



Instituto Politécnico
de Castelo Branco

Instituto Politécnico de Castelo Branco

Borges, João Miguel Nunes

JB Synth

<https://minerva.ipcb.pt/handle/123456789/3594>

Metadados

Data de Publicação	2020
Resumo	A realização deste projecto consiste na implementação de um estudo realizado na área da síntese sonora e de electrónica e telecomunicações. O objectivo principal é construir um sintetizador analógico, com circuitos desenvolvidos de raiz para este equipamento aplicando o estudo que foi realizado ao longo do terceiro ano lectivo....
Editor	IPCB. ESART
Tipo	report
Revisão de Pares	Não
Coleções	ESART - Música - Variante de Música Eletrónica e Produção Musical

Esta página foi gerada automaticamente em 2024-04-29T13:53:26Z com informação proveniente do Repositório



Instituto Politécnico de Castelo Branco

Escola Superior de Artes Aplicadas

JB Synth

Projecto Individual II

João Miguel Nunes Borges

Música Electrónica e Produção Musical

2013/2014

Índice

Resumo.....	5
Introdução.....	6
Capítulo 1 - Apresentação do projecto	8
Capítulo 2 – Enquadramento Histórico.....	9
2.1-Primeiros registos	9
Capítulo 3 – Enquadramento Teórico	16
3.1 - Enquadramento Geral.....	16
.....	18
3.2 - Técnicas de síntese.....	22
3.3- Síntese utilizada no sintetizador	23
3.4 - O porque deste tipo de construção?	24
3.5– Clipping.....	25
Capítulo 4 – Diagrama de Blocos.....	28
4.1-Introdução do diagrama de Blocos	29
4.2-Explicação detalhada	30
Capítulo 5 – Diagrama de Síntese	34
5.1-Introdução do diagrama de Síntese	35
5.2-Explicação detalhada	36
Capítulo 6 – Painel.....	37
6.1-Introdução do Painel.....	38
Capítulo 7 – Componentes e material usado	39
7.1-Introdução geral dos componentes.....	39
7.2-Introdução individual	41
7.2.1- Amp op's	41
7.2.2 – Condensadores.....	44
7.2.3- Resistências.....	46
7.2.4 – Díodos.....	48
7.2.5 Fonte de alimentação.....	50

7.2.6 – Potenciómetros	51
Capítulo 8 – Desenvolvimento do Projecto.....	52
8.1-Estudo desenvolvido	52
8.2-Estudo implementado.....	54
8.3-Testes efectuados	55
8.4-Fases de construção.....	57
8.4.1-Escolha de componentes	58
8.4.2-Compra de material	59
8.4.3-Implementação em Breadboard	60
8.4.4-Desenho da caixa	62
8.4.5-Desenho da placa de circuito impresso	68
Conclusão	70
Referências.....	72

Índice de Imagens

Imagem 1 - Ondes Martenot.....	9
Imagem 2 – Trautonium.....	10
Imagem 3 - Órgão Hammond.....	11
Imagem 4 – Melochord, de Harald Bode.	12
Imagem 5 – Minimoog.	13
Imagem 6 – Robert Moog.	14
Imagem 7 – Características de uma onda.	18
Imagem 8 – Formas de onda.....	19
Imagem 9 – Estrutura harmónica de uma onda triangular.....	20
Imagem 10 – Estrutura harmónica de uma onda triangular.....	21
Imagem 11 – Frequência fundamental de 100Hz e os seus respectivos harmónicos.	21
Imagem 12 – Valor pico a pico	25
Imagem 13 – Onda senoidal normal e a fazer clipping.	26
.....	32
Imagem 15 – Gráfico referente a um Low Pass Filter	32
Imagem 16 – Interior de um Amp op.....	41
Imagem 17 – Amplificador dentro do 741	42
Imagem 18 – Interior do TL081	43
Imagem 19 – Condensador cerâmico e a sua respectiva leitura	45
Imagem 20 - Condensadores.....	45
Imagem 21 – Tabela de leitura das resistências	47
Imagem 22 - Díodo.....	48
Imagem 23 – Fonte de alimentação externa	50
Imagem 24 – Gráfico representativo dos quatro tipos de potenciómetros	51
Imagem 25 - Osciloscópio	55
Imagem 26 – Multímetro utilizado	56
Imagem 27 – Desenho da caixa em acrílico entregue à empresa.....	64
Imagem 28 – Furos do painel frontal	65
Imagem 29 – Painel posterior.	66
Imagem 30 – Autocolante final.....	67
Imagem 31 – Placa de circuitos impressos desenhada no Altium Protel.	69

Resumo

A realização deste projecto consiste na implementação de um estudo realizado na área da síntese sonora e de electrónica e telecomunicações.

O objectivo principal é construir um sintetizador analógico, com circuitos desenvolvidos de raiz para este equipamento aplicando o estudo que foi realizado ao longo do terceiro ano lectivo.

Introdução

Projecto Individual, é uma disciplina que propõem a realização de um projecto teórico/prático ou prático e teórico da escolha do discente com a aprovação do docente responsável pela disciplina, neste caso quem será também coordenador do projecto, o professor Rui Dias. A proposta inicial e a única, foi a criação de um sintetizador analógico, a mesma foi aprovada com sucesso.

Durante o primeiro semestre foi realizado um estudo na área de electrónica e síntese sonora, como base nesse estudo esteve presente e com um peso muito importante Timer 555, isto porque o sintetizador foi construído como base nesse integrado. Foram desenvolvidas técnicas de electrónica que neste semestre foram bastante uteis e praticamente todo o estudo que foi desenvolvido foi reaproveitado e continuado e em algumas situações melhorado.

Neste segundo semestre, o objectivo principal é construir um sintetizador com possibilidades de síntese sonora muito melhores e mais abrangentes do que o primeiro, corrigir alguns erros de construção, melhorar a qualidade áudio, ou seja, de alguma maneira conseguir corrigir os ruídos que nos circuitos se encontram e de alguma maneira preparar o mais aproximado possível o sintetizador como se fosse um modelo final, ou seja, um instrumento musical pronto e acabado.

Neste segundo semestre houve a possibilidade de contar com a parceria de um professor da EST, Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco, o professor Rogério Dionísio, o apoio principal seria

na implementação do meu estudo de electrónica para placas de circuito impresso.

Decidi chamar ao meu sintetizador JB Synth.

Capítulo 1 - Apresentação do projecto

A escolha deste tema foi bastante fácil de decidir, já estava planeada apresentar como objectivo ao coordenador de projecto a criação de um sintetizador desde o final do segundo ano. A Pesquisa sobre circuitos e a interpretação de alguns componentes começou em meados de Agosto de 2013.

O interesse na construção deste tipo de equipamento veio ao encontro do gosto pessoal relativamente á síntese sonora e electrónica, o facto de poder juntar as duas vertentes e criar um instrumento musical com circuitos só meus passou de imediato a ser um dos principais objectivos, a hipótese de poder apresentar em proposta para projecto induvial de curso poderia passar brevemente da ideia para a prática.

Contudo, inicialmente não acreditava que seria realmente possível construir e desenvolver um estudo nesta área com os poucos recursos e conhecimentos que tinha, logo como objectivo principal era apenas ganhar os conhecimentos possíveis durante este percurso ao longo do último ano de curso

Capítulo 2 – Enquadramento Histórico

2.1-Primeiros registos

Existem alguns registos históricos referentes aos primeiros sintetizadores, contudo e aos seus criadores, existiram também alguns protótipos que antecederam os sintetizadores mais conhecidos/comerciais.

Em 1928, Ondes Martenot, de Maurice Martenot, criou um instrumento musical electrónico o Ondes Martenot, tem um som parecido ao theremin.



Imagem 1 - Ondes Martenot.

Aproximadamente em 1930 Trautonium, um instrumento electrónico musical monofónico inventado por Friedrich Trautwein em Berlim na Musikhochschule's, não tem um teclado, é um insyrumento manual

feito de uma resistência feita de um fio e uma placa de metal que é pressionada para criar um som.



Imagem 2 – Trautonium.

Por volta de 1934, Laurens Hammond construiu um órgão electromecânico o Órgão Hammond, originalmente como alternativa aos órgãos de tubos o Órgão Hammond era vendido a igrejas, acabando por ser bastante usado para jazz e blues ou até mesmo para rock and roll e reage nas décadas de 1960 e 1970.



Imagem 3 - Órgão Hammond.

Em 1940, Harald Bode, um alemão engenheiro que teve um papel muito importante nas tecnologias na área dos instrumentos musicais electrónicos, grandes partes dessas tecnologias foi mesmo o pioneiro. Em 1959-1960 desenvolveu síntese modelar, posteriormente a divisão do teclado em duas zonas e a sensibilidade das teclas a pressão.



Imagem 4 – Melochord, de Harald Bode.

Entre outros como Harry Olson e Hebert Belar, 1952-1956, RCA mark I e mark II e em 1956 o Clavivox, de Raymond Scott.

2.2 - Robert Moog

Contudo, houve dois grandes indivíduos que tiveram um papel muito importante no desenvolvimento dos sintetizadores, Robert Moog e Herb Deutsch.

Robert Moog, nasceu em Nova Iorque a 23 de Maio de 1934 e morreu a 21 de Agosto de 2005, era um músico, inventivo e engenheiro com a cooperação de Harb Deutsch inventou o sintetizador Moog, apresentado pela primeira vez em 1964 num congresso.

O primeiro Moog criado por Robert era monofónico, apenas permitia poder tocar uma tecla de cada vez, logo impossibilitava a partida a criação de acordes, precisava também de ser afinado

constantemente, isto porque, dependia plenamente de tecnologia analógica.

O sintetizador que teve mais sucesso, pelo qual ficou mais conhecido e marcou bastante a história da síntese sonora foi o Minimoog, foi também o mais vendido.



Imagem 5 – Minimoog.

O Minimoog, foi lançado na empresa Moog Music inc., criada pelo Robert Moog, na qual foram criados e produzidos sintetizadores utilizados por vários artistas. A Laranja Mecânica, um filme de Stanley Kubrick, contou a utilização de sintetizadores Moog pelo Wendy Carlos, por exemplo.

Moog, inventou também o Moog Taurus, um sintetizador que permite ser tocado com os pés, com o intuito de ser utilizado como contra-baixo, inventou também o Vocoder e o Polymoog.



Imagem 6 – Robert Moog.

A lista de sintetizadores Moog, é a seguinte;

- Moog modular synthesizer (1963–1980)

- Minimoog (1970–1982)
- Moog Satellite (1974–1979)
- Moog Sonic 6 (1974–1979)
- Micromoog (1975–1979)
- Polymoog (1975–1980)
- Minitmoog (1975–1976)
- Moog Taurus (1976–1983)
- Multimoog (1978–1981)
- Moog Prodigy (1979–1984)
- Moog Liberation (1980)
- Moog Opus-3 (1980)
- Moog Concertmate MG-1 (1981)
- Moog Rogue (1981)
- Moog Source (1981)
- Memorymoog (1982–1985)
- Moogerfooger (1998–atualmente)
- Minimoog Voyager (2002–atualmente)
- Little Phatty (2006–atualmente)
- Minimoog Voyager Old School School(2008)
- Moog Guitar(2008)

Capítulo 3 – Enquadramento Teórico

3.1 - Enquadramento Geral

Um sintetizador analógico é um instrumento musical electrónico, baseado na manipulação de impulsos eléctricos, ou até mesmo de corrente continua DC (corrente directa). Aproveitando a frequência que na tensão circulas e manipulando e transformando essas frequências obtendo sons e realizando assim síntese sonora.

O principio é praticamente idêntico ao de electrónica e telecomunicações, contudo as frequência trabalhadas são as frequências audíveis pelo ser humano, de 20Hz a 18kHz, (valor aproximado).

O som é constituído por alterações na pressão do ar sob a forma de ondas. As frequências que os ouvidos podem ouvir são limitadas a uma faixa específica de frequências.

3.2 Síntese sonora

A frequência, é uma grandeza física, que indica o número de ocorrências de um determinado evento, neste caso o número de vezes que um período se repete num determinado tempo. O tempo é definido por um período, neste caso a medição é feita pelo número de ciclos que se repetem por um segundo.

O período, é indicado por T, que corresponde a um ciclo, na unidade do sistema internacional de medidas, o tempo é em segundos, ou seja:

$$\text{Frequency} = \frac{1}{\text{Periodic time}} \quad \text{or} \quad f = \frac{1}{T} \text{ Hz}$$

$$\text{Periodic time} = \frac{1}{\text{Frequency}} \quad \text{or} \quad T = \frac{1}{f} \text{ sec}$$

Existem sintetizadores digitais, analógicos e híbridos, os sintetizadores digitais que consistem na leitura de dados contidos numa memória, ou na manipulação matemática de valores com o uso de tecnologia digital, usando um processamento interno para o processamento de informação digital, existem outros tipos de técnicas de construção de síntese digital.

