



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
ESCOLA DE MINAS  
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE  
CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CECAU**



**PAULO ANDRÉ RODRIGUES MARTINS**

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE PERCUSSÃO ELETRÔNICA**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

**Ouro Preto, 2017**

PAULO ANDRÉ RODRIGUES MARTINS

# **PROJETO E CONSTRUÇÃO DE PERCUSSÃO ELETRÔNICA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Ronilson  
Rocha

Ouro Preto  
Escola de Minas – UFOP  
MARÇO/2017

M386p Martins, Paulo André.  
Projeto e Construção de Percussão Eletrônica [manuscrito] / Paulo André  
Martins. - 2017.

53f.: il.: color.

Orientador: Prof. Dr. Ronilson Rocha.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de  
Minas. Departamento de Engenharia de Controle e Automação e Técnicas  
Fundamentais.

1. Percussão eletrônica. 2. Circuitos eletrônicos - Circuitos osciladores. 3.  
Ondas sonoras. I. Rocha, Ronilson. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III.  
Titulo.

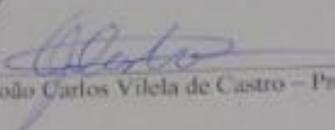
CDU: 681.5

Catálogo: [ficha@sisbin.ufop.br](mailto:ficha@sisbin.ufop.br)

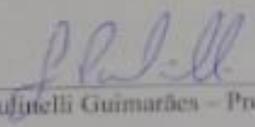
Monografia defendida e aprovada, em 31 de março de 2017, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Romilson Rocha - Orientador



Prof. M. Sc. João Carlos Vilela de Castro – Professor Convidado



Prof. Dr. Gustavo Paulitelli Guimarães – Professor Convidado

## **RESUMO**

Neste trabalho são analisados circuitos eletrônicos que produzem sons de percussão, para que se possa construir um protótipo. Busca-se vantagens em relação ao modelo acústico, agregando um menor custo, maior variedade de sons e menor espaço físico para utilizá-lo. Inicialmente é realizada uma revisão bibliográfica sobre fontes sonoras, circuitos geradores de ondas amortecidas e microprocessadores. Em seguida é feita uma abordagem sobre sensores que serão necessários para acionamento do dispositivo. Depois é mostrada a montagem do protótipo com diferentes tecnologias e um comparativo entre eles. Por fim é apresentada uma conclusão do trabalho.

Palavras chaves: Percussão eletrônica, circuitos osciladores, ondas sonoras.

## **ABSTRACT**

In this essay, electronic circuits that generate percussion sounds are analyzed so that a prototype can be built. It seeks out advantages in relation to the acoustic model, aggregating a smaller cost, larger variety of sounds and smaller physical space to utilize it. Initially, a literature review is performed about sound sources, circuits that generate damped waves and microprocessors. Then, an approach is done about sensors that will be necessary to activate the device. After that, it is shown the assembly of the prototype with different technologies and a comparative between them. Lastly, it is presented a conclusion of the work.

Keywords: Electronic Percussion, Oscillator Circuits, Sound Waves.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
1.1	Objetivo Geral.....	10
1.2	Objetivos Específicos.....	11
1.3	Justificativa do Trabalho.....	11
1.4	Estrutura do Trabalho .....	11
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>12</b>
2.1	Ondas Sonoras.....	12
2.1.1	Fontes Sonoras.....	12
2.1.2	Limites de Audibilidade.....	14
2.2	Circuitos Geradores de Ondas Sonoras.....	15
2.2.1	Oscilador Hartley.....	19
2.2.2	Oscilador por Deslocamento de Fase.....	19
2.2.3	Oscilador de Duplo T.....	21
2.2.4	Oscilador Colpitts.....	23
2.2.5	Oscilador com Ponte de Wien.....	25
2.3	Amplificadores de Sinais.....	27
2.4	Microprocessadores no Ambiente Musical.....	28
2.5	Sensores.....	30
2.5.1	Sensor Piezoelétrico.....	30
2.5.2	Sensor Óptico Reflexivo TCRT5000.....	32
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>34</b>
3.1	Montagem do Oscilador de Duplo T.....	34
3.2	Montagem do Amplificador de Sinal.....	39
3.3	Montagem do Oscilador por Deslocamento de Fase.....	40

