poupança da bateria como é ilustrado na Figura 39.

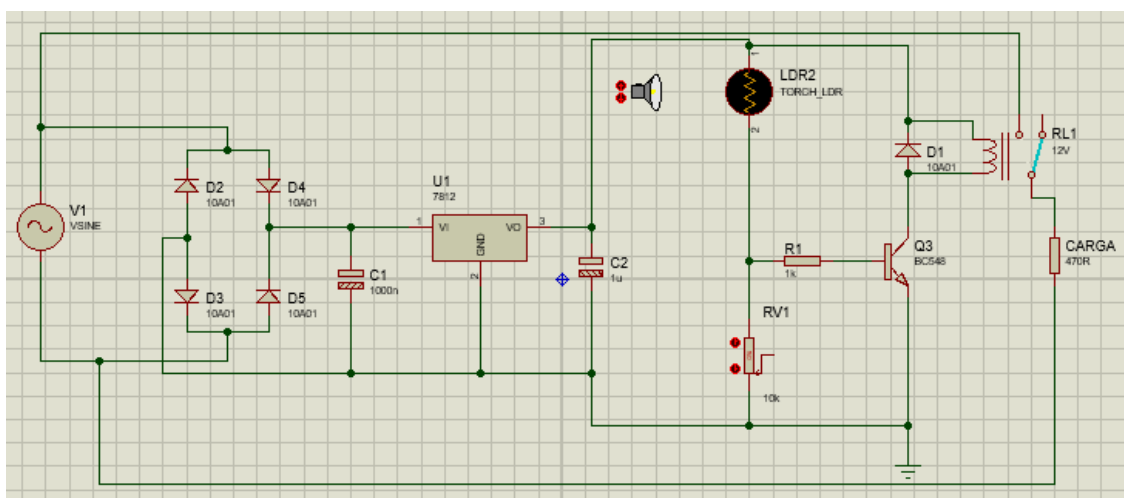


Figura 39-Circuito de modo noturno ligado à rede elétrica (noite).

Quando há luz suficiente, período diurno, existe a circulação de vespas. Desta forma é fechado o circuito entrando este em funcionamento como é ilustrado na Figura 40.

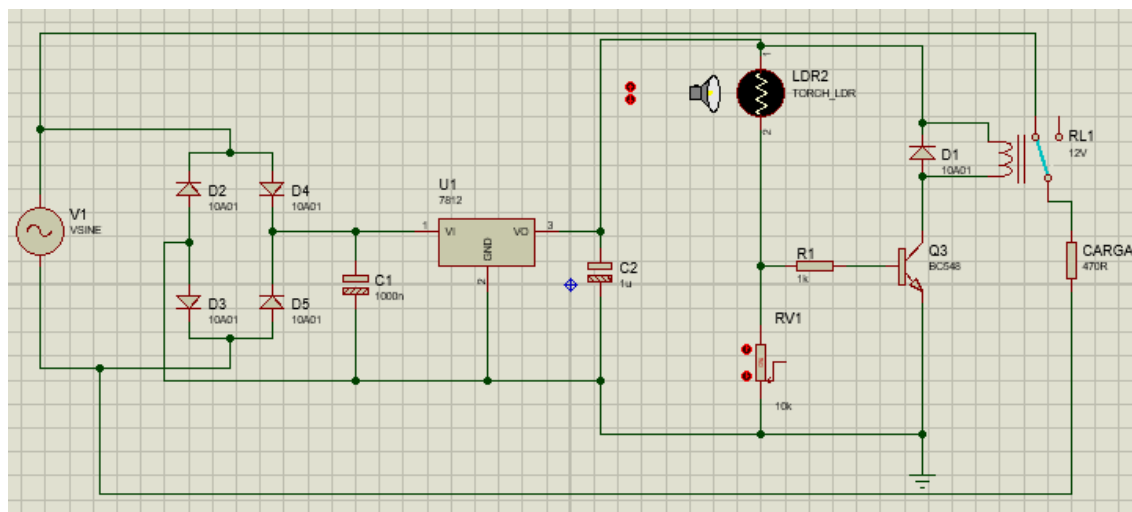


Figura 40-Circuito de modo noturno ligado à rede elétrica (dia).

### 4.3.1. Circuito modo noturno

Para o circuito de modo noturno foi realizado o estudo para a construção de uma PCB. Para tal, no software *Proteus* foi introduzido o circuito e desenvolvido de forma a criar pistas para condução elétrica como é ilustrado na Figura 41. É possível também criar um 3D da placa como é ilustrado na Figura 42. Por fim na Figura 43 e Figura 44, obtém-se o “negativo” das pistas para usar na construção da placa, sendo esta é constituída por pistas e malha. De mencionar que esta PCB é de dupla face e tem incorporado o circuito da fonte de alimentação e o circuito de proteção que faz o corte ou não à carga. Na sua entrada serão aplicados 230v AC e na sua saída terá 12v DC.

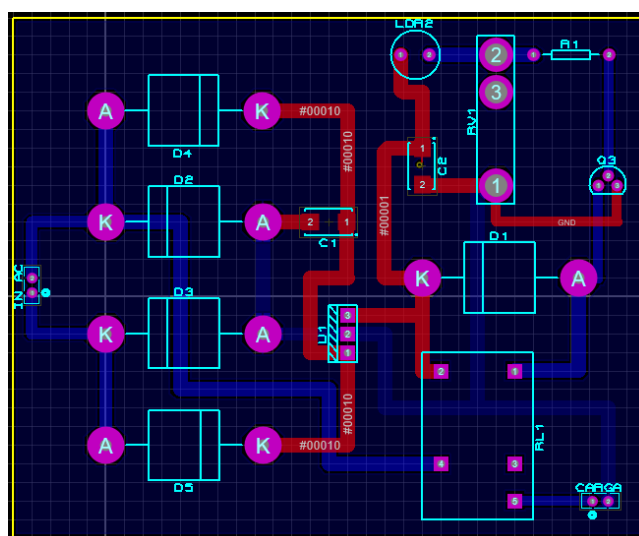


Figura 41- Circuito do multiplicador de modo noturno.

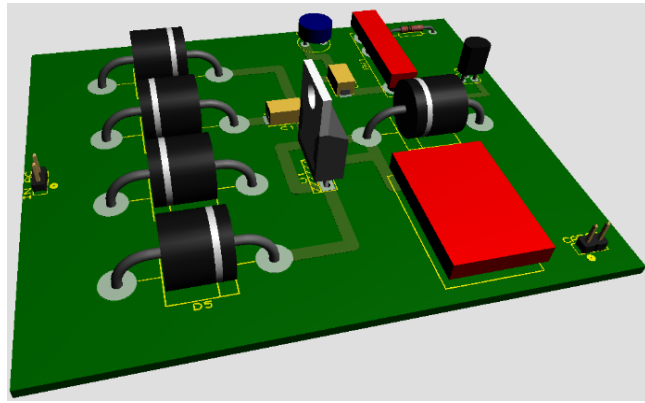


Figura 42-Imagem 3D da placa de circuito impresso relativo ao Circuito modo noturno.

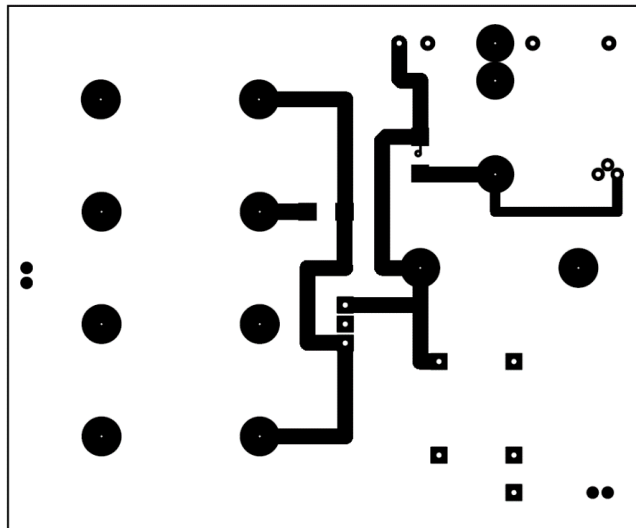


Figura 43-Negativo do circuito do multiplicador de modo noturno (vista de topo).

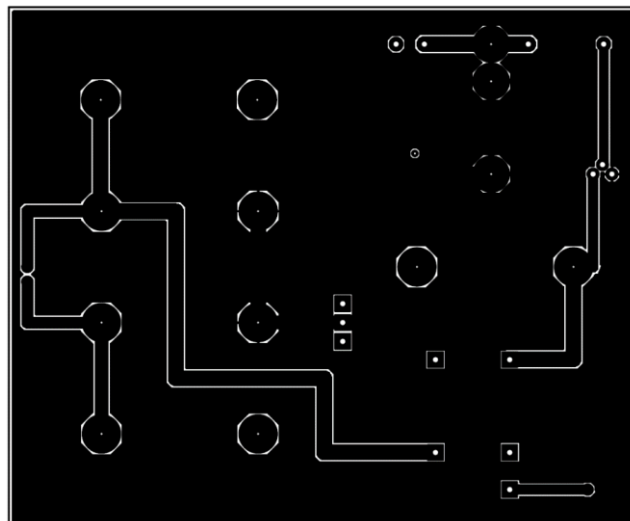


Figura 44-Negativo do circuito do multiplicador de modo noturno (vista de base)

## 4.4. Sistema fotovoltaico

Neste projeto é implementado um sistema desde a origem até à carga, que neste caso a origem serão células fotovoltaicas e a carga será a harpa elétrica em que o algoritmo PWM não será estudado. Na Figura 45 encontra-se exposto o diagrama de blocos para o circuito 1.

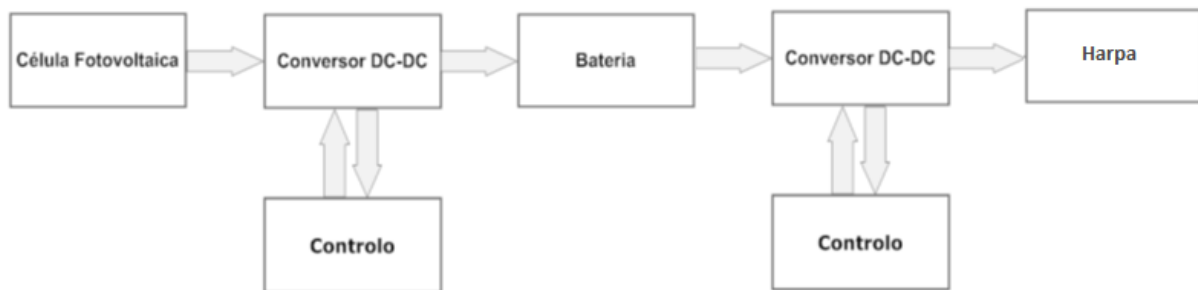


Figura 45-Diagrama de blocos para circuito 1.