As hipóteses são praticamente ilimitadas, conteúdo o processamento e leitura de valores definidos por processadores

primários e básicos, até ao simples facto de programar placas de processamento ou até mesmo desenvolver softwares em programas de programação virtual.

A síntese analógica é criada com base na energia mecânica de uma onda sonora, essa energia é transformada num sinal, manipulada e é de novo transformada em energia mecânica quando é produzida novamente.

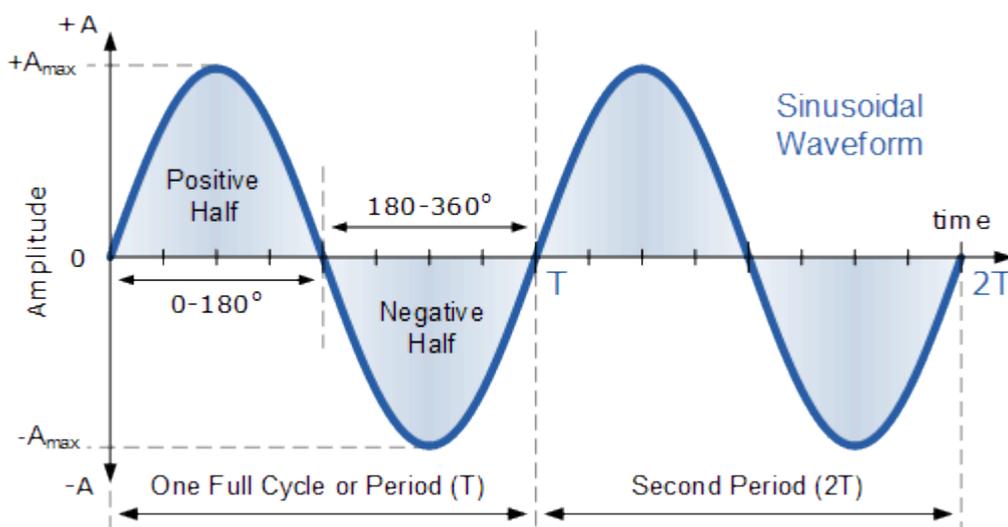


Imagem 7 – Características de uma onda.

A amplitude de um sinal mostra a intensidade de um sinal, no caso da síntese analógica, a amplitude de um sinal depende da tensão que é aplicada à malha específica do sinal.

Na imagem 8, é possível observar dois períodos de um sinal, neste caso o sinal contém dois ciclos completos, $2T$, com uma amplitude máxima e uma amplitude mínima.

Existem formas de onda bipolares e unipolares, as bipolares têm amplitude negativa e positiva ao contrário das unipolares apenas tem são positivas ou negativas no eixo do y , a amplitude.

Neste caso, temos um forma de onda de amplitude $-A_{max}$ e $+A_{max}$.

Existem vários tipos de formas de ondas da síntese analógicas as mais utilizadas são as ondas quadradas, sinusoidais e triangulares.

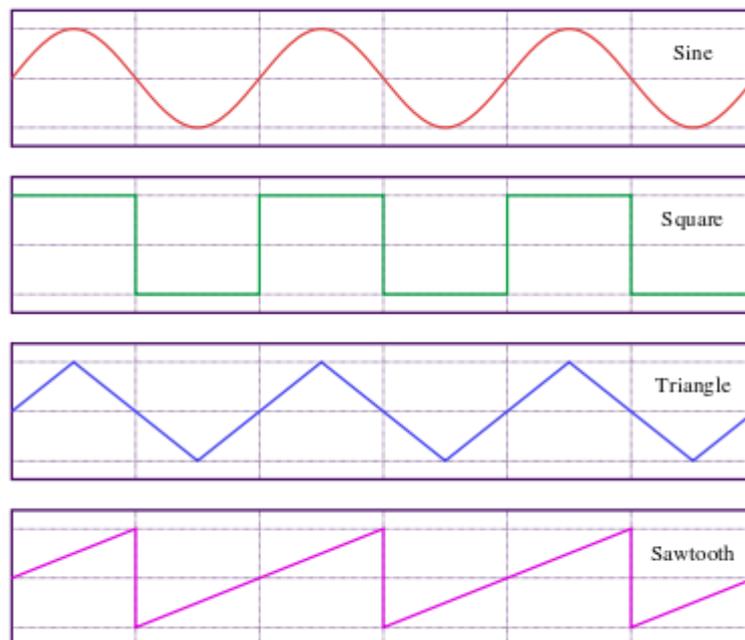


Imagem 8 – Formas de onda.

O Sawtooth, dente de serra, não é nada mais, nada menos, na manipulação da onda triangular, alterando o factor de duty cycle da frequência em questão.

A onda sinusoidal é a que contem menos harmónicos, ao contrario a onda triangular e quadrada que são ricas em harmónicos. O harmónico de uma determinada frequência é a componente do sinal que é múltiplo inteiro da frequência fundamental.

Em termos musicais, os harmónicos são componentes de um tom harmónico no qual o som é multiplicado por um número inteiro ou adicionado com uma nota tocada num instrumento musical.

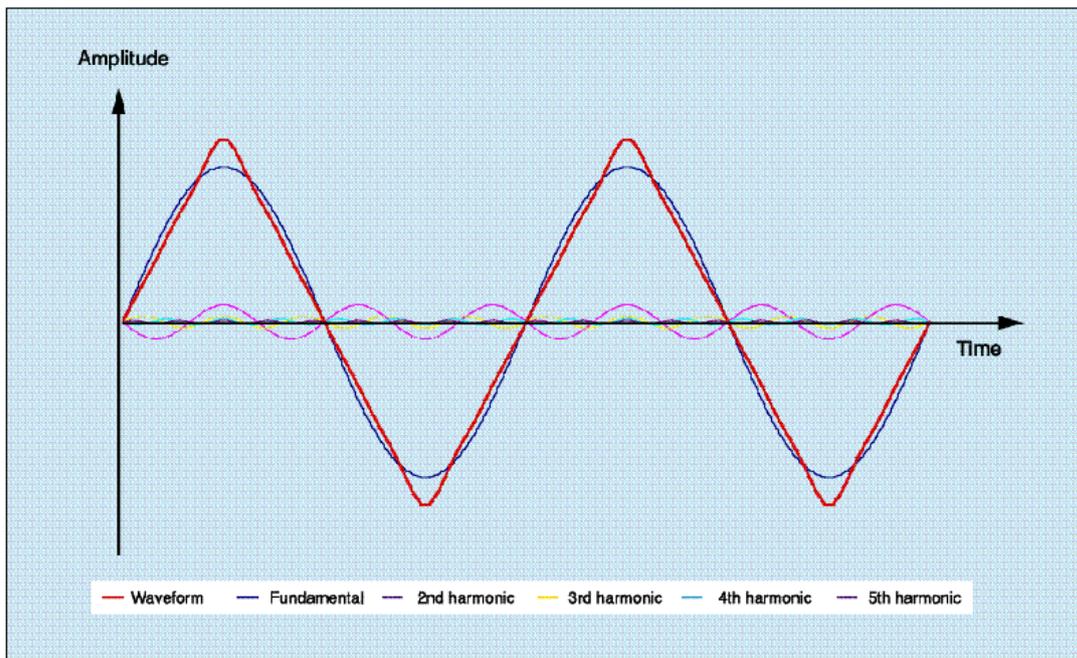


Imagem 9 – Estrutura harmónica de uma onda triangular.

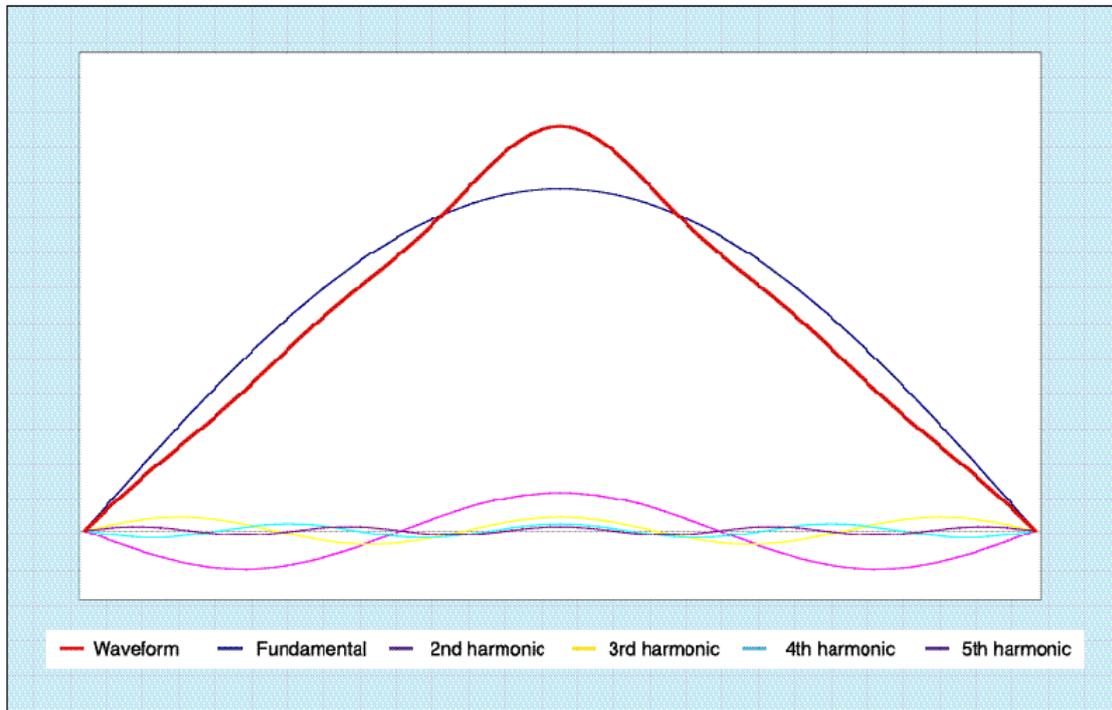


Imagem 10 – Estrutura harmónica de uma onda triangular.

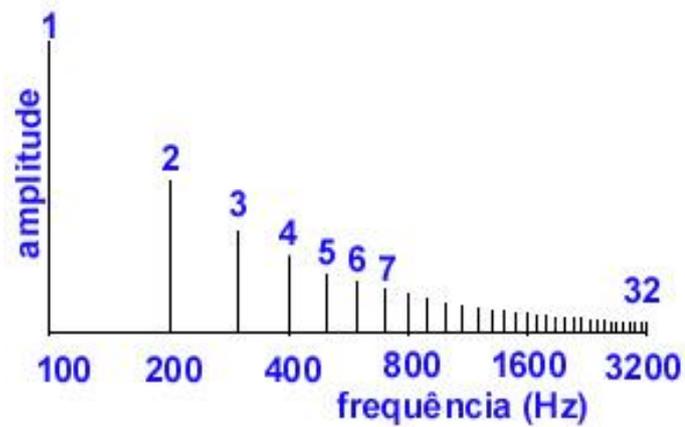


Imagem 11 – Frequência fundamental de 100Hz e os seus respectivos harmónicos.

3.2 - Técnicas de síntese

Existem vários tipos de síntese sonora, síntese aditiva, síntese substractiva, modelação por frequência (FM), Ring Modulation (RM), Amplitude Modulation (AM), modelação física, modelação por etapas, Distorção de Fase (PD), Síntese vectorial (Vector synthesis), Modulação física (Physical modelling) entre outras.

As mais utilizadas são síntese aditiva, síntese substractiva, FM, RM e AM, isto não pela facilidade de construção em termos de programação nem pela sua facilidade de compreensão mas sim pelos dois em simultâneo e a beleza da simplicidade sonora que possibilitam criar.

3.3- Síntese utilizada no sintetizador

Durante a criação deste projecto houve uma selecção de síntese, entre vários tipos delas que poderiam ser ou não utilizadas, baseando-me assim, principalmente na arquitectura de construção que pretendia. A síntese que seria possível fazer foi também definida pelo estudo que acompanhou este processo, assim como a limitação dos componentes presentes reduziram muito o campo limite em relação as escolhas possíveis.

Os tipos de síntese sonora utilizados são os seguintes, síntese aditiva e subtractiva, contudo, não é uma síntese aditiva e subtractiva normal, acontece um efeito de clipping o que veio enriquecer a criação de síntese possível neste equipamento.

3.4 - O porque deste tipo de construção?

As decisões tomadas para a construção e opções de sínteses sonoras neste estudo de síntese sonora partiram muito do equipamento possível de arranjar em tão pouco tempo e consequentemente a isso o tempo para estudar os componentes e implementa-los da melhor maneira.

Síntese aditiva foi explorada no primeiro semestre contudo não existia o efeito Clipping, a adição era realizada normalmente.