3.4	Montagem da Percussão com Microprocessador.....	45
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>50</b>
4.1	O Oscilador de Duplo T .....	52
4.2	O Oscilador por Deslocamento de Fase.....	51
4.3	Percussão Eletrônica com Microprocessador.....	51
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>53</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A música é uma fantástica ferramenta de se expressar. Os músicos, por exemplo, encontram nos instrumentos musicais uma perfeita interface para externar estes sentimentos. Dentre os vários instrumentos que se tem em uma banda musical, costuma-se dizer que a bateria (percussão) é o coração do conjunto, e é por esse motivo que este trabalho foca no estudo deste instrumento.

Contextualizando a escolha da bateria como instrumento de estudo com inovação tecnológica, têm - se o fato de que novos aparatos tecnológicos possibilitaram uma ampla rede de interrelações entre a dimensão instrumental e a linguagem eletroacústica. Surgia “a possibilidade da interação em tempo real, driblando a questão do tempo fixo do suporte magnético que se defrontava com a inevitável maleabilidade do gesto instrumental”, como menciona Iazzetta (1997).

Encontra-se disponível no mercado diversos modelos deste instrumento, e em sua grande maioria, o modelo acústico, que tem seu som captado por outros dispositivos, como microfones.

A Figura 1.1 ilustra uma bateria do modelo acústico.



**Figura 1.1 – Bateria do tipo acústica**

**Fonte: CENTRAL WEB ROCK, 2017**

O modelo eletrônico (Figura 1.2) gera o som através de sensores de toque, e necessita de autofalantes e amplificadores como interface. Uma vantagem do modelo eletrônico é que consegue-se ter um controle do volume e até mesmo possibilita a utilização de fones de ouvido individual, viabilizando assim, ensaios e treinamentos em ambientes que não tem um isolamento acústico. Mas estes dois modelos, tanto o acústico quanto o eletrônico, necessitam de um espaço físico maior para a sua instalação.



**Figura 1.2 – Bateria do tipo eletrônica**

**Fonte: CENTRAL WEB ROCK, 2017**

Uma proposta de melhoria é a união da vantagem do instrumento eletrônico, que é o controle de volume, a um dispositivo que demande de um menor espaço físico. Pensando nisso, já surge a necessidade de se fazer o estudo de circuitos integrados, que possibilitarão a construção de equipamentos que demandem de pouco espaço físico.

Este trabalho visa fazer um estudo de caso de vários tipos de circuitos e dispositivos geradores de áudio que produzem sons próximos aos gerados por percussões, de baixo custo e de fácil implementação.

## **1.1 Objetivo Geral**

Analisar circuitos geradores de áudio que imitem sons de percussão e construir um protótipo para demonstração.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre formas de onda de áudio;
- Realizar um estudo de caso para análise da melhor forma de gerar ondas de áudio;
- Realizar um levantamento das tecnologias disponíveis no mercado que contribuam para a implementação do protótipo;
- Construir um protótipo para verificar a consistência do projeto.

## **1.3 Justificativa do Trabalho**

Os estudos realizados neste trabalho têm por justificativa o interesse em contribuir para a área musical implementando tecnologias que facilitem o estudo e a prática, que neste caso específico da bateria, muitas vezes é inviabilizado pela dificuldade de acesso ao instrumento seja por aspectos financeiros, falta de espaço físico ou até mesmo pelo barulho gerado pelo modelo acústico, sendo necessário para este último, um local com um bom isolamento sonoro.

## **1.4 Estrutura do Trabalho**

O presente trabalho é composto por 5 capítulos. No Capítulo 1 estabelecem-se as condições a serem satisfeitas para a defesa do mesmo.

No Capítulo 2, trata-se com detalhes todo o estudo necessário para realização deste trabalho. Já no Capítulo 3 apresenta-se a metodologia adotada para a construção do protótipo proposto.