Pelo meio tem vários estágios. Este sistema tem um conversor DC-DC e seu devido controlo PWM para fazer o carregamento de baterias. O conversor indicado é um *Buck-boost*, pois a tensão fornecida pelas células fotovoltaicas tem oscilações de acordo com a luminosidade. Posteriormente, a bateria tem um novo conversor DC-DC (*Flyback*) para elevar a tensão a níveis acima de 1 kV para ser aplicado na harpa elétrica e dizimar as vespas através de contacto entre os dois pólos.

É também elaborado um circuito de proteção de consumo de bateria e também um circuito para desligar as cargas durante o período noturno, pois não circulam vespas e desta forma protege-se os insetos noturnos.

## 4.5. Estudo para sistema Fotovoltaico

### 4.5.1. Tecnologia Solar Fotovoltaica

A energia luminosa é a fonte de energia mais abundante no planeta, extremamente necessária para a sobrevivência. O sol fornece energia sob forma de radiação e captada

por painéis fotovoltaicos, permite gerar eletricidade que nos dias de hoje alimenta milhares de aplicações.

Cada vez mais a humanidade necessita de recorrer a meios renováveis para a produção elétrica, alterações climáticas e escassos recursos obrigam a isso [3].

#### **4.5.2. Efeito Fotovoltaico e Células Solares Fotovoltaicas**

Em 1839, Edmond Becquerel descobriu como obter energia elétrica através da conversão direta da luz solar. Esta engloba outros três fenômenos físicos interligados: a absorção de luz pelo material, a transferência de energia dos fótons para as cargas elétricas e a geração de uma corrente elétrica [3].

#### **4.5.3. Células fotovoltaicas**

O rendimento de uma célula fotovoltaica obtém-se através do quociente entre a potência de saída e a potência de entrada do painel. Alguns fatores afetam o seu valor, como a temperatura da célula e coeficiente de absorção do material utilizado [3].

$$\eta(\%) = \frac{P_o}{P_i} \cdot 100 \quad (44)$$

##### *Fator de forma*

A corrente de curto-circuito,  $I_{sc}$ , e a tensão em aberto,  $V_{oc}$ , são a corrente e tensão máxima de uma célula solar, respetivamente. Contudo, em ambos os pontos de operação, a potência da célula é zero. O fator de forma (FF), é o parâmetro que em conjunto com  $V_{oc}$  e  $I_{sc}$ , determina a potência máxima da célula solar. O FF é definido como o quociente da potência máxima do painel pelo produto de  $V_{oc}$  e  $I_{sc}$  como se pode observar na Figura 46 [3].

$$FF = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (45)$$

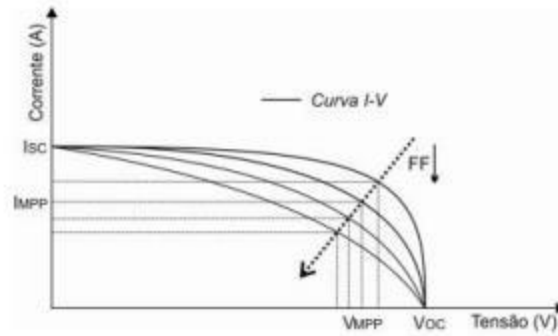


Figura 46-Efeito da diminuição do fator de forma na curva  $I$ - $V$  da célula fotovoltaica [3].

### *Efeito da irradiação solar*

Quanto maior for o valor da radiação incidente no painel solar, maior o valor da corrente e também o da tensão. No entanto, a variação da corrente é muito mais significativa, como se pode observar na Figura 47.

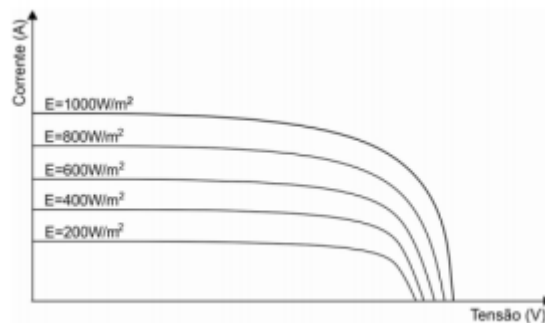


Figura 47-Efeito da irradiação solar na curva  $I$ - $V$  da célula fotovoltaica [3].

### *Efeito da temperatura*

O aumento da temperatura de funcionamento da célula fotovoltaica leva a que a tensão diminua linearmente, sem que a corrente sofra alterações relevantes, como se pode observar na Figura 48.

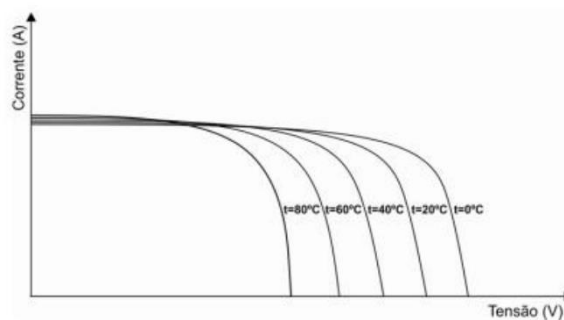


Figura 48-Efeito da temperatura no funcionamento da célula fotovoltaica [3].

#### 4.5.4. Escolha do painel

Para elaborar um circuito de carregamento de baterias é preciso ter em atenção os seguintes aspetos do painel fotovoltaico:

- 36 células
- 100 W de potência
- 18 V tensão máxima

O painel exposto na Figura 49 tem uma potência de saída adequada, o que permite carregar rapidamente a ou as baterias. Este painel pode ser adquirido em: <https://www.ebay.com/itm/50W-100W-18V-Mono-Flexible-Solar-Panel-ETFE-Durable-2M-Cable-For-12V-Car-Boat/372652539209?hash=item56c3d27d49:m:m4uj3igU-ncasouuMwaeaaA&var=641428774329>



Figura 49-Painel fotovoltaico.

#### 4.5.5. Dimensionamento do conversor *Buck-Boost* para carregamento da bateria

Este circuito tem como finalidade baixar e elevar a tensão em relação à entrada. Este circuito tem como finalidade colocar na saída uma tensão constante para o carregamento de uma bateria. Os detalhes relativamente aos cálculos que levam ao dimensionamento do circuito encontram-se na seção 2.2.2.

Este circuito aparece derivado do conversor *Boost* e o conversor *Buck*. Para dimensionar o circuito do conversor, inicialmente é necessário saber a tensão e potência de entrada que será obtida pelo datasheet do painel fotovoltaico e sabendo estes dados pelas seguintes equações pode realizar-se os cálculos da corrente média na carga e também o cálculo da razão cíclica [14].

CA corrente média na carga é calculada pela Equação 46 [14]:

$$I = \frac{V}{R} = D \cdot \frac{E}{R} \quad (46)$$

Potência:

$$P = V \cdot I \quad (47)$$

Sendo que a potência de entrada são 100 W do painel, a tensão máxima gerada no circuito são 18 V e a tensão que se pretende na saída do conversor será 14 V.

Assim sendo a corrente na carga será:

$$P_g = V_g \cdot I_g = 100 \text{ W} = 18 \text{ V} \cdot I_g, I_g = 5,55 \text{ A} \quad (48)$$

Em que:

- $I_g$ , corrente gerador [A];
- $P_g$ , potência gerador [W];
- $V_g$ , Tensão gerador [V].

$$P_c = V_c \cdot I_c = 100 \text{ W} = 14 \text{ V} \cdot I_g, I_g = 7,14 \text{ A} \quad (49)$$

Em que:

- $I_c$ , corrente Circuito [A]
- $P_c$ , potência Circuito [W]
- $V_c$ , tensão Circuito [V]

Assim sendo, a corrente média no indutor será:

$$I_{mi} = I_c + I_g \quad (50)$$

Em que:

- $I_{mi}$ , corrente média no indutor [A]

$$I_{mi} = 8,33 + 5,55 = 12,69 \text{ A} \quad (51)$$

Para obter a razão cíclica do conversor usa-se a Equação 52:

$$D = \frac{V}{E + V} \equiv \frac{14}{18 + 14} = 0,4375 \quad (52)$$

Foi adotada uma frequência de 40 kHz, tensão de saída de 14 V e a bateria como se fosse uma resistência. A partir dos dados foram dimensionados o indutor e o condensador através das equações seguintes.

Sabendo que o valor do indutor é diretamente proporcional ao modo de operação, para garantir que ele opere em modo contínuo, deve-se 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:

$$L = \frac{E \cdot D}{\Delta I \cdot f} \quad (53)$$

Para determinar a capacidade do condensador do circuito é necessário especificar tensão de saída do circuito:

$$C = \frac{V \cdot D}{f \cdot R \cdot \Delta V} \quad (54)$$

Calculada a resistência, corrente máxima e mínima no indutor, considerando uma ondulação de corrente de 30% e uma ondulação de tensão na saída de 1%, virá:

$$\Delta I = I_{mi} \cdot 0,3 \equiv 12,69 \cdot 0,3 = 3,807 \text{ A} \quad (55)$$

Para este caso:

$$\Delta I_2 = \frac{I_2}{2} = \frac{3,807}{2} = 1,9035 \text{ A} \quad (56)$$

Então a corrente máxima vem:

$$I_{max} = I_{mi} + I_2 = 14,59 \text{ A} \quad (57)$$

A corrente mínima virá:

$$I_{min} = I_{mi} - I_2 = 10,79 \text{ A} \quad (58)$$

No que toca ao valor do indutor:

$$L = \frac{E \cdot D}{\Delta I \cdot f} \equiv \frac{18 \cdot 0,4375}{3,807 \cdot 40000} \equiv \frac{7,875}{152280} = 51,7 \text{ } \mu\text{H} \quad (59)$$

No que toca ao valor da capacidade do condensador:

$$C = \frac{V \cdot D}{f \cdot R \cdot \Delta V} \equiv \frac{14 \cdot 0,4375}{40000 \cdot \left(\frac{14}{5,55}\right) \cdot (14 - 0,01)} \equiv \frac{6,125}{14123,2} = 4,34 \text{ mF} \quad (60)$$

A resistência virá:

$$R = \frac{U}{I} \equiv \frac{14}{5,55} = 2,522 \text{ } \Omega \quad (61)$$

A relação da saída com a entrada é a seguinte:

$$(V_{in}) \cdot \delta \cdot T = -V_{out}(1 - \delta) \cdot T \quad (62)$$

Sendo que a saída é dada por:

$$V_{out} = -\frac{\delta}{1-\delta} \cdot V_{in} \quad (63)$$

A Figura 50 demonstra que quando a razão cíclica é menor que 0,5, o conversor opera como *Buck*, abaixando a tensão. Quando a razão cíclica é maior que 0,5, o conversor opera como *Boost*, elevando a tensão na saída. Quando a razão cíclica é igual 0,5, a tensão de entrada e tensão de saída são iguais.