A adição de síntese substractiva, foi possível construir com praticamente os mesmos componentes que foram utilizados para a síntese aditiva contudo o princípio de funcionamento é um pouco diferente. A síntese substractiva não é nada mais, nada menos do que na prática inverter-me o segundo sinal, ou seja:

O efeito de Clipping, assim se chama, foi realizado por acidente durante a implementação dos estudos realizados em alguns circuitos electrónicos referente a integrados específicos. Sem perceber ao início o porque deste efeito, o resultado para mim, era extremamente rico e interessante, sendo assim foi posta de parte a possibilidade de esquecer este “erro” logo a prioridade for tentar perceber e desenvolver mais a partir deste erro de construção electrónica.

3.5– Clipping

Clipping é uma forma de distorção que ocorre quando um ampop está a realizar amplificação, e a tensão pico é superior do que aquela que ele mesmo está a ser alimentado, independentemente da tensão negativa ou positiva.

Optei por utilizar este tipo de síntese no sintetizador como papel principal na junção dos VCO's.

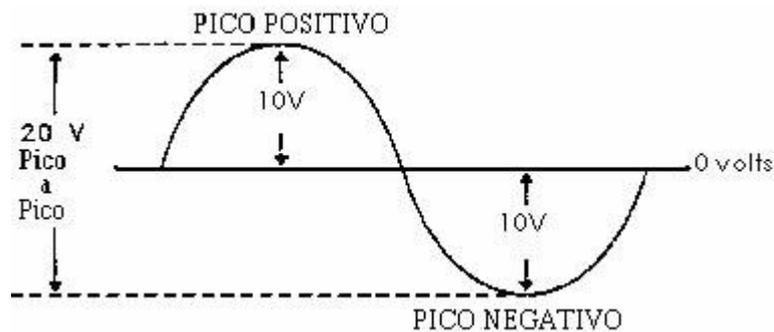


Imagem 12 – Valor pico a pico

Neste case, na imagem 11, o valor pico a pico da onda sinusoidal é de 20V ou seja, se fosse alimentada por tensão negativa, a partida seria alimentada por +10V e -10V. Neste caso, imaginamos que o ampop estaria a ser alimentado por +15V e -15V, tudo bem contudo se a tensão pico a pico fosse superior a 15V iria fazer o efeito Clipping na saída do ampop, principalmente se somasse ou subtraísse dois sinais.

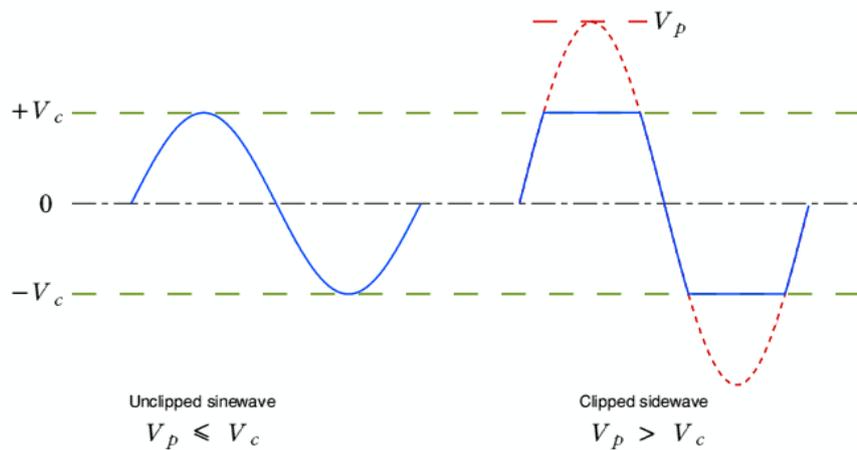


Imagem 13 – Onda senoidal normal e a fazer clipping.

Utilizar este tipo de distorção pode facilmente danificar componentes, principalmente por aquecimento, isto se os ampops estiverem a trabalhar perto do limiar máximo de tensão permitida.

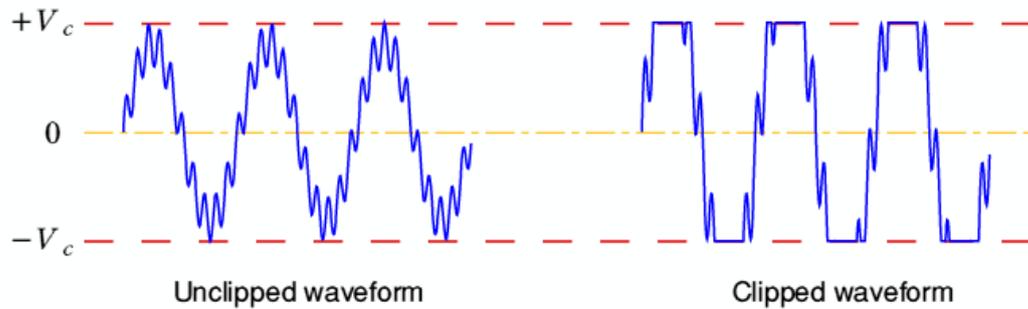
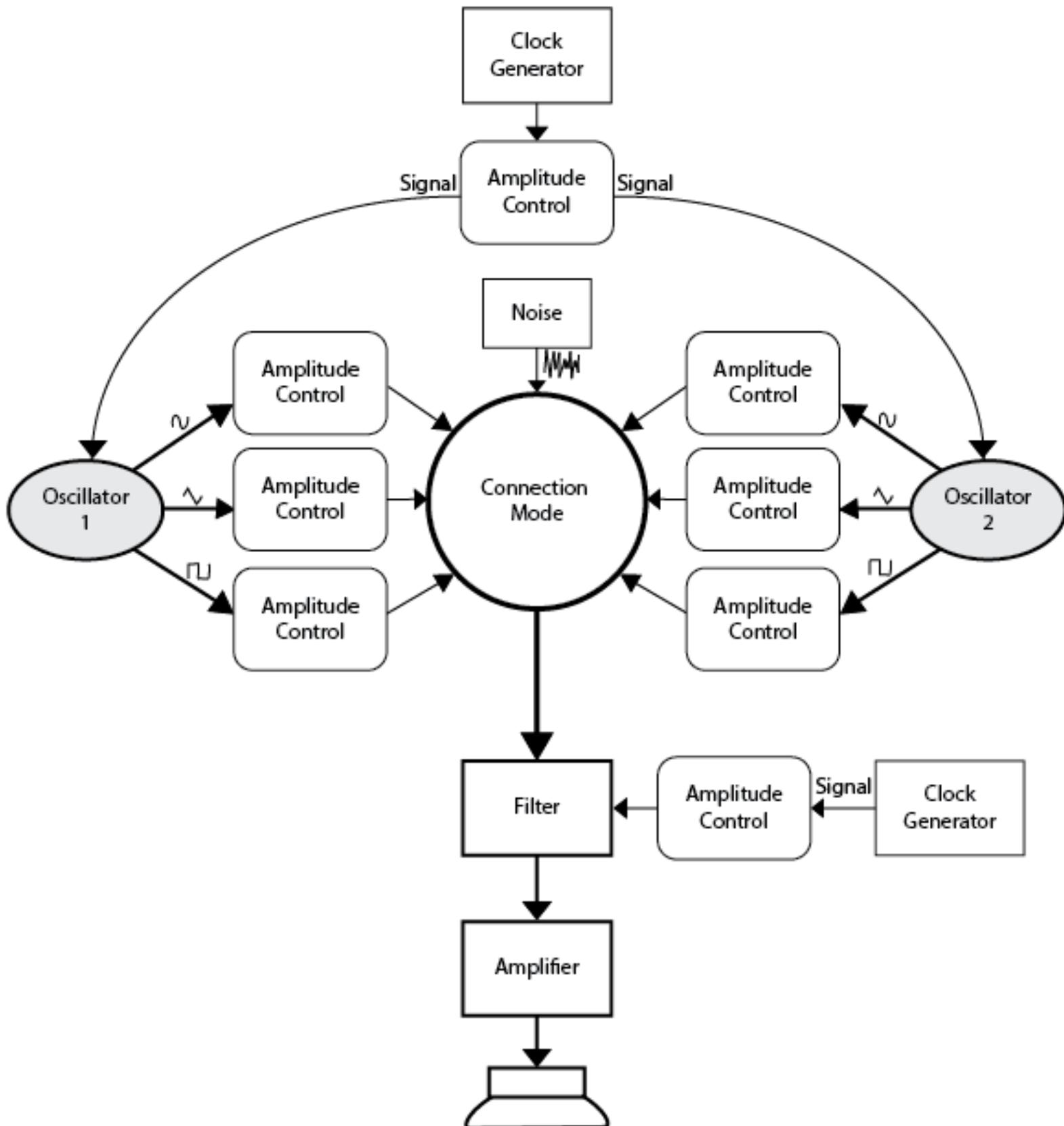


Imagem 14 – Onda de dois tons, com e sem Clipping.

Este efeito, cria muito facilmente uma espécie de modulação em AM, a partir do momento em que existe uma diferença de frequências aceitável.

Capítulo 4 – Diagrama de Blocos



4.1-Introdução do diagrama de Blocos

O diagrama de blocos é um diagrama que mostra de uma maneira mais detalhada os blocos que existem neste projecto.

O fluxo dos sinais áudio são representados por setas, os únicos blocos que não estão representados são os da área que permite a criação de patches.

O bloco noise, seria um bloco de ruído branco aproximadamente, o estudo realizado para esse bloco foi realizado contudo não chegou a ser implementado por falta de tempo. Independentemente disso foram implementados ao longo dos testes blocos de ruído, no entanto não se encontram na versão final mas foram apresentados ao coordenador durante o segundo semestre.

O block de clock generation, é um bloco que gera um clock assim lhe chamei, isto porque é tem praticamente a mesma função que um modelador alias na realidade será mesmo um modelador baseado num clock, poderia ter vários nomes, esse foi o que mais gostei.

4.2-Explicação detalhada

No diagrama de blocos é possível encontrar logo no início um gerador de clock, o mesmo tem a função de um LFO (Low Pass Filter). Permite alterar a frequência de oscilação, assim como o duty cycle do gerador de sinal.

Alterar o duty cycle permite alterar o tempo num período onde a onda por exemplo é positiva e é negativa, ou no caso do LFO o tempo em que fornece tensão ou não a um circuito.

Neste caso ambos os geradores de clock, assim lhes chamei, têm como função gerar uma tensão fixa a cada um dos osciladores principais, o oscilador 1 e 2. Essa tensão é sempre a mesma ou seja basicamente é um LFO para a alimentação dos osciladores.

A amplitude control é praticamente um VCA (Voltage Control Amplifier), está representado neste diagrama como amplitude control porque controla a amplitude do sinal fornecido anteriormente neste bloco, e assim sucessivamente para cada bloco.

O primeiro clock generator, que passa por um amplitude control, permite assim fornecer sinal a dois osciladores, o Oscilador 1 e o Oscilador 2.

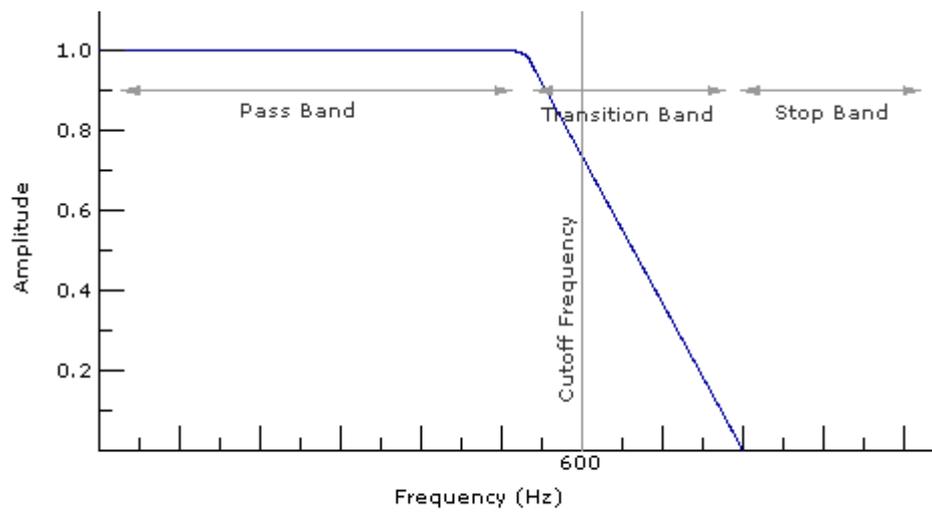
Os osciladores permitem receber ou não sinal dos geradores de clock por opção do utilizador, ambos os osciladores permitem ter na saída três tipo de onda, sinusoidal, triangular e quadrada. A onda quadrada tem na saída um pouco mais de amplitude contudo é um problema que ainda está a ser resolvido.