No Capítulo 4, descreve-se, de forma sucinta, os resultados obtidos após as simulações e implementações realizadas.

No Capítulo 5 fala-se, também de forma sucinta, o que pôde-se concluir no final deste trabalho.

Nas referências, apresenta-se em ordem alfabética todo material bibliográfico consultado e citado ao longo do texto, conforme a norma NBR 6023: 2002.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo tem como objetivo fazer uma revisão dos principais conceitos, definições e temas abordados neste trabalho, para que se tenha uma base e entendimento melhor sobre o assunto.

### **2.1 Ondas Sonoras**

Ondas sonoras são familiares à nossa existência e fazem parte de nosso cotidiano a convivência com corpos que produzem sons. Esses sons podem ser ruídos de choque entre dois corpos ou melodias produzidas por instrumentos musicais. As ondas sonoras necessitam de um meio elástico para se propagarem, e não existe essa propagação no vácuo. Num sólido podemos ter ondas longitudinais ou ondas transversais. Como os fluidos (líquidos e gases) não suportam tensão de cisalhamento, apenas as ondas longitudinais se propagam neste meio. (SILVA, 2004).

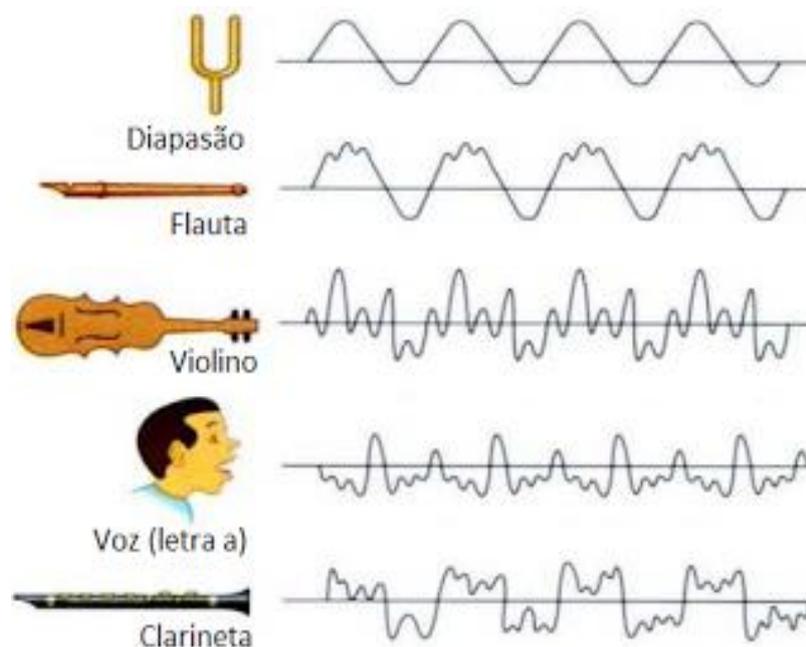
#### **2.1.1 Fontes sonoras**

Existem uma grande diversidade de tipos de fontes sonoras, e muitas das vezes, são utilizados para fins musicais, como por exemplo, instrumentos musicais: violão, guitarra, bandolim, bongôs, saxofone, etc.

Mesmo que dois instrumentos estejam tocando a mesma nota musical, percebe-se claramente a diferença de som entre eles. Isso acontece porque eles têm timbres diferentes. Uma nota musical específica está associada com uma certa frequência, e a essa frequência corresponde um período determinado. A frequência da nota musical é caracterizada pela variação de pressão causada no ar durante um intervalo de tempo periódico. Pode ser um seno, um dente de serra, ou a variação específica de um instrumento. Para a variação específica de um dado instrumento nós denominamos timbre. Cada instrumento tem uma forma específica de produzir uma mesma nota musical, daí nós percebermos quando está sendo tocado uma flauta ou um trombone (SILVA, 2004). A voz de uma pessoa também tem um timbre próprio, porque a forma da onda sonora que a pessoa emite é determinada por características pessoais. É por este motivo que podemos identificar uma pessoa pela sua voz (ACÚSTICA..., 2015).