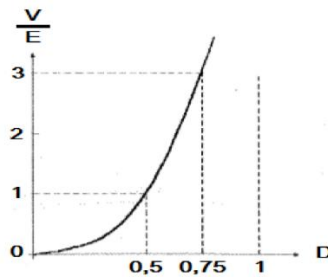


Figura 50-Ilustração gráfica do ganho do conversor [14].

Acoplado a este conversor terá de haver um controlo PWM para gerir o carregamento da bateria. O algoritmo não será estudado nesta dissertação. Existem opções no mercado para fazer o controlo de carregamento das baterias.

#### **4.5.6. Controlo**

Para fazer uma gestão inteligente, será usado um microcontrolador com algoritmos de seguimento de potência máxima. O Maximum Power Point Tracking (MPPT) é uma das chaves da tecnologia nos sistemas fotovoltaicos de geração de energia. Isto porque, as células fotovoltaicas possuem características  $I-V$  e  $P-V$  não lineares e a potência máxima produzida varia tanto com a irradiação como com a temperatura. Para além disso, como a eficiência de conversão dos painéis é baixa, é necessário um circuito de controlo de seguimento de potência, para fazer com que opere na potência máxima. Os MPPT são algoritmos automáticos de controlo, cujo objetivo é ajustar a tensão de operação solar ao ponto de potência máxima independentemente das alterações das condições atmosféricas. Quando é utilizado um conversor DC-DC comutado, o algoritmo de seguimento de potência máxima utilizado, tem por base o ajuste de um sinal de PWM ligado a um interruptor, geralmente um semicondutor, criando assim uma relação entre a zona de funcionamento do painel e o *duty cycle*. O circuito a adicionar ao conjunto painel conversor deve permitir a procura dinâmica e constante do ponto de máxima transferência energética, atuando sobre o sinal de PWM. São várias as técnicas de MPPT utilizadas atualmente [3]. Nesta dissertação, o MTTP não é estudado e todos os testes são elaborados assumindo que o MTTP já existe e está aplicado. No mercado existem soluções baratas e prontas a aplicar [3].

#### **4.5.7. Dimensionamento do conversor *flyback***

Para elevar a tensão é considerado um conversor flyback. Este conversor permite aumentar baixos valores de tensão para elevados valores de tensão. Para a aplicação em estudo, terá de elevar 12 V para valores acima dos 1000 V.

Com o circuito exposto na Figura 51, sem qualquer PWM, só com o conversor e com dimensionamento nas espiras consegue-se um valor de saída de 2 kV, sendo que no primário faz uso de 10 mA de corrente. No entanto, é necessário ter um PWM. Como tal, existem no mercado soluções como seja o exemplo do circuito integrado Timer 555.

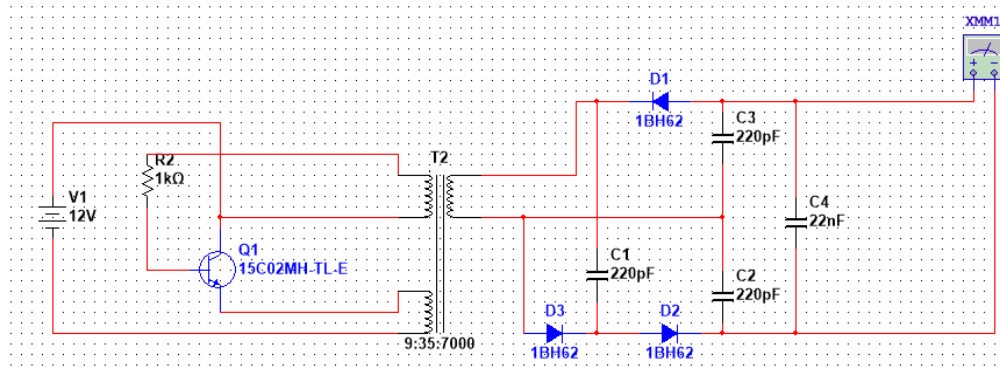


Figura 51- Conversor Flyback desenhado no software Multisim.

#### Controlo PWM para o conversor flyback

Para controlar o conversor *flyback*, é necessária a utilização de um sinal gerado neste caso por um LM555 que vai funcionar como oscilador para o conversor. Como tal, é necessário proceder a vários testes para o estudar para diferentes situações e diferentes frequências de oscilação.

Como é possível controlar o tempo a ON e o tempo a OFF, é possível controlar a potência média entregue à carga [15]. O duty cycle é dado por:

$$DutyCycle = 100 \cdot \frac{Largura\ do\ pulso}{Período} \quad (64)$$

#### 4.5.8. LM555 - Configuração dos pinos e suas funções

Para obter frequências para a base do transístor (PWM), é necessário usar um gerador de frequência. Para tal é utilizado o LM555. Na Figura 52 são ilustrados os pinos de entrada e de saída. Detalhes dos mesmos encontram-se na Tabela 2. As configurações para o LM555 podem ser consultadas no seu datasheet [16].

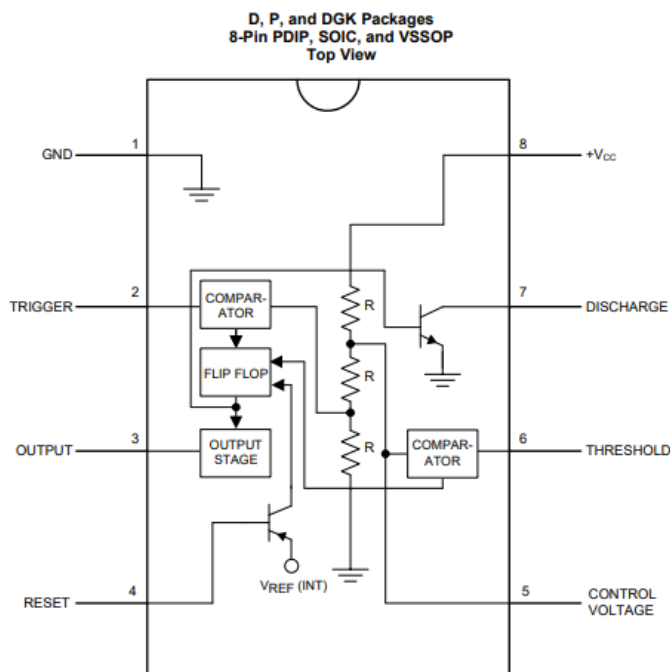


Figura 52-Pinout do circuito integrado LM555 [16].

Tabela 2-Descrição do Pinout do circuito integrado LM555 [16].

Pinos		Entrada/saída	Descrição
Nº Pino	Nome		
5	Controlo de tensão	Entrada	Controla o limite e os níveis de disparo,determina a largura de pulso da saída.
7	Descarga	Entrada	Saída de coletor aberto que descarrega um condensador entre intervalos Ele alterna a saída de alto para baixo quando a tensão atinge 2/3 da tensão de alimentação
1	GND	Saída	Ground, referencia
3	Saída	Saída	Saída da forma de onda
4	Reset	Entrada	Aplicar pulso negativo a este pino para desabilitar ou redefinir o cronômetro
6	Limite	Entrada	Compara a tensão aplicada ao terminal com uma tensão de referência de 2/3 Vcc A amplitude da tensão aplicada a este terminal é responsável pelo estado ajustado do flip-flop
2	Trigger	Entrada	Responsável pela transição do flip-flop de set para reset. A saída do temporizador depende na amplitude do pulso de disparo externo aplicado a este pino
8	V+	Entrada	Tensão de alimentação

#### 4.5.9. Configuração do LM555

O circuito recomendado pelo datasheet pode ser consultado na Figura 53.

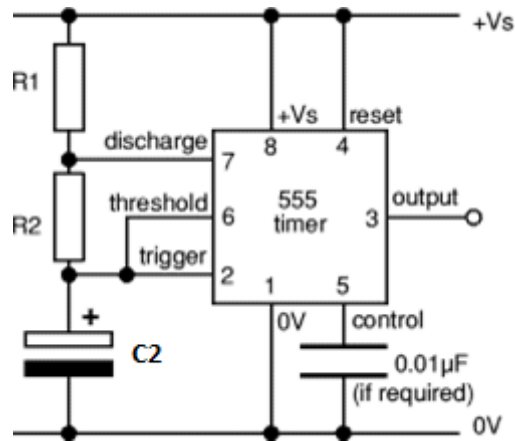


Figura 53-Circuito standart para o LM555. [16]

No circuito estável pode ser alterado o tempo  $T_m$  (tempo em  $+V_s$ ) e o  $T_s$  (tempo em 0 V). Quando o condensador carrega até  $(1/3) V_s$ , o LM555 irá disparar pelo *trigger* e a tensão de saída vai para  $+V_s$ . Quando chega a  $(2/3) V_s$ , o LM555 corta e a saída vai para 0 V. Os tempos  $V_m$  e  $V_s$  podem ser calculados pelas equações abaixo [17]:

$$T_m = 0,7 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C_2 \quad (65)$$

$$T_s = 0,7 \cdot R_2 \cdot C_2 \quad (66)$$

E o período  $T$  da forma de onda quadrada e a frequência  $f$  podem ser calculadas pelas Equação 67 e Equação 68:

$$T = 0,7 \cdot (R_1 + 2 \cdot R_2) \cdot C_2 \quad (67)$$

$$f = \frac{1,44}{((R_1 + 2 \cdot R_2) \cdot C_2)} \quad (68)$$

Sendo:

- $T = T_m + T_s$ , tempo [s]
- $f$ , Frequência, [Hz]
- $R_1$ , resistência [ $\Omega$ ]
- $R_2$ , resistência, [ $\Omega$ ]
- $C_1$ , capacidade, [F]

Inicialmente é feita a escolha da frequência e da capacidade do condensador  $C_2$ , depois disso, são escolhidos os períodos  $T_m$  e  $T_s$ . Com as equações dadas podem calcular-se as resistências  $R_1$  e  $R_2$ .