O bloco de noise, é um bloco que foi estudado contudo não está implementado na versão protótipo apresentada, isto porque é preciso muito mais tempo para implementar uma investigação que de mais tempo ainda precisa, ou seja será desenvolvido na continuação deste protótipo.

A parte de Connection Mode, é a sone onde é possível o utilizador criar pacth, ou seja, o utilizador poderá escolher entre síntese aditiva de síntese subtractiva, e baseado nessa escolha poder juntar dois sinais dos seis que tem possíveis escolher de entre os dois Osciladores principais.

Basicamente é possível juntar no total e ao mesmo tempo quatro sinais isto porque cada uma dessas possibilidades de síntese apenas tem duas entradas e duas saídas.

O filtro, é um bloco que permite ao utilizador utilizar um LPF (Low Pass Filter), ou seja um filtro que apenas deixa passar baixas frequências, fornecendo ao utilizador a frequência de corte que deseja começar a cortar.



Low pass filter with a cutoff frequency of 600Hz

Imagem 15 – Gráfico referente a um Low Pass Filter

Para além da frequência de corte, no filtro o utilizador pode também alterar o parâmetro Q do filtro, não é nada mais, nada menos do que alterar o valor de ganho da malha de amplificação do amp op que está a realizar este filtro. Altera neste caso a “amplitude” da frequência que está a cortar.

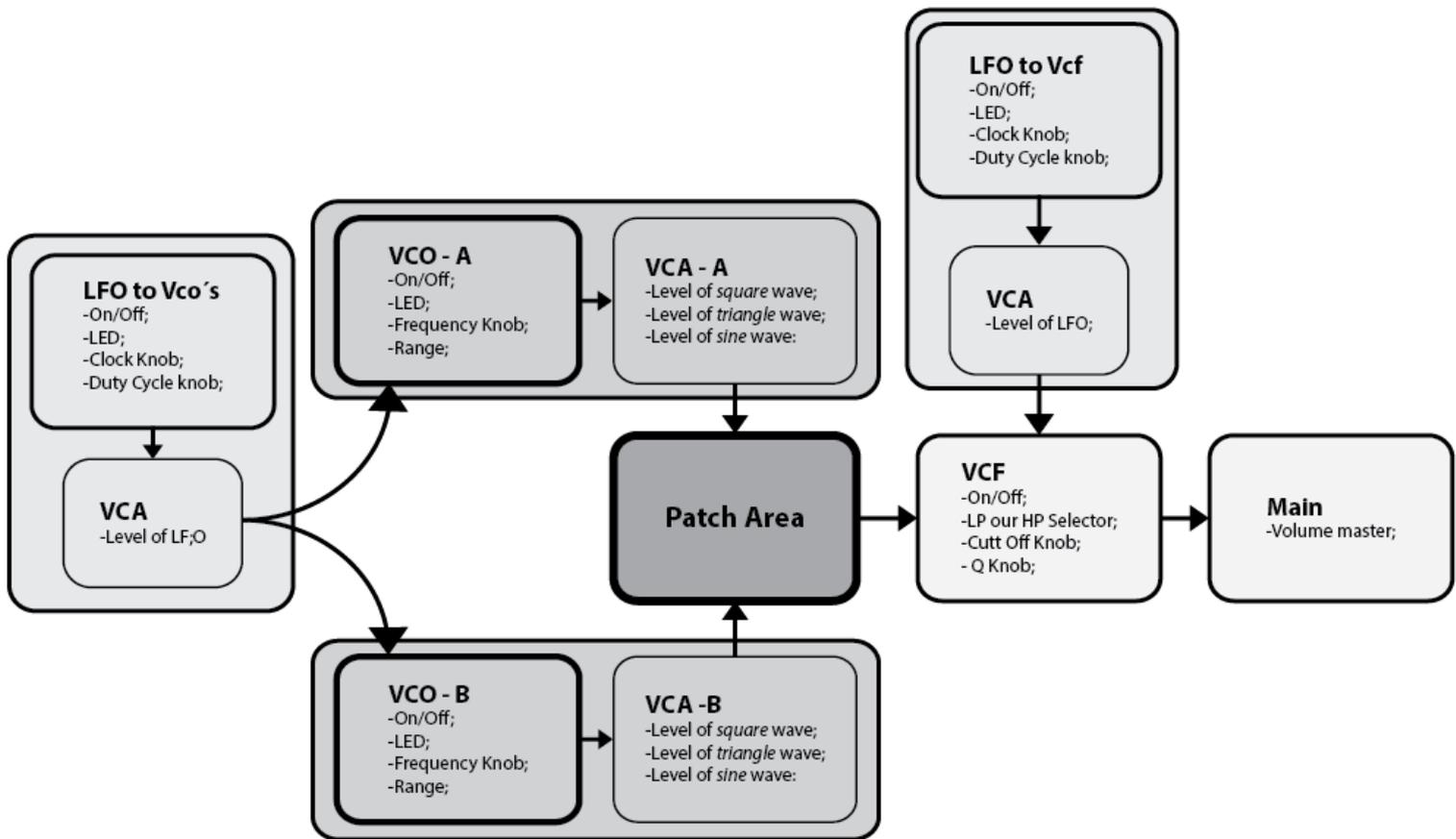
Neste bloco de filtro é possível receber um sinal de um gerador de clock independente do primeiro, ou seja é possível manipular a tensão de entrada do filtro podendo assim criar impulsos a este block, ligando e desligando.

Ambos os geradores de clock fornecem dois tipos de onda, onda quadrada e onda triangular. É possível assim criar uma espécie de dente de serra também alterando o duty cycle da onda triangular.

O bloco de amplitude não é nada mais, nada menos do que um bloco de amplificação do sinal geral antes de sair do equipamento.

Não achei que fosse necessário colocar um bloco das alimentações visto que se trata de uma fonte externa ao projecto.

Capítulo 5 – Diagrama de Síntese



5.1-Introdução do diagrama de Síntese

O diagrama de síntese exemplifica de uma maneira geral a síntese criada pelo equipamento que pretendo construir. É um esquema realizado por blocos relativamente só à síntese sonora e ao fluxo de sinal de uma perspectiva simples e prática.

O contraste das cores representa a importância que tem o instrumento, quanto mais escuro mais peso tem na criação de síntese ou poderá desempenhar o papel fundamental. Por exemplo, os VCO's onde tudo começa, onde tudo se origina.

5.2-Explicação detalhada

O diagrama de síntese visa explicar de uma forma rápida, prática e concisa do funcionamento geral em relação a síntese deste instrumento musical.

A parte mais importante neste instrumento relativamente a síntese é a área onde possibilita o utilizador criar os paths e direccionar os sinais por onde assim desejar.

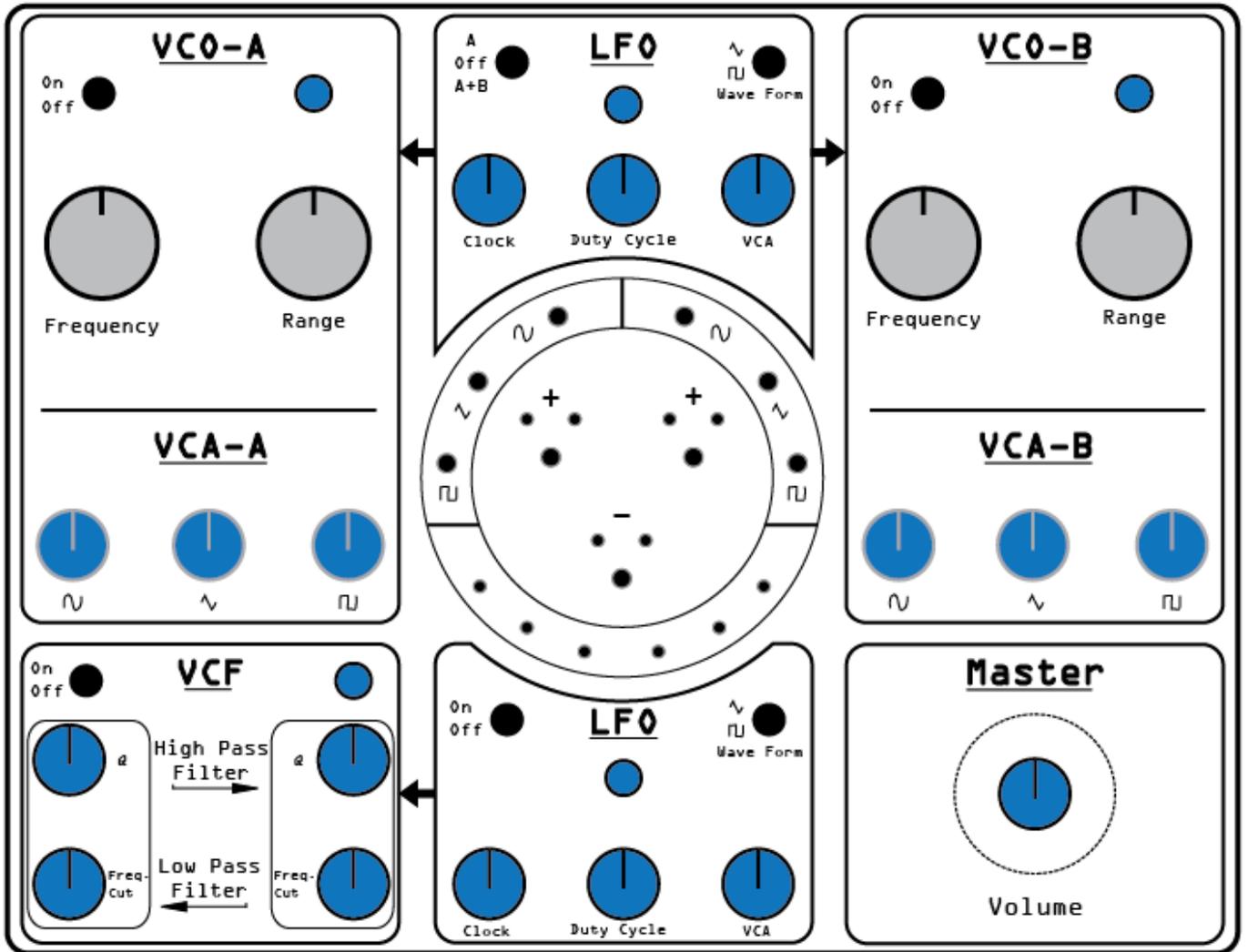
É possível observar também vários detalhes mais técnicos como por exemplo alguns componentes que estarão presentes em cada um dos blocos, como por exemplo botões On/Off, knobs de utilização Led's, entre outros.

Este tipo de detalhes permite ao utilizador saber também que tipo de resposta tem em cada um dos blocos visual, neste caso será apenas um contacto com o Led's que trará ao utilizador uma resposta do que está a produzir em tempo real.

Se um utilizador estiver a enviar sinal de um LFO (Low Pass Filter), terá essa resposta no próprio LFO e também em cada um dos VCO's (Voltage Control Oscillator) que estará a receber o sinal do LFO. Este tipo de contacto é extremamente importante independentemente do contacto auditivo que terá é claro.

Cada um dos VCA (Voltage Control Amplifier), está identificado com o que faz, para onde enviar e recebe o sinal.

Capítulo 6 – Painel



6.1-Introdução do Painei

O painei frontal foi totalmente desenvolvido de raiz para este sintetizador, foi desenvolvido no Illustrator também, tudo desenvolvido na escala correcta para poder encaixar na perfeição com os furos e as tampas dos potenciómetros.

As cores das tampas estão aproximadamente ao que seria o resultado do painei frontal na realidade, o tamanho e as cores teve de se respeitar para ter uma noção aproximada da combinação de cores a fazer.

Neste caso, a cor base é o azul e preto que não foi preciso ser implementado, azul nas tampas e nos Leds o azul é a base principal.

Capítulo 7 – Componentes e material usado

7.1-Introdução geral dos componentes

Grande parte dos componentes utilizados neste projecto são componentes passivos, contudo, para poder ter um desempenho superior em algumas situações houve necessidade de utilizar componentes activos.

Como componentes passivos foram utilizados díodos, resistências, condensadores, ampop, fusíveis e potenciômetros. Houve a necessidade de recorrer a condensadores de materiais diferentes, foram utilizados condensadores electrolíticos, de poliéster e cerâmicos, (os únicos com a polaridade são os condensadores electrolíticos).

Grande parte nos componentes ou praticamente todos não são de precisam, o que é um problema para a criação de síntese, o ideal seria poder ter componentes precisos, contudo, e devido ao seu baixo custo, optou-se pela utilização de resistências com uma precisão de 5% de tolerância.

Um componente ao ter 5% de tolerância significa que por exemplo uma resistência de $1K\Omega$ na realidade esse valor varia entre os 950Ω e 1050Ω .