A bateria eletrônica é um instrumento musical eletrônico projetado para imitar o som de instrumentos de percussão, por exemplo, bumbos, surdos, marimbas, etc. Esses sons possuem características acústicas de prolongamento ou sustentação de vibração senoidal peculiar.

A Figura 2.1 ilustra o comportamento de algumas ondas a partir de suas determinadas fontes.



**Figura 2.1 - Fontes Sonoras**

**Fonte: ACÚSTICA, 2015**

Quando batemos em um tambor produzimos um som, dependendo da forma e do tamanho deste instrumento, são produzidas vibrações que podem ter diversas frequências, timbres e também formas de amortecimento. O amortecimento é a maneira como o som diminui de intensidade depois da batida, principal característica dos instrumentos de percussão. Os sons gerados aproximam-se a oscilações senoidais amortecidas de baixa frequência, ou seja, oscilações cuja amplitude diminui com o tempo, conforme mostram a Figura 2.2. Assim fica claro que oscilações amortecidas são a base dos projetos de instrumentos de percussão eletrônicos (RIBEIRO, 2014).

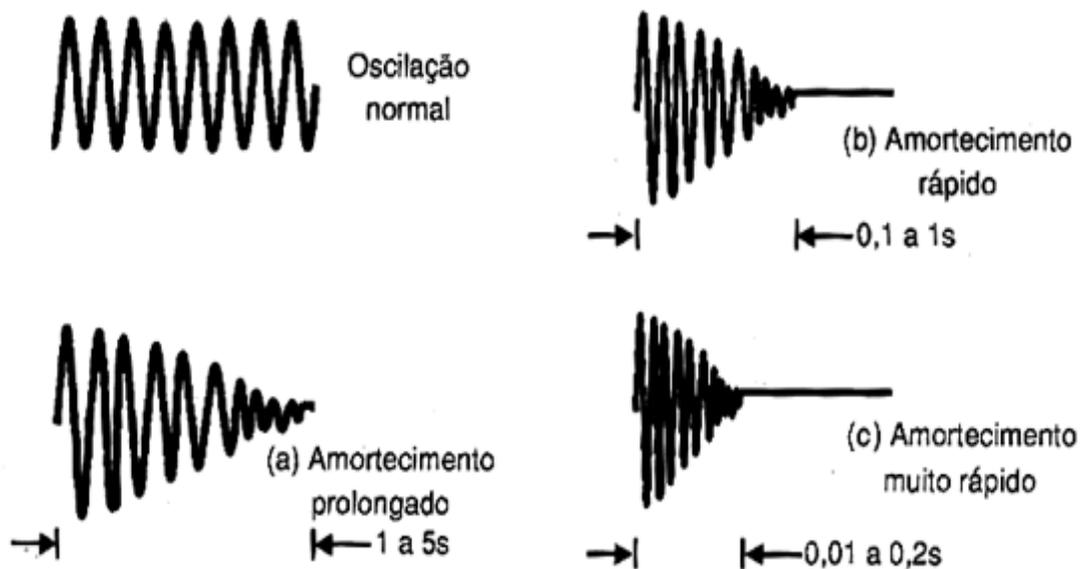
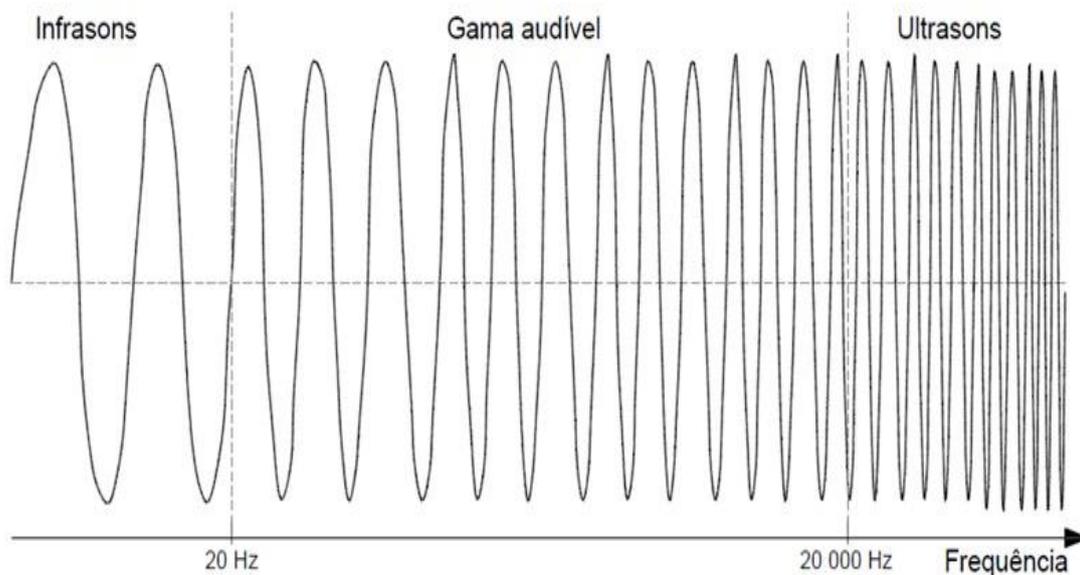