## 4.6. Simulações com o LM555

Para realizar simulações de operação com o LM555, recorreu-se à ferramenta de simulação *PROTEUS 8* para proceder a vários testes.

Na Figura 54 é possível verificar o dimensionamento do circuito de controlo do LM555. Assim, podem ser feitas várias simulações para perceber o seu funcionamento.

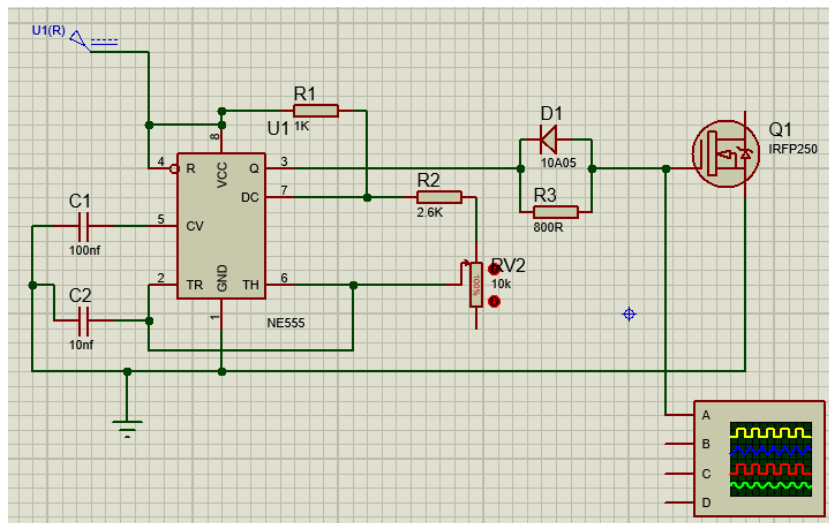


Figura 54-Circuito para configuração 555.

### 4.6.1. Simulação 1

Para a resistência variável a 100% obtêm-se os seguintes valores apresentados na Figura 55. Com os cursores do osciloscópio obtém-se o tempo de uma onda completa, sabendo que para um ciclo de onda completo o sistema demorou 43,28  $\mu$ s.

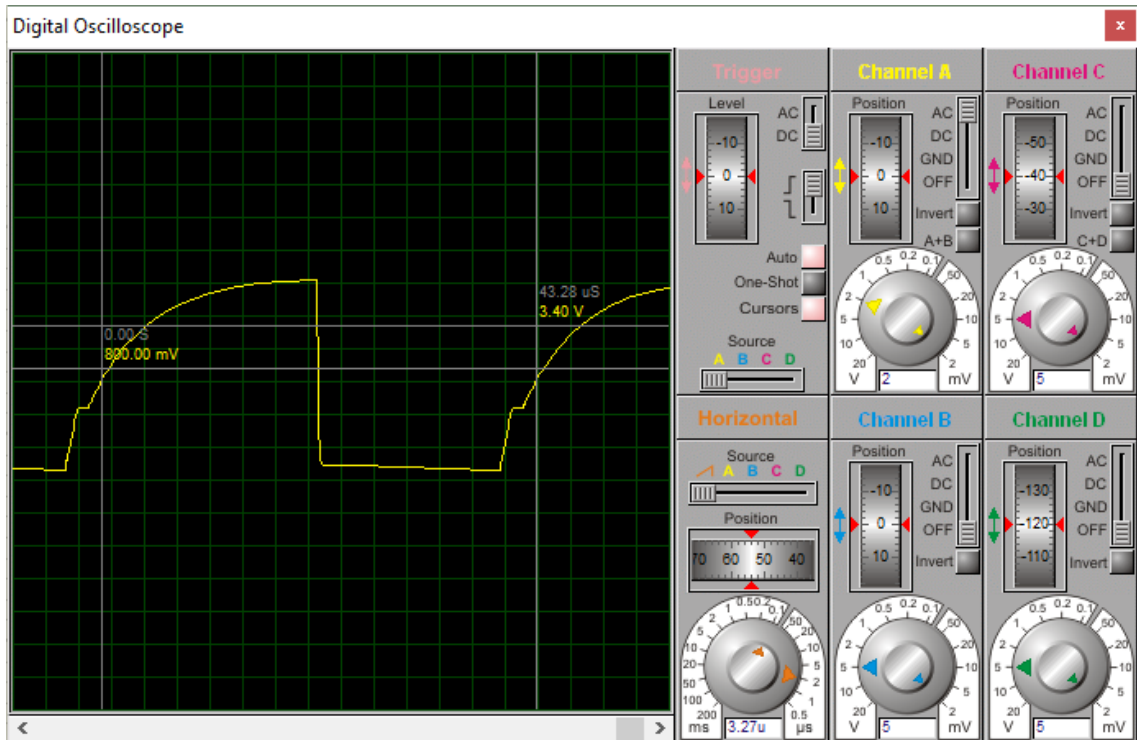


Figura 55-Análise da onda da configuração do LM555,  $R_{V2}=100\%$ .

Sabendo que a frequência:

$$f = \frac{1}{T}$$

(69)

Então pelos dados do osciloscópio,  $f = \frac{1}{43,28 \cdot 10^{-6}}$ ,  $\Leftrightarrow f = 23,10 \text{ kHz}$

Confirmando os resultados por cálculo:

$$f = \frac{1,44}{(R_1 + 2 \cdot R_2) 10^{-8}} \Leftrightarrow f = \frac{1,44}{(1000 + 2 \cdot 2000) 10^{-8}} \Leftrightarrow f = 23,22 \text{ kHz} \quad (70)$$

#### 4.6.2. Simulação 2

Para a resistência variável a 50% obtêm-se os seguintes valores apresentados na Figura 56. Pela Figura 56, com os cursores obtêm-se o tempo de uma onda completa, sabendo que para um ciclo de onda completo o sistema demorou 112,50  $\mu\text{s}$ .

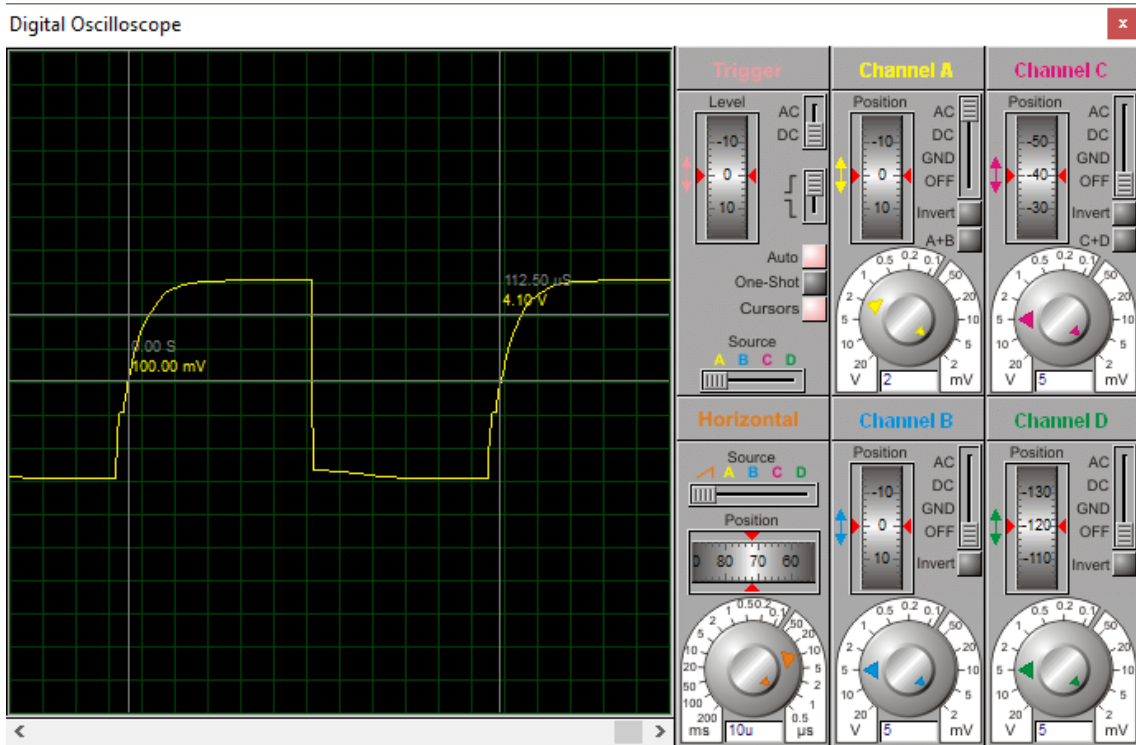


Figura 56-Análise da onda da configuração do LM555,  $R_{v2}=50\%$ .

$$f = \frac{1}{112,50 \cdot 10^{-6}}, \Leftrightarrow f = 8,8 \text{ kHz} \quad (71)$$

Confirmando os resultados por cálculo:

$$f = \frac{1,44}{(R_1 + 2 \cdot R_2) 10^{-8}} \Leftrightarrow f = \frac{1,44}{(1000 + 2 \cdot 7600) 10^{-8}} \Leftrightarrow f = 8,6 \text{ kHz} \quad (72)$$

#### 4.6.3. Simulação 3 - resistência variável a 0%

Para a resistência variável a 0% obtêm-se os seguintes valores apresentados na Figura 57. Pela Figura 57, com os cursores obtêm-se o tempo de uma onda completa, sabendo que para um ciclo de onda completo o sistema demorou 184  $\mu\text{s}$ .