Os componentes activos utilizados foram os seguintes, os integrados TL084, TL082, um TL081, um 741 e um 4017 na fase de

testes (para consultar os datasheet de cada componente basta ir a referencia, estará indicado um link para cada um).

Houve também a necessidade de recorrer a uma fonte de alimentação externa para fornecer energia ao equipamento, a vantagem de utilizar uma fonte de alimentação externa é imensa, visto poupar meses de investigação, estudo e implementação.

7.2-Introdução individual

7.2.1- Amp op's

Um amplificador operacional (amp op) é um integrado, dentro do mesmo existem mais de 30 componentes, sendo os principais díodos transístores.

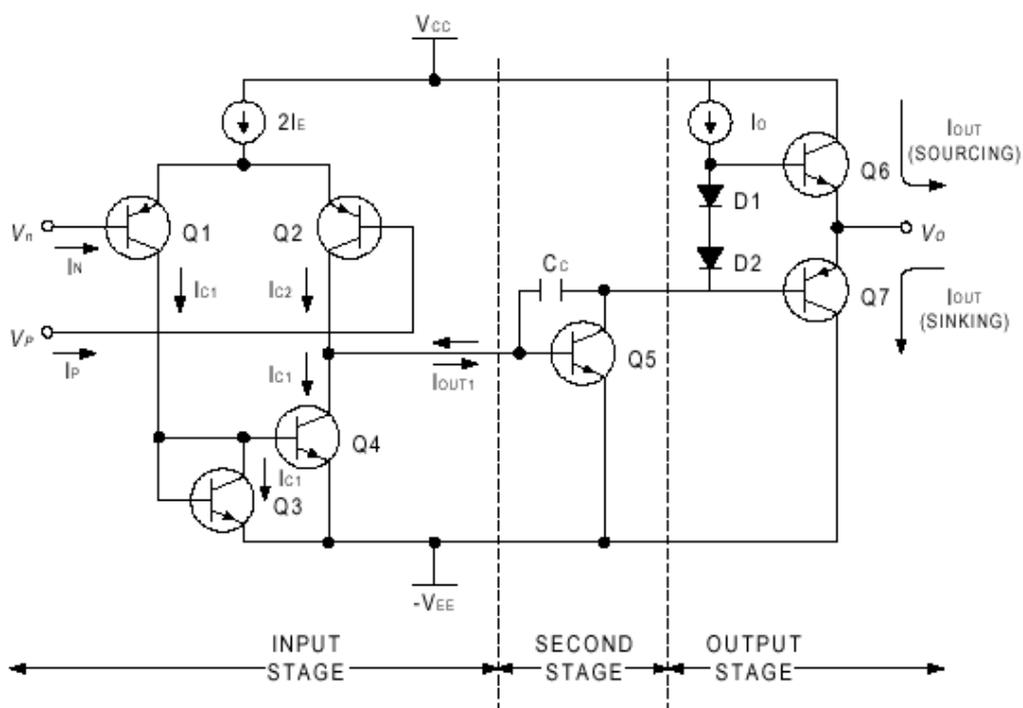


Imagem 16 – Interior de um Amp op.

Um amp op, é composto por duas entradas e uma saída, uma entrada positiva e uma negativa, é alimentado por tensão positiva e negativa. Dos dois terminais de entrada, um é designado por terminal inversor ou negativo (-) e o outro por terminal positivo ou não inversor (+).

É aconselhável ambos os valores serem praticamente iguais, ($-V_{EE}$ e V_{CC}). A tensão de saída é a diferença entre as entradas positiva e negativa, multiplicando pelo ganho em malha aberta.

Neste projecto as alimentações são fornecidas por uma fonte de alimentação externas que fornece $+10V$ e aproximadamente $-10V$.

Normalmente todos os Amp op's são representados por um triângulo, com as entradas representadas e a saída, aparece também as alimentações e nada mais, normalmente o outros três pinos do integrado não são utilizados.

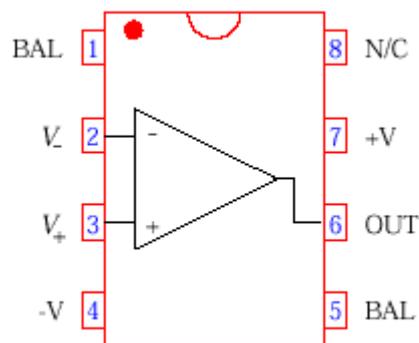


Imagem 17 – Amplificador dentro do 741

O TL081 e o integrado 741 são ambos amplificadores operacionais, são amplificador que podem chegar a ter um ganho muito elevado, podem ter também vários tipos de funcionalidades visto que o tipo de montagem e de implementação dos mesmos é muito vasto.

A saída do amplificador pode ser única ou diferencial, o que é menos comum.

A diferença entre o TL081 e o 741 é apenas a tecnologia de construção de cada um, contudo o melhor para implementar na construção de circuitos áudio é o TL081, a sua tecnologia permite poder obter resultado melhores do que o 741.

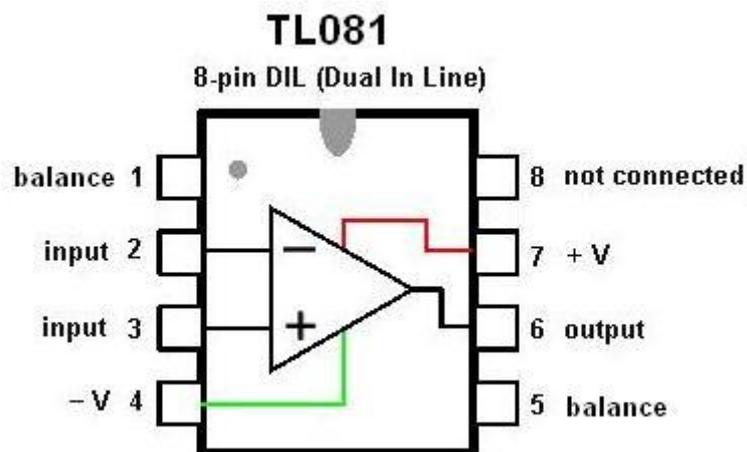


Imagem 18 – Interior do TL081

A imagem anterior representa uma imagem interna do TL081, a do integrado 741 é exactamente igual.

7.2.2 – Condensadores

O condensador, é um componente passivo que permite armazenar energia dentro do mesmo num campo eléctrico, possibilitando de seguida a sua descarga imediata. É possível calcular o tempo de carga e descarga de um condensador.

Neste projecto foram utilizados três tipos de condensadores, condensadores electrolíticos, cerâmicos e de poliéster.

A montagem de circuitos de condensadores calculasse ao contrário das resistências ou seja, um circuitos de condensadores em série é calculado da seguinte maneira:

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \text{ou:} \quad C_s = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

Condensadores em paralelo calculam-se da seguinte maneira:

$$C_p = C_1 + C_2$$

Os condensadores cerâmicos, são feitos de cerâmica e são utilizados normalmente baixos até cerca de 1uF, os poliésteres normalmente estão aproximadamente entre 1nF até 10uF.

Os condensadores electrolíticos, são condensadores de alta potencia, compactos contudo, existe uma grande perda de potência na forma de calor, normalmente estão na escala de 1uF até 1000uF.

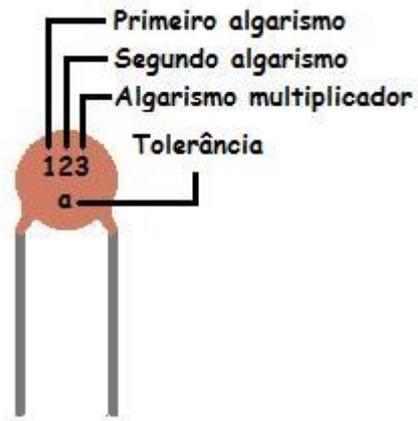


Imagem 19 – Condensador cerâmico e a sua respectiva leitura

Identificação do valor em condensadores cerâmicos



Imagem 20 - Condensadores

7.2.3- Resistências

As resistências, são componentes que oferecem resistência à passagem de corrente, normalmente feitas de carbono, tem como objectivo fornecer tensão ou corrente consoante o utilizador pretender.

Para se poder chegar a valores aproximados ao que o utilizador pretende utiliza-se a lei de Ohm, que é a seguinte:

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{or} \quad V = IR \quad \text{or} \quad R = \frac{V}{I}.$$

Ambas são exactamente a mesma contudo, o factor de evidencia é que é diferente, o que nos permite chegar a varias conclusões e esquema baseando-nos em três vertentes tensão (V na formula), corrente (I na formula) e R (a resistência no circuito).

O cálculo de circuitos de resistências é o contrário das dos condensadores ou seja, para resistências em paralelo a fórmula é a seguinte:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \text{ou} \quad R_p = R_1 || R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Para resistências em serie calculasse da seguinte maneira:

$$R_s = R_1 + R_2$$

Neste projecto as resistências utilizadas são praticamente resistências de ¼ de potência, e todas com 5% de tolerância.

Código de Cores de Resistências

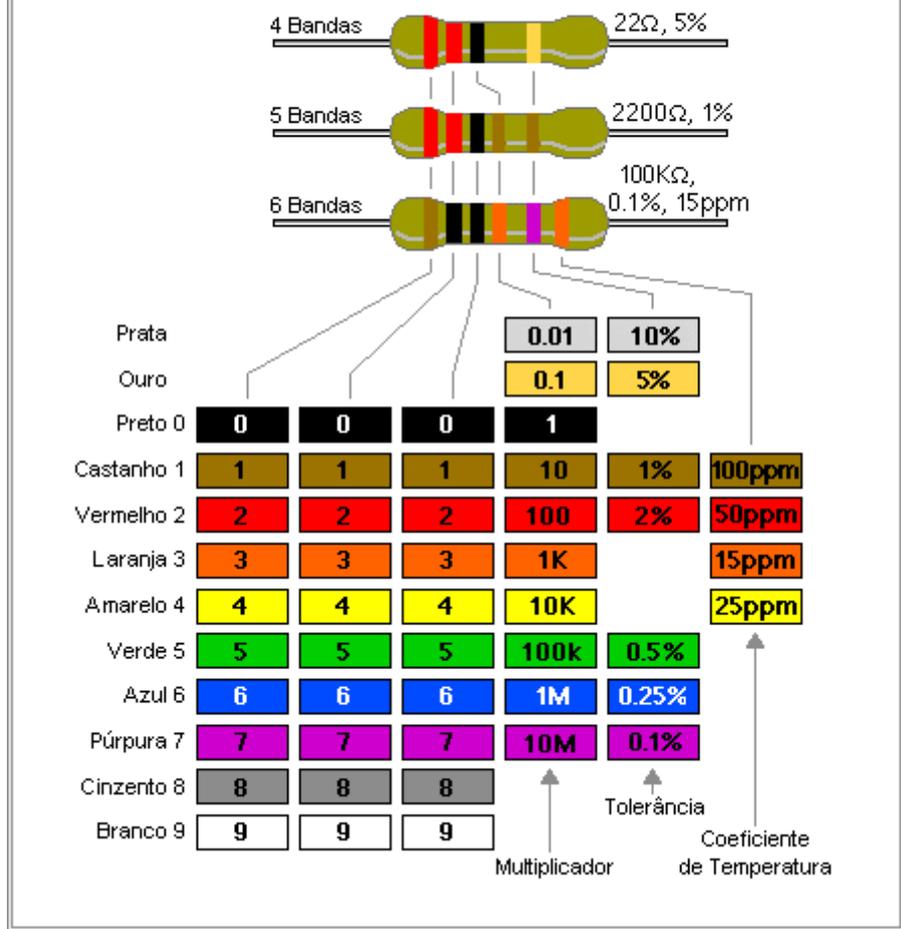


Imagem 21 – Tabela de leitura das resistências

7.2.4 – Díodos

O diodo é um componente não-linear utilizado numa variedade de circuitos, contudo é encontrado com uma grande frequência para conversores de potência AD/DC ou seja rectificadores, processamentos de sinal, circuitos digitais, rectificadores de ruído, entre outros.

É um componente composto por um cristal semiconductor, cujas as suas faces são opostas, o que causa a polarização das suas extremidades.