Figura 2.2 – Oscilações Amortecidas

Fonte: RIBEIRO, 2014.

### 2.1.2 Limites de audibilidade

O som é produzido por corpos que vibram, mas nem toda vibração é capaz gerar um som que vá excitar o nosso tímpano. Para que tenhamos a sensação auditiva é necessário que a onda sonora esteja numa uma faixa de frequência bem definida. Para o ouvido humano, essa faixa de frequência vai de 20 Hz a 20000 Hz, como mostra a Figura 2.3. Fora desses limites, o ouvido humano não é capaz de perceber a onda como som. Abaixo de 20 Hz, as ondas são conhecidas como infrassons e acima de 20000 Hz elas são conhecidas como ultrassons. Existem diversos animais que são capazes de perceber sons acima de 20000 Hz. Os cães, por exemplo, conseguem captar frequências de 50000 Hz. (BISQUOLO, 2007).



**Figura 2.3 – Espectro de Sinais**

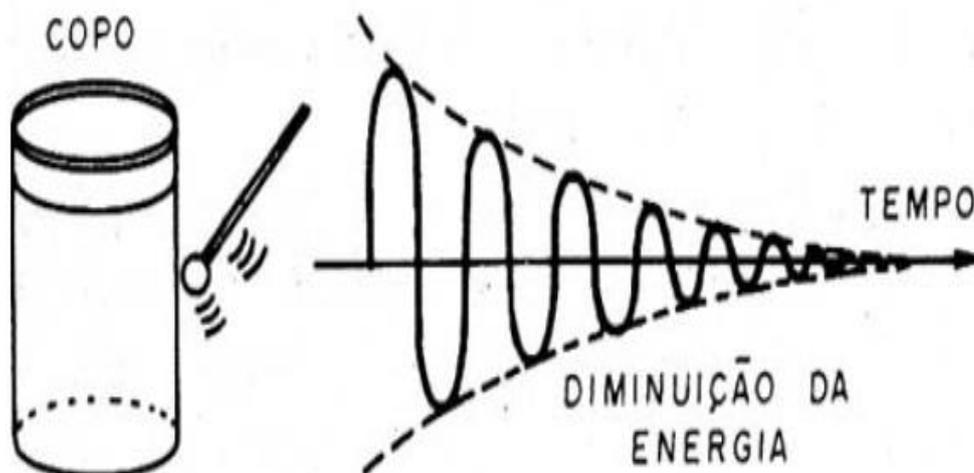
**Fonte: PARDAL, 2015.**

## **2.2 Circuitos Geradores de Ondas Sonoras**

Gerando sinais com as mais diversas frequências e formas de onda, os osciladores são críticos e exigem cuidados especiais na sua escolha conforme a aplicação (INSTITUTO NEWTON C. BRAGA, 2014a).

Existem vários tipos de circuitos osciladores, mas o foco deste trabalho é estudar dispositivos que emulem sons de percussão, e com isso estes osciladores devem gerar ondas sonoras que tenham sua amplitude diminuída com o tempo. Sendo assim, um circuito muito interessante para este caso, são os circuitos osciladores amortecidos.