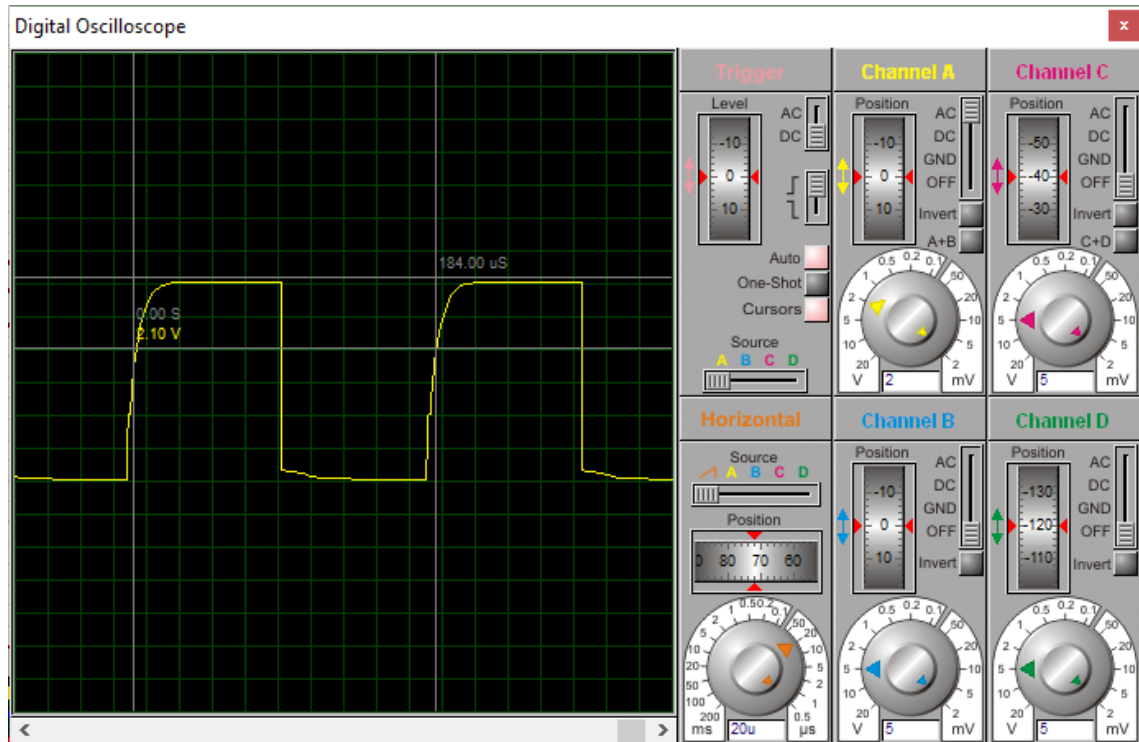


Figura 57-Análise da onda da configuração do LM555,  $R_{V2}=0\%$ .

$$f = \frac{1}{184,10 \cdot 10^{-6}} \Leftrightarrow f = 5,4 \text{ kHz} \quad (73)$$

Confirmando os resultados por cálculo:

$$f = \frac{1,44}{(R_1 + 2 \cdot R_2) 10^{-8}} \Leftrightarrow f = \frac{1,44}{(1000 + 2 \cdot 12600) 10^{-8}} \Leftrightarrow f = 5,4 \text{ kHz} \quad (74)$$

#### 4.7. Desenho do circuito no Proteus

Na Figura 58 é apresentado o desenho do circuito e os seus resultados com a utilização do conversor *flyback* controlado pelo PWM gerado pelo LM555.

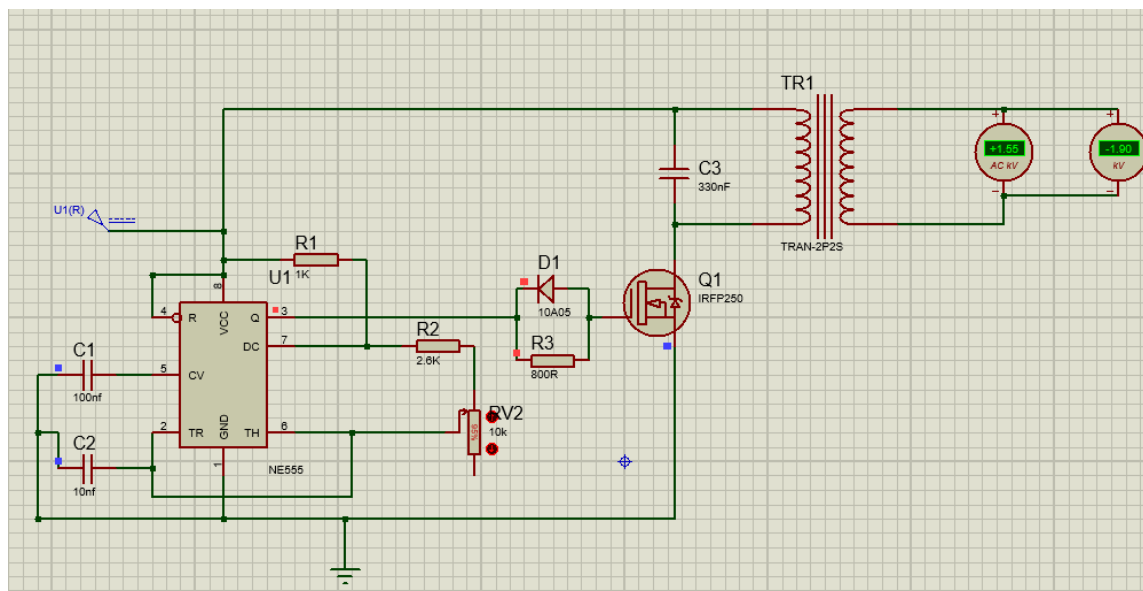


Figura 58-Simulação do circuito flyback com drive.

Pela Figura 58, verifica-se com uma entrada de 12 V, controlando o PWM a uma frequência de 23 kHz, na saída é possível ter 1,5 kV na saída do transformador.

#### 4.8. Tensão de saída

Após o estudo do driver (*flyback*), para a utilização deste conversor aconselha-se o uso de um transformador de alta tensão e sobretudo de alta frequência. Para tal existem várias soluções no mercado e caso seja uma questão de reutilizar material, o mesmo transformador pode ser encontrado dentro de televisores/monitores antigos (com cinescópio) (tubos de raios catódicos). Estes transformadores conseguem trabalhar com valores de frequência altos e o seu tamanho é bastante reduzido.

Usando um transformador no *Proteus 8*, no primário tendo 10 H e no secundário tendo 1000 H, no secundário obtém-se uma saída de 1500 V, valor indicado para usar na harpa elétrica (usar mais pode ser um problema derivado ao arco elétrico em que pode romper o ar e eletrocutar animais mais pequenos como a abelha).

Após uma reflexão sobre o conversor, é possível verificar que este exige que seja usado um ou vários transformadores, o que faz que este tenha sempre consumos mesmo sem cargas na saída, o que inviabiliza a sua utilização. Assim, será feita uma alteração ao sistema conforme exposto na Figura 59.

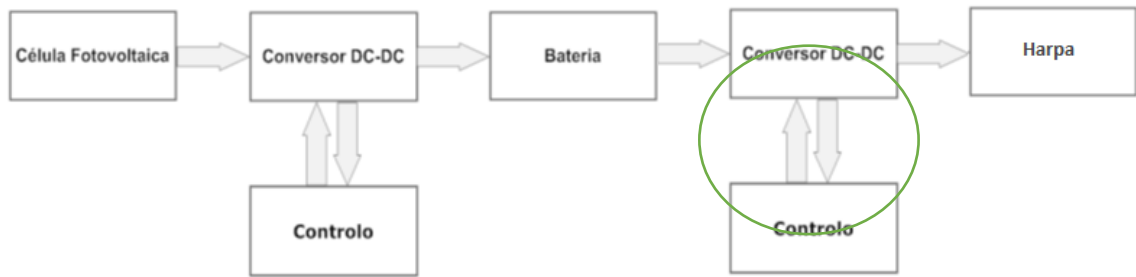


Figura 59-Esquema alimentação via painel com *flyback*.

Na Figura 58, após a bateria faz-se uso de um conversor *flyback* e de um controlador PWM para obter 1,5 kV na harpa. Este sistema será modificado, sendo que após a bateria serão inseridos um inversor (12 V para 230 V) e um multiplicador de tensão na vez do conversor, como mostra a Figura 59. O multiplicador de tensão a usar é o apresentado anteriormente. O novo esquema pode ser consultado na Figura 60. O circuito como a respetiva PCB já foram descritos anteriormente e é aplicado neste sistema.

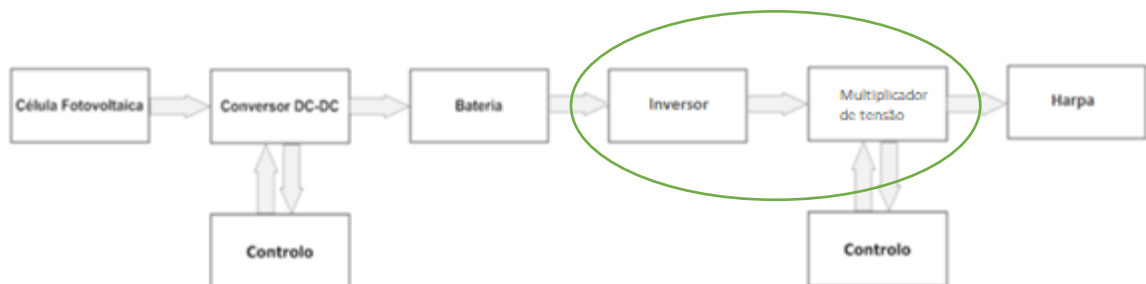


Figura 60-Esquema alimentação via painel com multiplicador.

#### 4.8.1. Inversor

Um inversor tem como objetivo variar a frequência da tensão e com isso é possível transformar um sinal DC num sinal AC.

É muito utilizado em sistemas de painéis fotovoltaicos em que requer inserir energia diretamente na rede elétrica, também em carros/autocaravanas/rulotes em que se requer alimentar sistemas 230 V AC e claro em sistemas em que se requer variar velocidade de motores AC.

Para esta aplicação, com bateria de 12 V e com um multiplicador de tensão a necessitar de uma alimentação de 230 V AC, é usado um circuito elétrico simples com a finalidade de variar frequência [5].

#### 4.8.2. Estudo do Inversor

Na Figura 61 é apresentado o desenho do circuito Inversor 12 V DC-230 V AC.