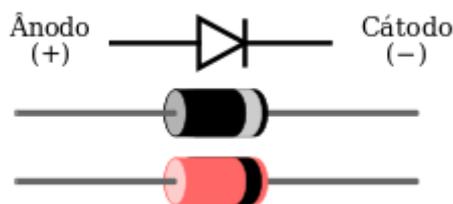
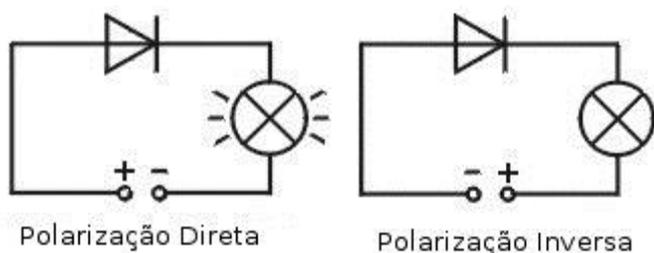


Imagem 22 - Diodo

O diodo permite que a corrente atravessasse num sentido apenas e não pelo sentido inverso, ou seja é um componente com polaridade, o exemplo seguinte explica de uma forma clara a polaridade do diodo:



No primeiro exemplo o díodo está colocado de forma polarizada e no segundo exemplo de forma não polarizada.

7.2.5 Fonte de alimentação

Embora não seja um componente separado achei por bem colocar uma breve descrição da fonte de alimentação.

A fonte de alimentação para este projecto é externa, foi reaproveitada de uma fonte de alimentação de um computador, isto porque este tipo de fonte permite a utilização de linhas de alimentação positivas e negativas, e ambas as linhas são estáveis contudo com muito ruído interno.

Na linha dos 5V a corrente máxima é de 15A e na linha aux de 5V a corrente máxima é de 2 A, na linha de 12V a corrente máxima é de 4^a e na realimentação negativa a corrente máxima é de 0.3^a ou seja 300mA, a fonte de alimentação pertence a Compaq e é o modelo PS-5141-4C.

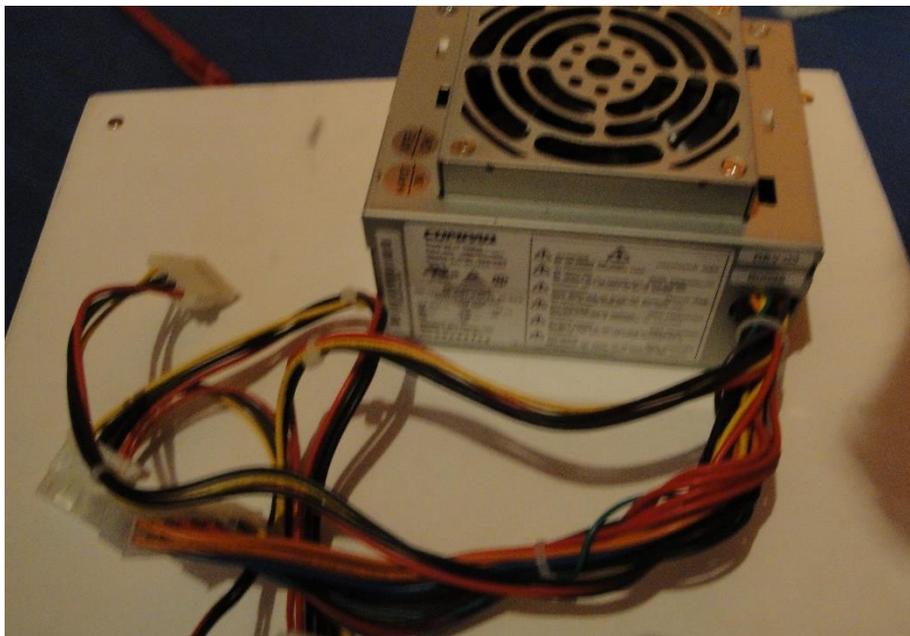


Imagem 23 – Fonte de alimentação externa

7.2.6 – Potenciômetros

Um potenciômetro não é nada mais, nada menos do que uma resistência variável.

Os potenciômetros utilizados neste projecto são todos praticamente lineares, existido assim, apenas dois potenciômetros logarítmicos, a diferença de cada um será representada no gráfico a seguir.

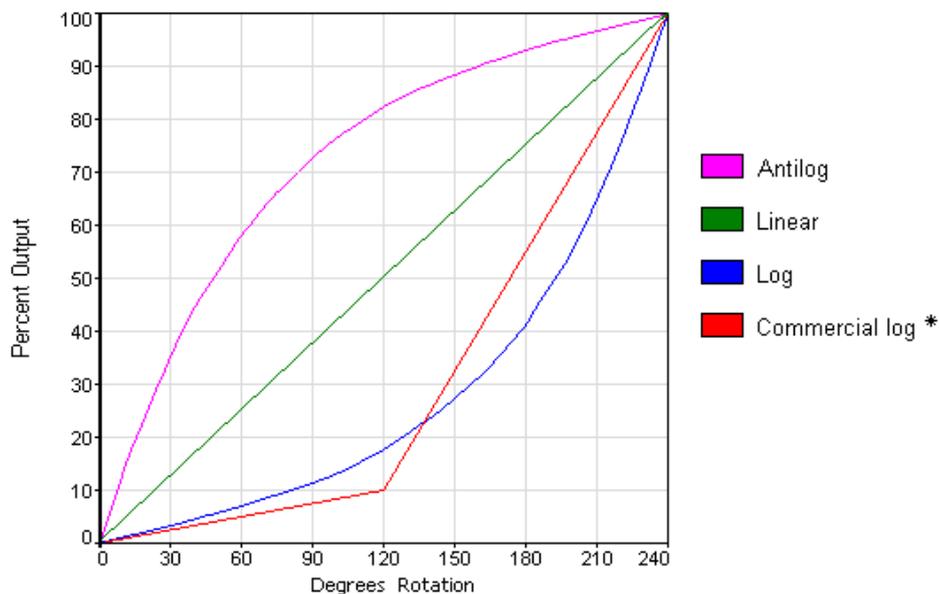


Imagem 24 – Gráfico representativo dos quatro tipos de potenciômetros

Como se pode observar os potenciômetros, lineares fornecem uma “trajectória” O mais perfeita possível, ou seja a sua resposta em rotação e valor interno é praticamente constante e proporcional ao seu crescimento. O logarítmico, o seu funcionamento já é um pouco diferente oferecendo uma curva no seu trajecto

Capítulo 8 – Desenvolvimento do Projecto

8.1-Estudo desenvolvido

Este estudo teve início durante o mês de Agosto de 2013, antes da aprovação do projecto, isto porque, esta área de electrónica era completamente nova e nunca tinha interpretado esquemas deste antes, posto isto convinha antes de apresentar a minha proposta de projecto, ter um conhecimento aproximado ao que se tratava.

Durante o meu curso profissional, construir um gerador de funções, o mesmo tem como objectivo produzir formas de ondas com um range de frequência extremamente vasto. No entanto, não tive qualquer tipo de contacto com a construção do esquema, o mesmo foi-nos fornecido pelos professores.

A única coisa que tive de fazer foi soldar os componentes consoante estavam representados do esquema. Posto isto, mais de metade no que estava a construir não fazia a mínima ideia do que se trava, este foi o contacto mais próximo que tive com circuitos de geradores de onda. Este equipamento não é utilizado para musica mas sim para electrónica e telecomunicações.

A pesquisa de vídeos relacionados com sintetizadores caseiros foi enorme, assim como a pesquisa de documentos relacionados com a criação de síntese electrónica. As possibilidades de informação encontrada não foram muitas, no entanto as que encontrei deram para clarificar aquilo que realmente queria fazer.

No início o conhecimento relacionado com síntese sonora não me deixava a vontade para querer construir um sintetizador, posto isto, decidi rever todos os meus apontamentos de síntese sonora e síntese sonora avançada e pesquisar ainda mais. O intuito era sentir-me a vontade no âmbito da síntese sonora antes dos esquemas eléctricos e de estudar qualquer tipo de integrado primeiro.

8.2-Estudo implementado

A implementação do estudo inicial foi baseada no Timer555, componente este introduzido e explicado na disciplina Projecto Individual I, o mesmo tinha como base de produção de síntese ondas quadradas, permitindo-me alterar a frequência, o duty cycle e a amplitude.

A implementação deste integrado foi realizada em breadboard durante o primeiro semestre todo, estudando todas as possibilidades de síntese sonora possíveis de criar, baseada nas limitações de componentes e conhecimentos de adquirir durante a minha pesquisa inicial.

Após a implementação deste integrado surgiu-o a possibilidade de trabalhar com amp op, criando buffers principalmente, VCA's (Voltage Control Amplifier), entre outros tipos de circuitos. O estudo dos amplificadores operacionais foi demorado, não é um integrado fácil de perceber, é necessários bastantes cálculos para ter os valores que pretendemos e perceber o funcionamento do mesmo da melhor maneira possível.

Durante este segundo semestre o Timer 555 Foi deixado de parte isto porque houve a possibilidade de utilizar o integrado ICL8038, o mesmo produz de maneira complexas três formas de onda, triangular, sinusoidal e quadrada.

Este integrado permite a alteração da frequência, do duty cycle, da amplitude e de distorção. É um componente não muito estável e pouco preciso.

8.3-Testes efectuados

Os testes efectuados durante este projecto foram basicamente em torno do osciloscópio, o mesmo contem duas saídas, nas mesmas tinha constantemente a saída geral do circuito final e a malha que estava a estudar. Cada malha que ia seguindo ia observando as suas alterações do osciloscópio.

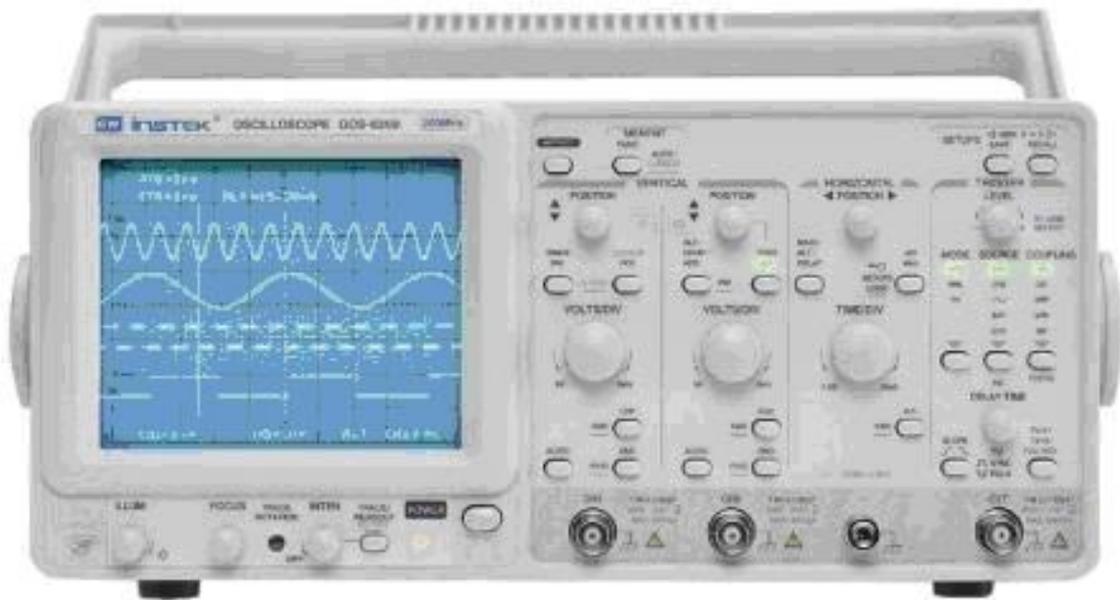


Imagem 25 - Osciloscópio

Foi utilizado durante os testes também um multímetro, o que me permitia constantemente analisar tensões e corrente. Este foi o multímetro utilizado durante a construção do sintetizador.

Permite-me também medir, díodos, resistências e condensadores.

Para a corrente e voltagem permite-me seleccionar vários tipos de escalas.



Imagem 26 – Multímetro utilizado

8.4-Fases de construção

Este projecto passou por vários tipos de construção, tudo começou a crescer para mim desde a primeira vez que comecei a pesquisar sobre este tema. Começando pelo estudo de síntese, estudo de circuitos, implementação deste estudo na breadboard, análise de sinais, construção de circuitos possíveis de criar síntese, muito estudo de circuitos em simultâneo em paralelo com a construção, detectar problemas e por ai em diante até realmente chegar a construção propriamente dita.

A construção era para ser realizada em placas de circuito impresso contudo n foi possível realizar esse objectivo, neste caso tive de desmontar tudo o que tinha nas placas de teste, (as breadboard) e voltar a montar tudo como tinha nos diagramas.

Tive de montar tudo consoantes os diagramas assim o identificavam, isto porque na placa de testes apenas tinha grupos de blocos a produzir em separa um pouco de tudo.

8.4.1-Escolha de componentes

A escolha de componente foi baseada na construção do esquema eléctrico concebido em papel. Não existe um esquema eléctrico geral, ainda, existem apenas esboços em papel em fase construção, isto porque os esquemas montados em breadboard até a apresentação não serão os finais, são apenas representantes de um protótipo em construção que irá sofrer várias alterações.