Se batermos num copo, ou então excitar um circuito LC com um pulso, temos a produção de oscilações, no entanto, estas oscilações tendem a diminuir gradualmente sua intensidade, conforme mostra a Figura 2.4, pois a energia vai diminuindo gradualmente no sistema.



**Figura 2.4 – Sinal Amortecido**

**Fonte: INSTITUTO NEWTON C. BRAGA, 2014b**

O circuito oscilador amortecido, como o próprio nome diz, produz oscilações amortecidas, ou seja, cuja amplitude se reduz com o tempo até desaparecerem. O sinal gerado corresponde ao som de percussão, semelhante ao de sinos, tambores e blocos de madeira. Por este motivo, circuitos como este encontram aplicações em instrumentos musicais, efeitos sonoros, campainhas, etc. (INSTITUTO NEWTON C. BRAGA, 2014d).

Para construir um oscilador senoidal, precisamos de um amplificador com uma realimentação positiva. A ideia consiste em usar o sinal de realimentação no lugar de um sinal de entrada. Se o sinal de realimentação for suficientemente grande e possuir uma fase correta, haverá um sinal de saída, mesmo que não haja sinal externo na entrada. Em outras palavras, um oscilador é um amplificador que foi modificado pela realimentação positiva para fornecer seu próprio sinal de entrada (MALVINO, 1997).

Para que o sistema oscile, como já foi dito, o sinal de sua saída deve ser realimentado para sua entrada com a mesma fase, ou seja, deve-se empregar a realimentação positiva, como mostra a Figura 2.5. Assim o sistema irá oscilar satisfazendo o critério de Barkhausen, em uma frequência específica que será a frequência de oscilação do circuito (PETRY, 2012).

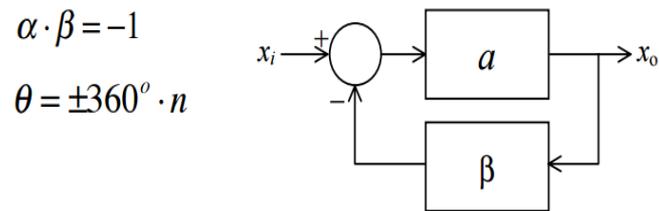


Figura 2.5 – Critério de Barkhausen

Fonte: PETRY, 2012.

Se o ganho for maior do que a unidade, teremos um sistema instável, como mostra a figura 2.6

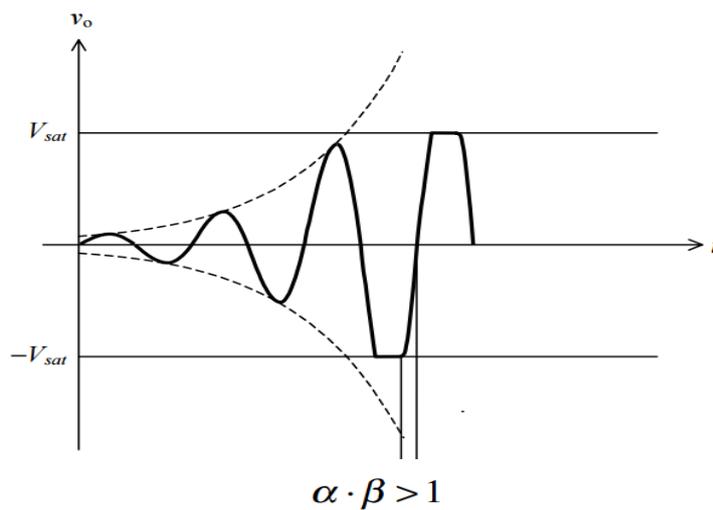


Figura 2.6 – Sistema Instável

Fonte: PETRY, 2012

Agora, se tivermos o ganho menor do que a unidade, teremos uma oscilação amortecida, como mostra a figura 2.7.