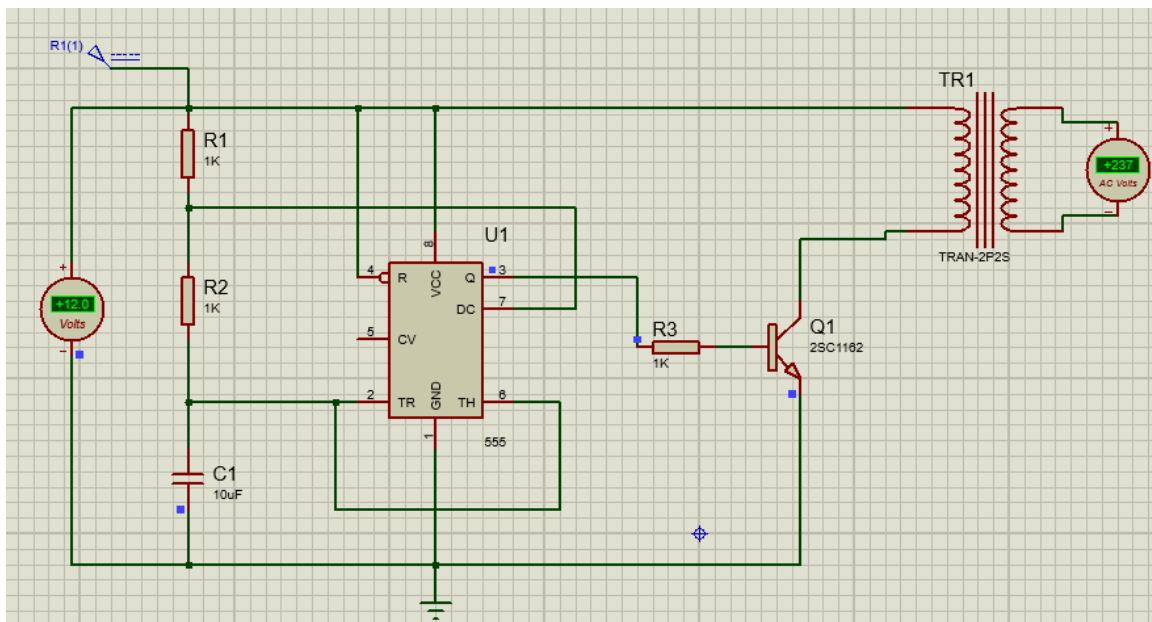


Figura 61-Circuito Inversor 12 V DC-230 V AC.

Dados desejados:

- Tensão de entrada: 12 V DC
- Tensão de Saída: 235 V AC
- Frequência de Saída: 50 Hz

Para este circuito teve-se em atenção as seguintes condições:

- $R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega$
- $C_1 = 10 \text{ }\mu\text{F}$

Com estes componentes obtém-se através das Equações relativas ao LM555 dada no datasheet. Frequência de oscilação:

$$f = \frac{1,44}{(R_1+2 \cdot R_2) \cdot C_2} \Leftrightarrow f = \frac{1,44}{(1+2 \cdot 1) \cdot 0,00001} \Leftrightarrow f = 48 \text{ Hz} \quad (75)$$

Com estes valores consegue-se obter uma saída de 230 V AC com frequência aproximadamente de 50 Hz.

Pode obter-se a respetiva frequência pelo osciloscópio do Proteus conforme exposto na Figura 62.

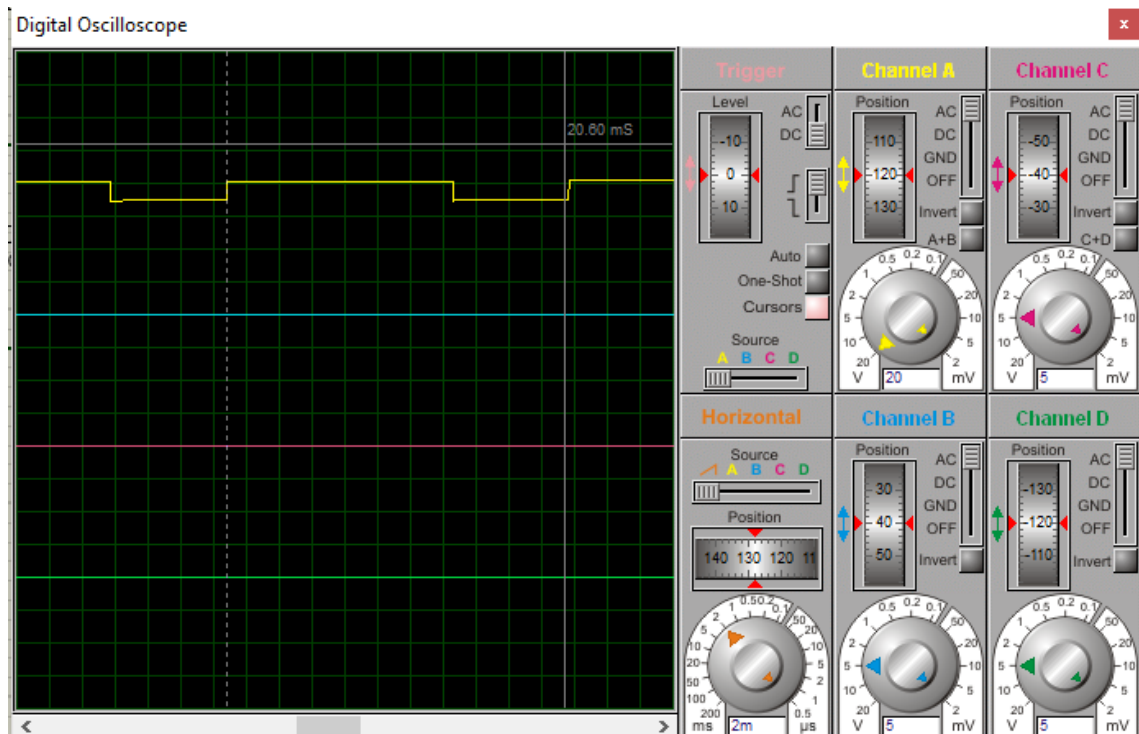


Figura 62-Estudo da onda de saída do LM555.

## 4.9. Circuito do inversor

Na Figura 62, pelos cursores do osciloscópio, um período completo leva 20,9 ms.

$$\text{Sabendo } f = \frac{1}{T} \Leftrightarrow f = \frac{1}{20,6 \cdot 10^{-3}} \Leftrightarrow f = 48,6 \text{ kHz}$$

#### 4.9.1. Inversor PCB

Para o circuito do inversor foi realizado o estudo para a construção de uma PCB. Para tal, no software *Proteus* foi introduzido o circuito e desenvolvido de modo a criar pistas para condução elétrica como é ilustrado na Figura 63. Foi elaborada também uma imagem 3D da placa como é ilustrado na Figura 64. Por fim na Figura 65 e Figura 66, obtém-se o “negativo” das pistas para usar na construção da placa, sendo esta constituída por pistas e malha. De mencionar que esta PCB é de dupla face.

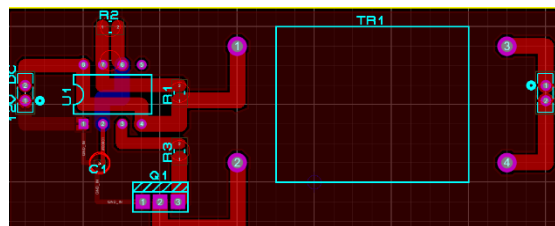


Figura 63-Imagem relativa ao circuito do inversor.

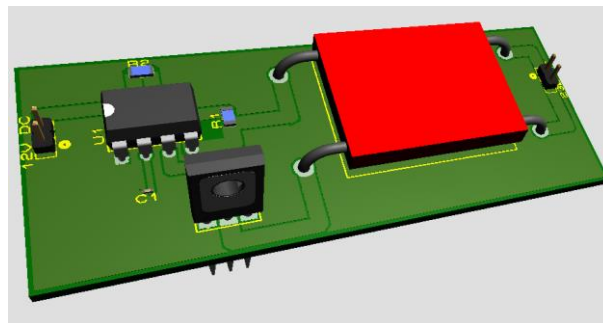


Figura 64-Imagem 3D da placa de circuito impresso relativo ao Inversor.

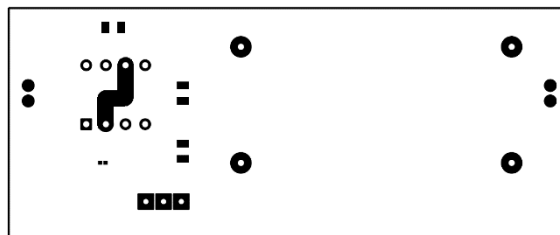


Figura 65-Negativo do circuito do inversor (vista de topo).

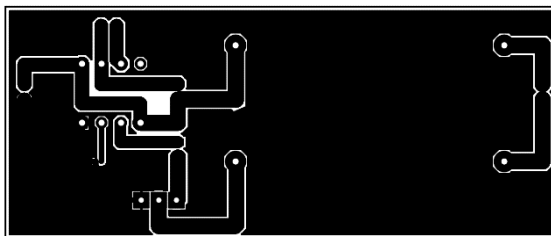


Figura 66-Negativo do circuito do inversor (vista de baixo).

## **4.10. Proteções do circuito e carga**

### **4.10.1. Modo noturno**

Para possibilitar poupança de energia e tornar o sistema mais eficiente, porque mesmo não havendo descargas elétricas na harpa, o sistema consome energia, ainda mais por causa do transformador, foi optado por se usar um sistema em que funcione durante o dia e se desligue durante a noite. O sistema fará o corte da alimentação do conversor (bateria-carga). Será usado o circuito estudado anteriormente.

### **4.10.2. Circuito de proteção de nível de bateria**

Para de certa forma garantir que a bateria não descarrega na totalidade, foi optado por criar um circuito de proteção. Este circuito irá cortar a alimentação ao conversor quando a tensão da bateria for inferior a 11 V (valor que tem de ser testado e com possível mudança quando necessário, trocando apenas o diodo Zener). Com este sistema, caso a bateria tenha pouca carga, o sistema entra em “*stand by*”, até a bateria ter carga novamente para dar ao circuito. O circuito pode ser consultado na Figura 62.

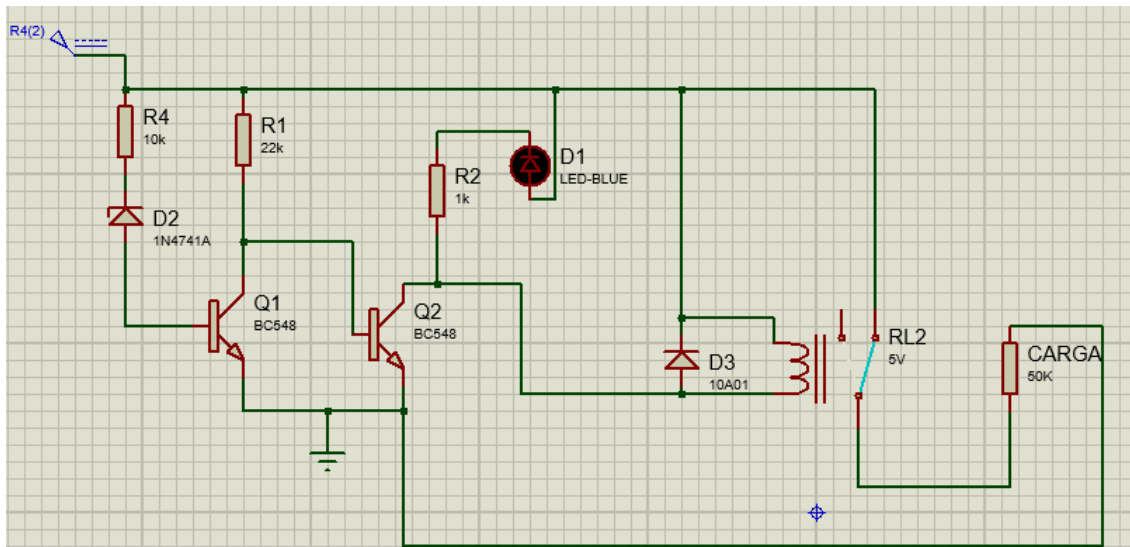


Figura 67-circuito de proteção bateria (acima de 11 V).