Não houve nenhuma marca em especial de componentes, grande parte deles não tive em conta, de que marca seriam, o único problema depois seria arranjar bibliotecas específicas desse componente quando fosse a fase de desenhar os componentes para a placa de circuito impresso.

Grande parte das encomendas que fiz vieram do estrangeiro, Inglaterra e China, isto porque o preço é bastante mais reduzido em relação aos produtos vendidos em Portugal.

O problema maior neste tipo de compras é o tempo de espera para que possam estar pronto a utilizar, isto porque da china vêm todos de barco e chegam a demorar mais de uma mês e meio. Não existe este problema grande, como também nem todas as encomendas vêm correctas.

8.4.2-Compra de material

Não usufruí de nenhum apoio para este projecto, embora no segundo semestre o meu coordenador de projecto me tenha perguntado, se haveria alguma necessidade de existir algum desse tipo de apoios.

Os gastos dos componentes foram bastantes, houveram gastos maiores para os componentes que foram utilizados nos teste do que propriamente os que utilizei na versão protótipo que apresento neste relatório.

Uma grande ajuda, na realização deste projecto foi o facto da EST, (Escola Superior de Tecnologia) ter fornecido uma fonte de alimentação, se não seria mais um gasto em material.

As breadboards que utilizo já as tinha comigo, contudo não estão no melhor estado para a realização de projectos com áudio.

8.4.3-Implementação em Breadboard

A implementação em breadboard foi realizada logo no primeiro semestre, implementado assim todo o estúdio que fiz em torno do Timer555, em continuação assim foi a minha apresentação de primeiro semestre também.

Embora tenha chegado a desenvolver uma placa de circuito impresso no primeiro semestre, esta, não chegou a ser utilizada na apresentação, os componentes chegaram a ser soldados a caixa construída, contudo, soldar a placa final ao painel principal da caixa foi o que ficou a faltar.

A implementação dos estudos realizados teóricos na breadboard é uma das fases mais importantes que existe neste tipo de projectos. Só assim é possível implementar tudo aquilo que se estava a analisar e a estudar com alguma aproximação ao resultado final, resultado final esse que seria realizado numa placa de circuito impresso.

Uma placa de circuito impresso é o ideal para implementar projectos de electrónica, não existem pistas com ruído ou danificadas, apenas direccionamos as pistas para onde queremos e acima de tudo o tamanho final é bastante mais reduzido.

Nesta versão, a do segundo semestre apresentei a versão final em breadboard também, isto porque para imprimir este estudo numa placa de circuito impresso em casa iria demorar imenso tempo e sair cheia de erros. Imprimir uma placa de circuito impresso em casa é uma tarefa extremamente difícil, isto porque para o fazer em

condições é necessário ter um bom material, o que implica um bom investimento financeiro.

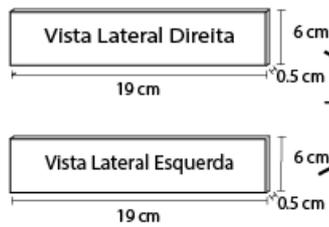
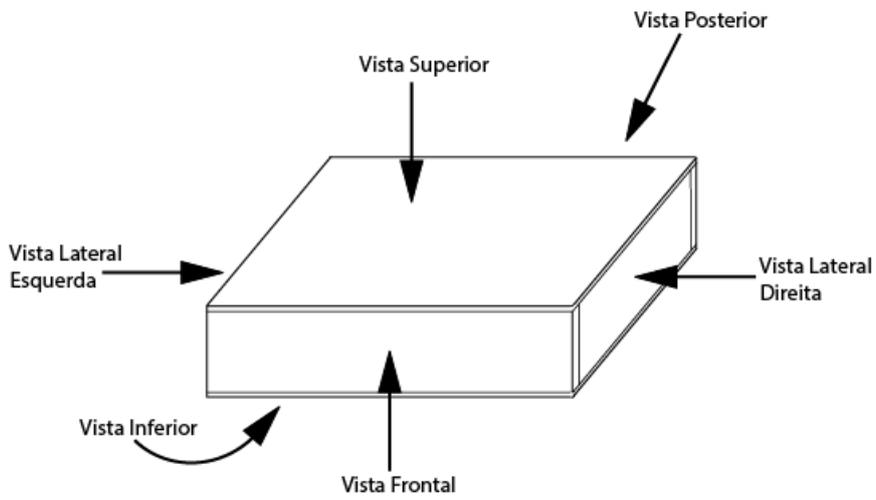
No entanto houve este semestre a possibilidade de imprimir uma placa de circuito impresso na EST, desenhei a placa no Altium Protel, implementei todos os esquemas que tinha desenhado em rascunhos consoante o que tinha montado e implementado na breadboard. Infelizmente não foi possível fazer a impressão na placa na EST, isto porque seria necessário requisitar os serviços de um técnico específico para o fazer, e a disponibilidade desse técnico era extremamente reduzida.

8.4.4-Desenho da caixa

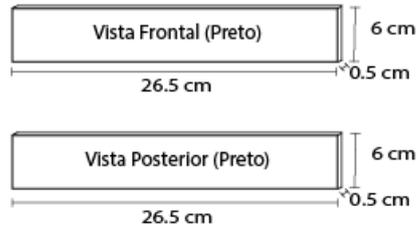
A caixa deste semestre foi idealizada para ser construída em acrílico e não madeira, isto porque desde o início do segundo semestre que esteve em aberto a possibilidade de construir uma fonte de alimentação de raiz.

No entanto, essa opção foi logo descartada, embora tenha havido da minha parte um grande estudo em fontes de alimentação e estar pronto para implementadas, achou-se por bem não o fazer. Isto porque, o tempo necessário para implementar e construir esses mesmos conhecimentos de uma fonte de alimentação na prática demorariam semanas se não até mesmo mais de um meses.

O desenho da caixa foi implementado em papel e levado a uma empresa que se encontra em Castelo Branco, Acíalbi.



Transparente



Caixa em acrílico

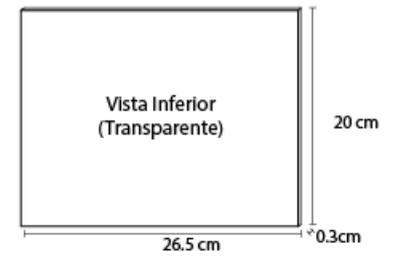
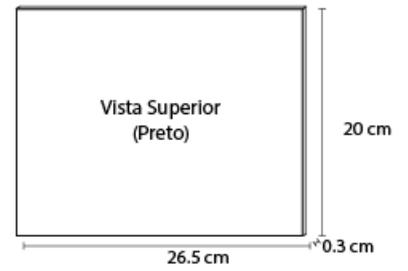


Imagem 27 – Desenho da caixa em acrílico entregue à empresa.

A caixa é preta no tampo, na parte frontal e posterior, as laterais e a vista inferior são transparentes, o objectivo deste tipo de montagem é facilitar a avaliação do equipamento.

Os furos da parte superior foram entregues a essa mesma empresa que os imprimiu com uma máquina específica de furação.

A opção de furar o painel frontal a mão, ou seja com um berbequim foi posta logo de parte, isto porque se assim fosse o desenho teria de ser completamente diferente, e as brocas teriam de ser especiais para acrílico.

Furar acrílico não é nada fácil também, existe uma probabilidade enorme de rachar ou até mesmo partir, visto que na versão final o +painel frontal tem 3mm e não 5mm.

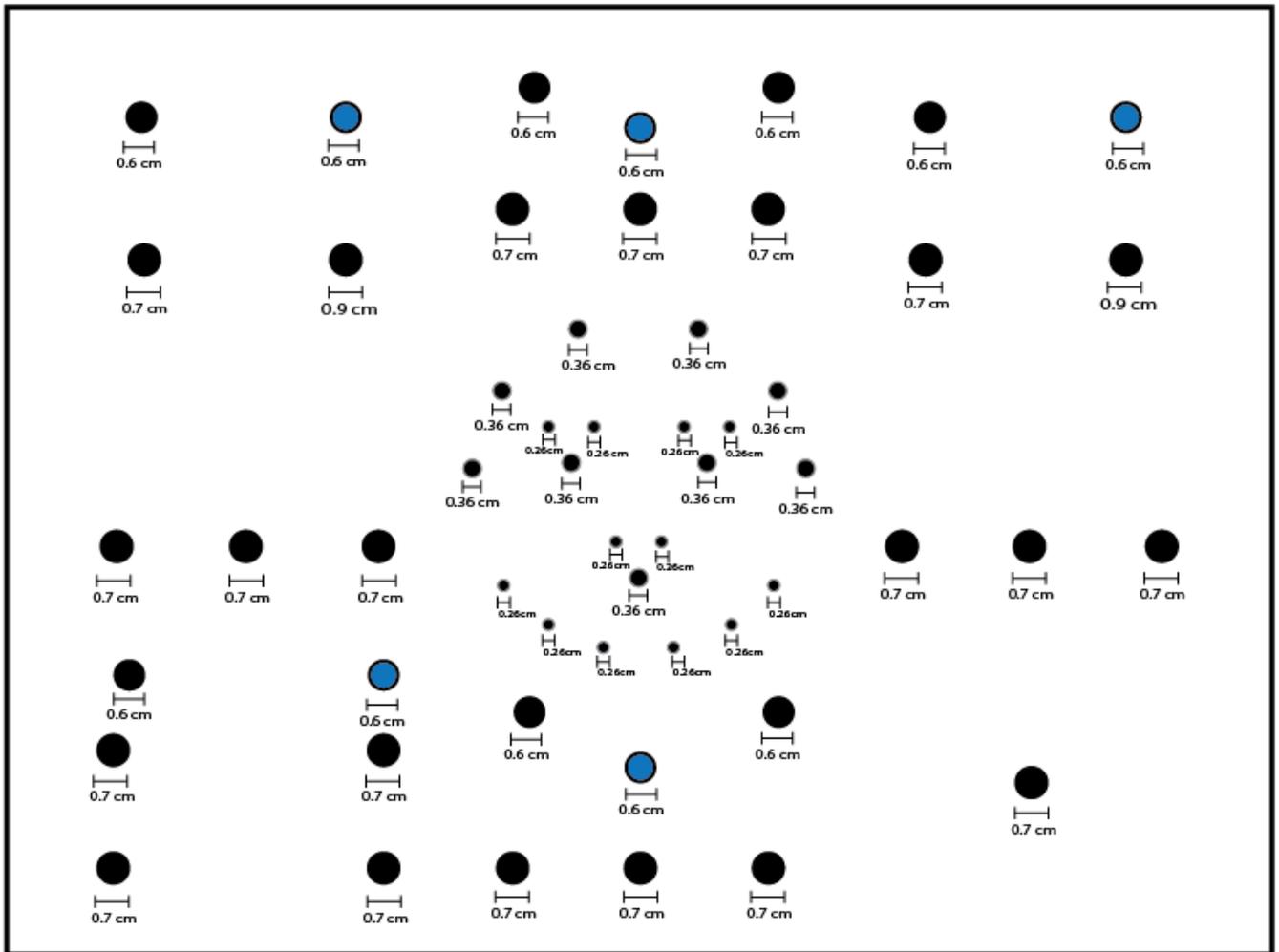


Imagem 28 – Furos do painel frontal

O painel posterior, não tem qualquer tipo de identificação ainda em autocolante ainda, as conexões são bastante intuitivas, é apenas necessária a alimentação e um cabo jack.

Existe também a possibilidade de ter acesso a um fusível de 0.5^a ou seja 500mA que protege o circuito inteiro da breadboard, embora a fontes já esteja protegida, contudo assim preferi porque vai primeiro o fusível que coloquei do que a fonte de alimentação ou até mesmo a ponte rectificadora da fonte se não tiver protecção. Encontra-se também um botão ON/OFF geral no equipamento.

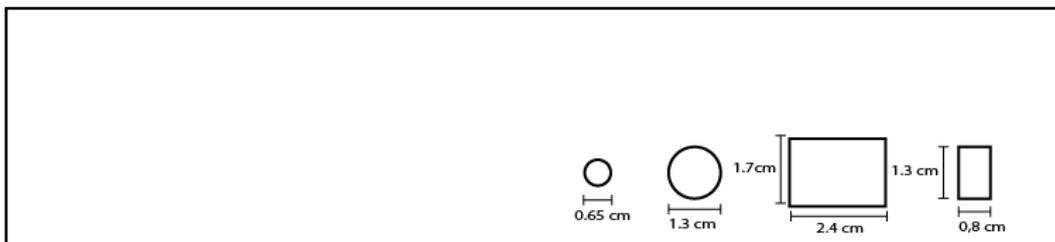


Imagem 29 – Painel posterior.

O autocolante que foi desenvolvido e criado para este projecto foi desenhado no programa Adobe Illustrator CS6 do Master Collection 6.