No circuito apresentado na Figura 67, com a tensão de carga superior a 11 V, o relé fecha o circuito dando então alimentação ao conversor que está simulado com uma resistência de carga.

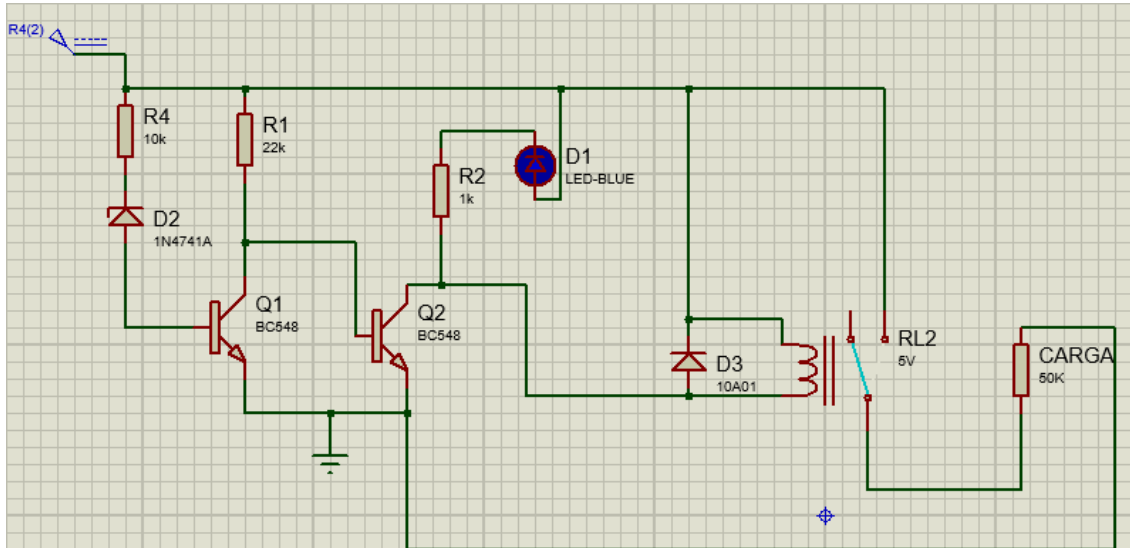


Figura 68-circuito de proteção bateria (abaixo de 11 V).

No circuito da Figura 68, a tensão de carga inferior a 11 V, o relé abre o circuito na carga e acende o LED de sinal de bateria fraca.

Esta oscilação da tensão (acima ou abaixo de 11 V) deve-se ao nível de carga de bateria:

- Em circuito fechado há consumo se baixar de 11 V, a bateria está com baixo nível de carga.
- Em circuito fechado há consumo se acima dos 11 V, a bateria está com alto nível de carga.

Assim é possível realizar um controle de carga.

#### 4.10.3. Proteção de descarga da bateria (PCB)

O circuito de proteção de carga da bateria tem grande utilidade, pois para que as baterias convencionais (lítio) não se danifiquem, convém não descer abaixo de um certo nível de carga. Foi feito o estudo para a construção de uma PCB. Para tal, no software *Proteus* foi introduzido o circuito e desenvolvido de modo a criar pistas para condução elétrica como é ilustrado na Figura 69. Foi elaborada também uma imagem 3D da placa como é ilustrado na Figura 70. Por fim na Figura 71 e Figura 72, obtém-se o “negativo” das pistas para usar na construção da placa, sendo esta constituída por pistas e malha. De mencionar que esta PCB é de dupla face.

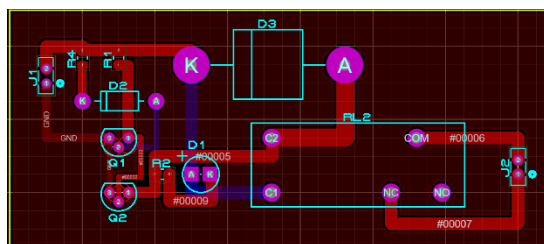


Figura 69- Circuito de proteção de carga da bateria.

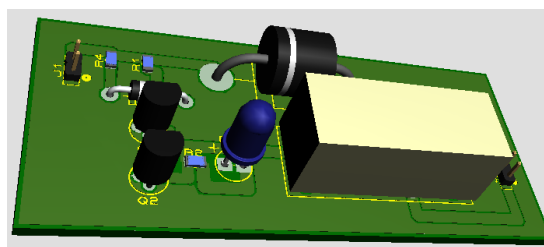


Figura 70-Imagem 3D da placa de circuito impresso relativo ao circuito de proteção de carga da bateria.

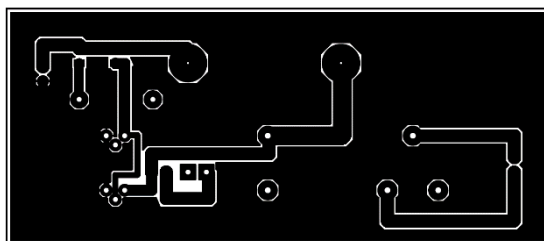


Figura 71- Negativo do circuito de proteção de carga da bateria (vista de topo).

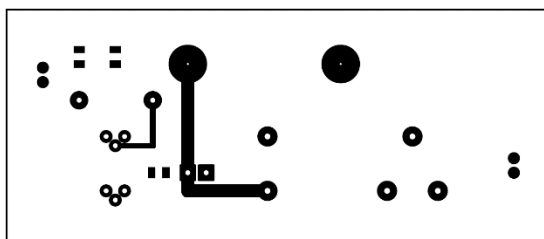


Figura 72- Negativo do circuito de proteção de carga da bateria (vita de baixo).

## 4.11. Baterias

### 4.11.1. Tipo de bateria

Para esta aplicação será usada uma bateria de lítio 12 V e 7 h, porque é necessária uma tensão de alimentação de 12 V e convém ter alguma capacidade para dias em que possa haver menos luminosidade. No entanto, como é um sistema sem transformadores, não existe um consumo constante elevado, o que de certa forma não necessita de grande capacidade. No entanto é feita esta escolha porque o painel solar tem elevada potência de saída.

### 4.11.2. Técnicas de carga de baterias

O processo de carga de uma bateria deve seguir algumas especificações, de modo a assegurar a sua segurança e longevidade. Se o processo de carga não for o adequado, a eficiência do processo é reduzida, assim como o número de ciclos, e esta pode degradar-se irreversivelmente, podendo ocorrer risco de explosão. Existem vários métodos de carga consoante a bateria em questão, dos quais se destacam os presentes na Tabela 3.

Tabela 3-Técnicas de carga para baterias [3].

Método	Funcionamento	Vantagens/desvantagens
Corrente constante	Valor de corrente constante na ordem do C/5 aos terminais da bateria.	Permite carga lenta (trickle charging); Pode causar sobrecarga.
Tensão constante	Valor de tensão constante aos terminais da bateria; A corrente é elevada no início e diminui com o aumento da carga da bateria.	Carga rápida; Os valores iniciais de corrente podem ser demasiado elevados, elevando a temperatura interna da bateria, provocando um desgaste prematuro.
Corrente constante-tensão constante	Duas fases de ciclo de carga: primeira fase com corrente constante até ao valor máximo da carga; segunda fase com tensão constante, fazendo diminuir a corrente até ao mínimo constante.	Tempo de carga reduzido; Previne sobrecargas.
Impulsos de corrente	Impulsos de corrente seguidos de períodos reduzidos de descanso; Se a corrente for elevada, a taxa de difusão de iões é lenta, fazendo com que a tensão da bateria aumente rapidamente; de seguida é aplicado o método da tensão constante	Rapidez de carga depende da taxa de difusão de iões.
Carga refletiva	Aplica o método de impulsos de corrente, com um curto pulso de descarga no período de descanso.	Acelera o processo de estabilização de reações químicas; Aumenta o número de ciclos da bateria.

O método mais adequado para a carga de baterias de lítio é o método de corrente constante-tensão constante, uma vez que previne sobrecargas e carrega a bateria quase a 100% em tempos reduzidos [3].

#### 4.11.3. Dados conclusivos

Após vários testes e simulações foi perceptível que este conversor *flyback* tem um consumo enorme de energia, o que para qualquer situação se revela inconveniente devido ao seu transformador, ainda para mais no que toca a dimensionamento de baterias e painéis. O conversor *flyback* será descartado. A harpa tem então dois modos de funcionamento, por rede elétrica ou por painel fotovoltaico.

Por rede elétrica, o sistema tem apenas um multiplicador de tensão a elevar a tensão de 230 V para valores acima de 1 kV que é aplicado diretamente na harpa. Este sistema possui uma proteção em que no período noturno desliga a tensão de saída. Como funciona a 12 V DC, é utilizada uma fonte de 230 V AC para 12 V DC.

Para o painel fotovoltaico, o sistema tem um conversor DC-DC para carregamento de bateria com controlador MTTP. Posteriormente é introduzido um inversor para

transformar uma tensão de 12 V DC para 230 V AC. Com este valor de tensão é usado um multiplicador de tensão para ligar diretamente á harpa.

#### **4.11.4. Harpa Elétrica**

A harpa elétrica é constituída por uma armação em PVC ou madeira com dois fios “nús” com uma diferença de potencial superior a 1 kV, sendo que tem o mesmo funcionamento que uma raquete de matar insetos, mas em maior dimensão. Esses fios tem um espaçamento entre eles de 2 cm, o suficiente para a vespa tocar nos dois fios ao mesmo tempo e ser eletrocutada. Enquanto que a abelha que tem um tamanho inferior, não terá qualquer dano pois nunca tocará nos dois fios em simultâneo. Na Figura 73 é apresentado um esquema da harpa elétrica.

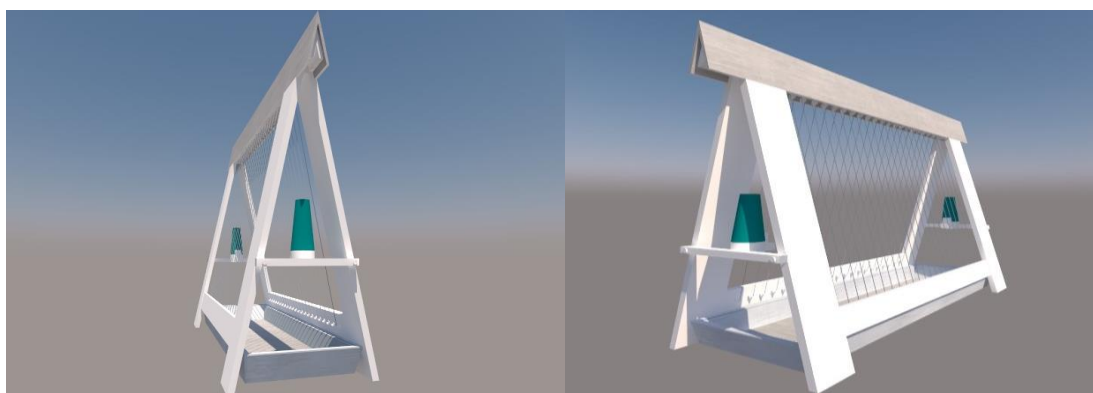


Figura 73-Harpa Elétrica, modelação no programa SketchUp.

A harpa é introduzida entre duas colmeias para apanhar a vespa no seu voo de colmeia em colmeia. A harpa por baixo terá um recipiente com matéria líquida, preferencialmente óleo (se for água evapora rápido), para que as vespas quando caírem atordoadas com a descarga elétrica, fiquem imediatamente húmidas e lhes seja impossível sair desse recipiente e acabem por morrer. Lateralmente, terá dois bebedouros para inserir atrativo para vespas. Este atrativo existe à venda em lojas de agricultura e também há receitas caseiras disponíveis. Esta harpa foi desenhada no programa de modelação 3D *SketchUp*.

## 5. Conclusões

### 5.1. Conclusões gerais

O cumprimento dos objetivos propostos nesta dissertação resulta da necessidade de combater a vespa asiática nos apiários com métodos eletrônicos.

A vespa ataca em massa os enxames de abelhas na tentativa de saciar o apetite das suas crias, deixando colmeias totalmente despovoadas dando origem a crises de polinização devido à falta de abelhas.

Na tentativa de tornar este combate o mais fácil possível, foi desenvolvido na elaboração da presente dissertação um sistema eficiente, económico e pensado em todos os detalhes necessários para o meio onde será inserido.

O circuito desenvolvido tem duas formas de funcionamento, umas delas alimentado por rede elétrica (na eventualidade do apiário estar junto a instalações) e outra por painel fotovoltaico (na falta de rede elétrica junto aos apiários).

Para o sistema alimentado pela rede elétrica, foi estipulado que este tem um multiplicador de tensão que enquanto eleva a tensão para valores acima de 1 kV, faz também a retificação de onda. Para tornar o sistema o mais rentável possível, em dias de chuva e durante a noite (períodos em que nem as abelhas nem as vespas saem dos seus ninhos) o circuito corta a corrente ao multiplicador de tensão por meio de um circuito independente de controlo, chamado de proteção noturna.

O circuito de proteção noturna em si tem uma tensão de funcionamento de 12 V, para cumprir essa tensão foi feito um estudo e projetou-se um circuito de uma fonte de alimentação, usando uma ponte retificadora e um regulador de tensão seguido de uns condensadores.

Desta forma, foram conseguidos criar três circuitos independentes, mas com funcionamento em conjunto em que o objetivo final será inserir uma tensão superior a 1kV na harpa elétrica.

Relativamente ao segundo método de funcionamento, este alimentado por um painel fotovoltaico, corrente e tensões baixas (contínua), em que foi feito um estudo de conversores DC-DC para se poder carregar uma bateria.

Para realizar a carga da bateria, usou-se um conversor buck-boost tendo em consideração os dados do painel fotovoltaico, sendo que para um melhor controlo existem técnicas que não foram abordadas nesta dissertação.

Tendo a carga da bateria, o passo seguinte foi elevar uma tensão de 12 V contínuos para 1 kV contínuos.

Inicialmente foi pensado elaborar um conversor flyback, este permite elevar a tensão para valores pretendidos, recorrendo a simulações foi possível elaborar esse circuito, no entanto, devido aos seus transformadores, este, seria pouco eficiente, havendo então necessidade de recorrer a outra hipótese.

A forma escolhida passou por usar um multiplicador de tensão, mas este apenas faz o pretendido se na sua entrada estiverem valores de tensão alternado. Para resolver esse problema, elaborou-se um circuito inversor para converter 12 V contínuos em 230 V alternados. Feito isso, aplicou-se então o mesmo princípio e as mesmas proteções para o circuito inicial (alimentado por rede elétrica)

Todos estes estudos e testes foram elaborados com recurso a ferramentas de simulação, como o Proteus, o Multisim e todos os resultados expostos ao longo da presente dissertação.

Para completar os estudos, foram elaborados PCB's, layouts e os 3d de todos os circuitos eletrónicos.

## **5.2. Trabalho Futuro**

O trabalho desenvolvido não passa de testes e simulações, como tal, deve servir de ponto de partida para a construção de um protótipo para realizar testes reais e na eventualidade de ser viável, produzir em escala para o mercado. A colocação em teste real de um protótipo permitirá avaliar em concreto parâmetros que de momento foram somente projetados teoricamente. Os testes a desenvolver consistem em avaliar em efeito de repulsão conseguido pelas harpa elétrica, avaliando se a potência colocada na harpa é suficiente para afugentar a vespa asiática. Por outro lado, verificar se a distância entre os condutores não impõe qualquer risco às abelhas. O carregamento conseguido com o sistema fotovoltaico também deverá ser analisado em pormenor para diferentes condições climáticas.

## Referências Bibliográficas

- [1] Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) (2017). Importância dos polinizadores na produção de alimentos e na segurança alimentar global. Disponível na internet em: <https://www.cgee.org.br/documents/10182/734063/polinizadores-web.pdf>
- [2] Instituto da conservação da natureza e das florestas (2017). Plano de Ação para a Vigilância e Controlo da Vespa velutina em Portugal. Disponível na Internet em: <http://www2.icnf.pt/portal/pn/biodiversidade/patrinatur/resource/docs/exot/vespa/vespa-plano-acao-janeiro2018.pdf>
- [3] Guedes, F.C.L. (2013). Conversor DC-DC em tecnologia CMOS para energy harvesting (Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho). Disponível na internet em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/27731>
- [4] Aniceto, J. M. A. (2010). Conversor DC-DC com busca de ponto de potência máxima (MPPT) para painéis solares (Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa). Disponível na internet em <https://run.unl.pt/handle/10362/4977>
- [5] Cruz, L. J. O. (2011). Inversor de Tensão Monofásico em Ponte Completa a 50 Hz e 50 VA (Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho). Disponível na internet em: <http://intranet.dei.uminho.pt/gdmi/galeria/temas/pdf/44524.pdf>
- [6] NATIONAL INSTRUMENTS, ELETRONICS WORKBENCH GROUP, (2009). NI Multisim User Manual, disponível na internet em: <http://www.ni.com/pdf/manuals/374483d.pdf>
- [7] Bonfim, M. (1985). Introdução ao Spice. Disponível na internet em: <http://www.eletr.ufpr.br/marlio/labeng1/aulas/exp5.pdf>
- [8] ISIS, L. E. (2002). Intelligent Schematic Input System User Manual. Disponível na Internet em: [https://www.ele.uva.es/~jesman/BigSeti/ftp/Cajon\\_Desastre/Software-Manuales/EBook%20-%20Proteus%20Manual.pdf](https://www.ele.uva.es/~jesman/BigSeti/ftp/Cajon_Desastre/Software-Manuales/EBook%20-%20Proteus%20Manual.pdf)
- [9] Roskes, B. with Bob D. (2005). The SketchUp Book Version 5. Disponível na internet em: <https://fliphtml5.com/zroi/nfvm/basic/201-250>

- [10] Voltage M.I. (2013). High Voltage Innovation. Disponível na internet em <http://www.voltagemultipliers.com/wp-content/uploads/2018/06/VMI-Catalog-WebVersion.pdf>
- [11] Sinha, A. K. e Kumar, R. (2018), Generation of high voltage using cockcroft – walton voltage multiplier circuit, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 05(01), 510-503. Disponível na internet em: <https://www.irjet.net/archives/V5/i1/IRJET-V5I1108.pdf>
- [12] Marlio, J.C.B (2008), Multiplicador de Tensão. Disponível na internet em: <http://www.eletr.ufpr.br/marlio/te051/parte10.pdf>
- [13] Texas Instruments, (2013), LM340-N/LM78XX Series3-Terminal Positive Regulators. Disponível na internet em: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/545602/TI/LM78XX.html>
- [14] Junior, E. D. B. (2016), Circuito para carga de bateria através de energia solar (Dissertação de Mestrado da Universidade Tecnológica Federal do Paraná). Disponível na internet em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9163/1/GP\\_COMIN\\_2016\\_2\\_01.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9163/1/GP_COMIN_2016_2_01.pdf)
- [15] Lopes, F. J. S. (2016). Utilização de Baterias de Iões de Lítio em Sistemas de Armazenamento de Energia (Dissertação de Mestrado do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa). Disponível na internet em <https://repositorio.ipl.pt/handle/10400.21/7048>
- [16] Texas Instruments, (2015). LM340-N/LM78XX Series3-Terminal Positive Regulators. Disponível na internet em: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm555.pdf>
- [17] Ferreira J. (2017). Sistemas capacitivos - aplicados na avaliação da umidade relativa de madeira de pinus (Dissertação de Mestrado da Universidade Tecnológica Federal do Paraná). Disponível na internet em: [http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2903/1/PG\\_PPGEE\\_M\\_Ferreira%20C%20J%C3%A9ssimon\\_2017.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2903/1/PG_PPGEE_M_Ferreira%20C%20J%C3%A9ssimon_2017.pdf)