Coim base no esquema de síntese e no esquema de blocos parti para a criação ao autocolante do painel frontal. Houveram várias versões criadas antes da versão final, todas passaram pelas mãos do coordenador do projecto e por outros professores que davam a sua opinião ao longo da criação do autocolante.

O facto de ajudarem na criação do autocolante, reflectia de imediato a construção também ou a alteração de parâmetros, tanto no esquema de blocos como no esquema de síntese.

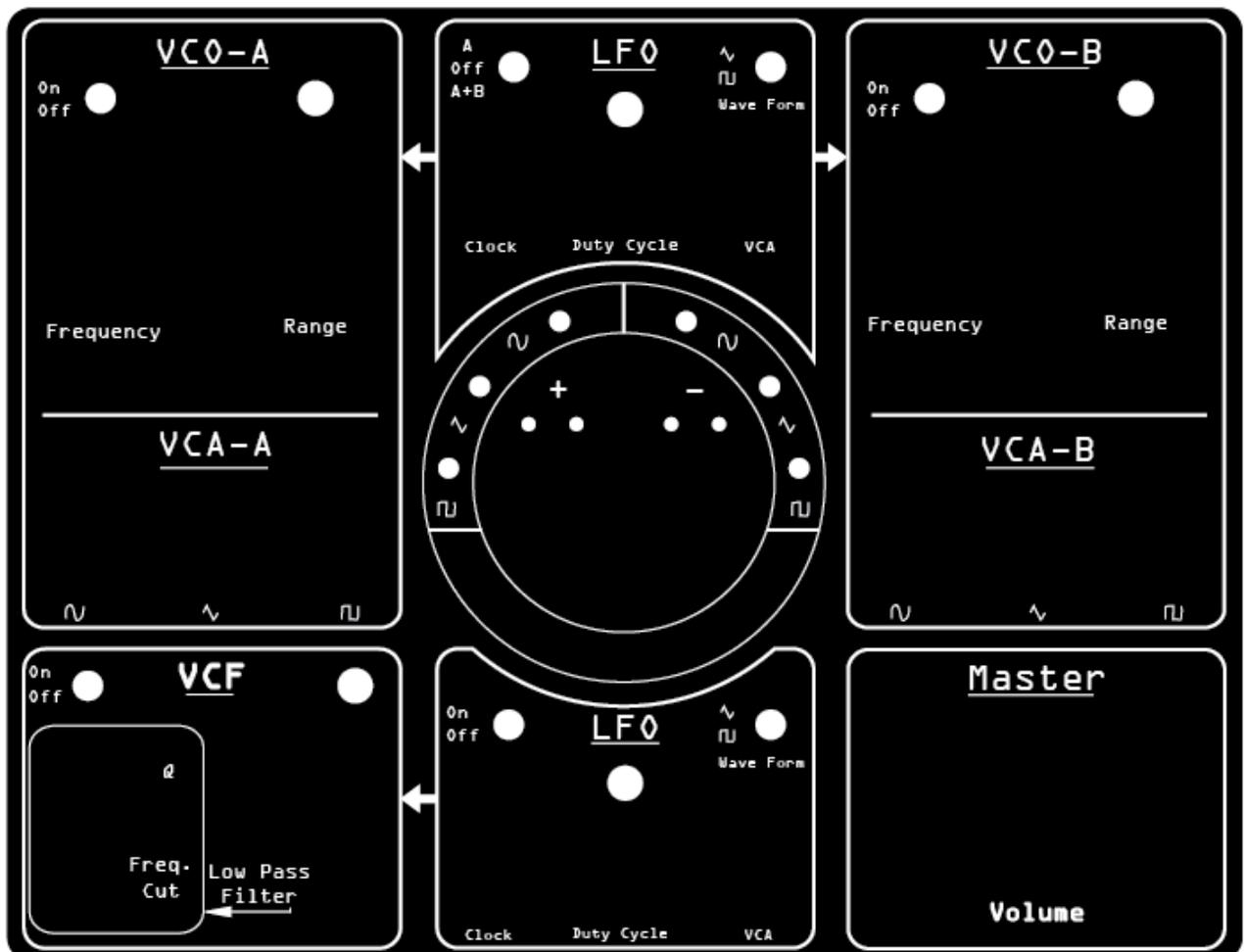


Imagem 30 – Autocolante final.

8.4.5-Desenho da placa de circuito impresso

Para a criação da placa de circuito impresso foi necessário desenvolver uma esquema geral electrónico similar ao que esquema que pretendia, Digo similar porque é apenas necessário uma versão aproximada, a única coisa que tem de existir são os componentes necessários todos assim como as ligações correctas.

Nenhum dos componentes tem o valor correcto ou está com o nome identificativo por ordem de montagem correcta também.

Independentemente disso não está finalizado o esquema eléctrico ainda, logo não o coloquei para já, assim que houver a possibilidade de voltar a poder imprimir as placas todo o circuito será redesenhado isto porque encontrei alguns erros de construção.

OS dois circuitos eléctricos que desenhei e ambos ocupam uma folha A3, a necessidade de voltar a redesenhar estes circuitos é imensa, a inicialização ao programa é bastante recente assim como conheço muito pouco do mesmo, é necessário ter mais conhecimentos e construir um esquema eléctrico em condições e correctos.

Grande parte dos erros que fiz ao construir o circuito, foi logo de início quando desenhei os componentes de raiz, isto porque a biblioteca do Altium Dsgin não é muito vasta, parto do princípio que o programa promove a que nos criemos de raiz e à escala qualquer componente que queiramos contruis ou implementar na placa.

Houve a necessidade de criar duas placas de circuitos impressos por varias razões, para começar o circuito eléctrico é bastante grande, é muito complicado implementar um esquema tão grande de uma vez só numa placa, numa vez a placa imprimida soldar por placas mais pequenas e testar tudo é muito mais fácil do que fazer suporte técnico a uma placa grande de mais, entre outras razões.

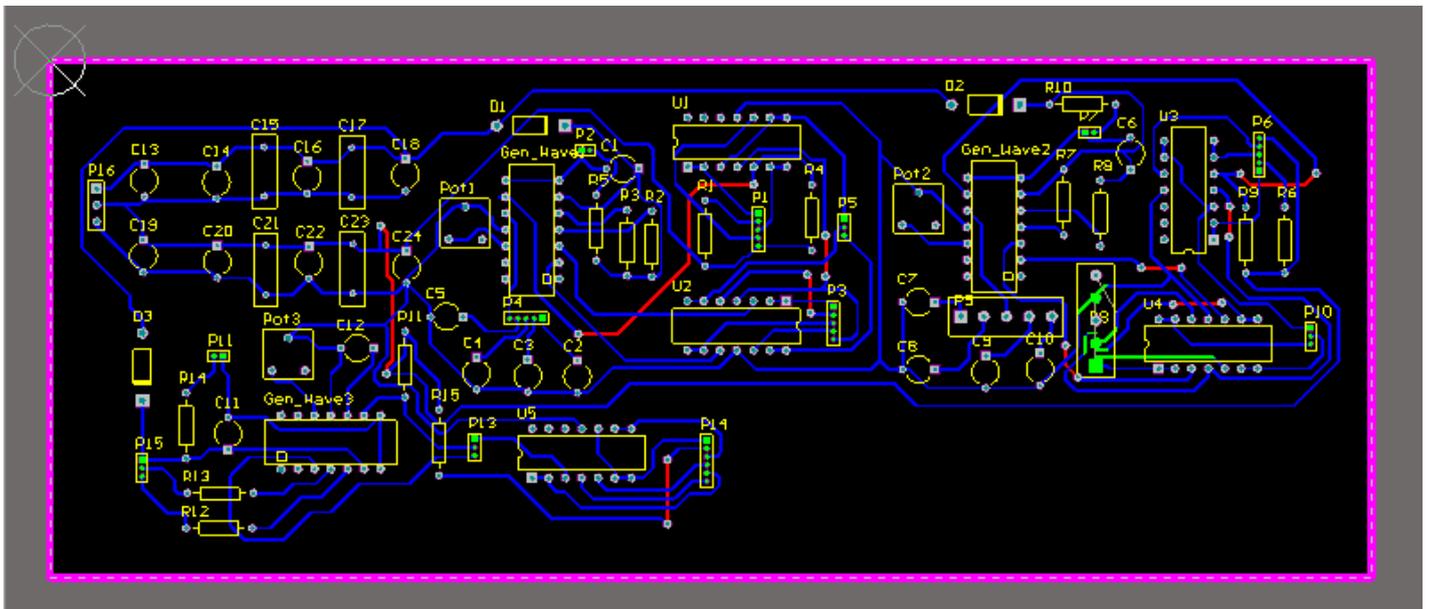


Imagem 31 – Placa de circuitos impressos desenhada no Altium

Protel.

Conclusão

A conclusão deste trabalho é bastante positiva, uma vez que na minha opinião os objectivos principais foram alcançados, tanto no primeiro como no segundo semestre.

Independentemente dos factores, ou patamares definidos como se houver possibilidade de fazer faz-se, foi o caso da placa de circuito impresso, nem todos terem sido desenvolvidos e implementados, acho que foi bastante positivo o produto final.

Para além da placa de circuito impresso que não foi possível imprimir por razões burocráticas no que toca ao IPCB (Instituto Politécnico de Castelo Branco) e à EST, houveram outros patamares definidos como extras, principalmente em circuitos que não houve mesmo a possibilidade de serem implementados como por exemplo, um circuito de ruído, um VCF com um filtro passa alto, um área de construção de Patch maior, entre outros.

Os principais foram todos concretizados, o mais importante como o estudo que foi realizado e desenvolvido neste projecto para mim foram os que tiveram e têm um peso enorme, isto porque o que aprendi durante a construção deste projecto foi imenso mesmo. De outra maneira teria sido completamente diferente ter aprendido inúmeras coisas se não fosse mesmo com este contacto tão próximo que tive, e sim, sentir-me preparado para continuar a desenvolver este estudo sozinho, ou seja externamente ao curso.

Independentemente do que poderá seguir a partir daqui, desta conclusão da licenciatura, tenho a certeza absoluta que esta área de junção de síntese sonora com electrónica, foi um dos melhores conhecimentos em termos de gosto pessoal que desenvolvi e será sem dúvida para continuar.

No final fiquei muito contente com o resultado áudio, sem qualquer tipo de ruídos, uma estabilidade extremamente boa, visto a qualidade onde o circuito estava implementado, gostaria de acrescentar que criei um instrumento viciante de tocar e ouvir, isto como gosto pessoal claro.

O “mundo” neste campo já foi bastante explorado, concorrer com equipamentos no mercado acredito que seja extremamente difícil, contudo pessoalmente tenho imenso para aprender, muitos anos pela frente de estudo nestas duas áreas absolutamente fantásticas que conciliei.

Referências

Historia:

http://en.wikipedia.org/wiki/Ondes_Martenot

<http://electrobeat.com.br/historia-sintetizador/>

http://pt.wikipedia.org/wiki/Robert_Moog

http://pt.wikipedia.org/wiki/Herbert_Deutsch

http://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%ADntese_sonora

<http://en.wikipedia.org/wiki/Trautonium>

http://www.radiomuseum.org/r/telefunken_trautonium_ela_t_42_t42vo.html

http://en.wikipedia.org/wiki/Harald_Bode

PDF, Sintetizadores-Rui dias

Componentes:

http://pt.wikipedia.org/wiki/Amplificador_operacional

http://www.ifi.unicamp.br/~kleinke/f540/e_amp1.htm

http://pt.wikipedia.org/wiki/Resist%C3%A2ncia_el%C3%A9trica

<http://www.electronica-pt.com/content/view/27/>

<http://www.pai.pt/resistencias-electricas/>

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Capacitor>

http://pt.wikipedia.org/wiki/Diodo_semicondutor

http://ltodi.est.ips.pt/beirante/electronica1/Acet_diodo.pdf

Geral:

<http://hackaday.com/2008/05/01/how-to-make-a-digital-synthesizer/>

http://yusynth.net/index_en.php?&arg=1

<http://www.synthrotek.com/kit-assembly-instructions/other/555-timer-assembly-instructions/>

<http://makezine.com/2008/12/16/simple-diy-555-synth/>

<http://www.instructables.com/id/555-Timer/?lang=pt>

<http://www.synthtopia.com/content/2010/11/21/how-to-build-an-atari-punk-console/>

<http://pages.jh.edu/~signals/>

<https://www.youtube.com/watch?v=3-wipqeK8jw>

<https://www.youtube.com/watch?v=rR9tFKMrAFs>

<http://makezine.com/2012/09/07/diy-ten-step-sequencer/>

<http://www.schmitzbits.de/>

http://www.diystompboxes.com/smfforum/index.php?topic=103827.0;prev_next=prev

<http://www.hqew.net/product-data/PT2399/PT2399-CircuitDiagram.html>