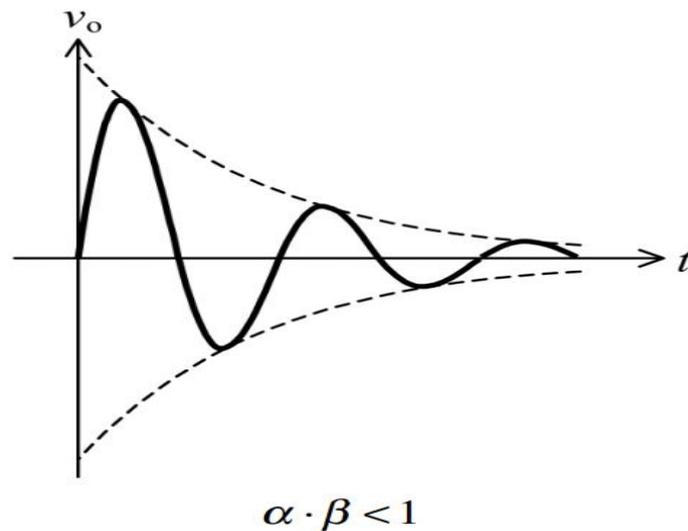


Figura 2.7 – Oscilação Amortecida

Fonte: PETRY, 2012.

A seguir serão abordados alguns tipos de circuitos osciladores amortecidos que foram estudados visando sua implementação para este trabalho.

### 2.2.1 Oscilador Hartley

Na figura 2.8 temos a configuração básica de um oscilador Hartley utilizando transistor NPN.

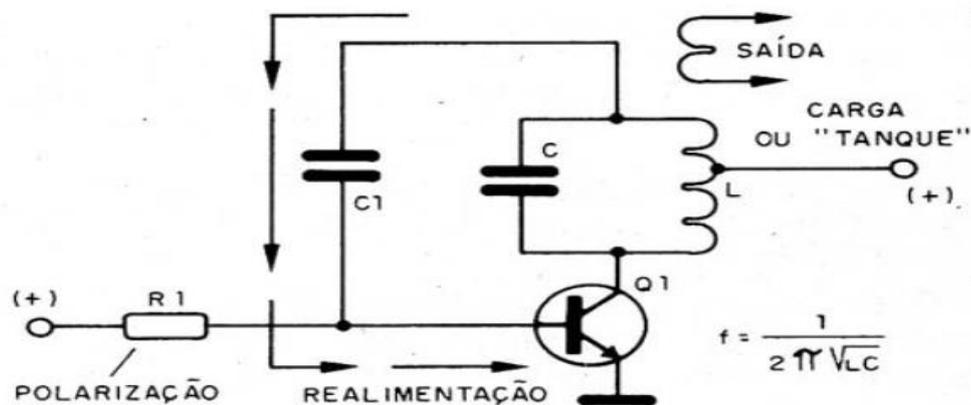


Figura 2.8 - Oscilador Hartley

Fonte: NCB – INSTITUTO NEWTON C. BRAGA, 2014b.

A bobina possui uma derivação central ou próxima do centro de tal forma que temos dois setores. Um dos setores ligado ao coletor do transistor recebe toda a energia deste componente, sendo por isso denominado “carga”. É neste setor que realiza a extração das oscilações, o que pode ser feito, por exemplo, por uma segunda bobina que faria o papel do secundário de um transformador. É importante observar que a frequência de um oscilador deste tipo está limitada pelo tempo que o sinal demora para voltar a entrada do transistor. Como existe uma capacitância entre a base e o emissor do transistor, ou seja, um capacitor que precisa ser carregado, quanto maior for seu valor mais tempo ele demora para iniciar a condução do sinal produzido (INSTITUTO NEWTON C. BRAGA, 2014b).

### 2.2.2 Oscilador por Deslocamento de Fase

Nos osciladores por deslocamento de fase (como mostra a Figura 2.9) os transistores na configuração de emissor comum invertem a fase do sinal aplicado à base. Isso quer dizer que as variações positivas da tensão de entrada se traduzem em variações negativas de tensão de saída. Para construir um oscilador com transistor, é preciso inverter a fase do sinal que vai ser reaplicado à entrada (INSTITUTO NEWTON C. BRAGA, 2014b).

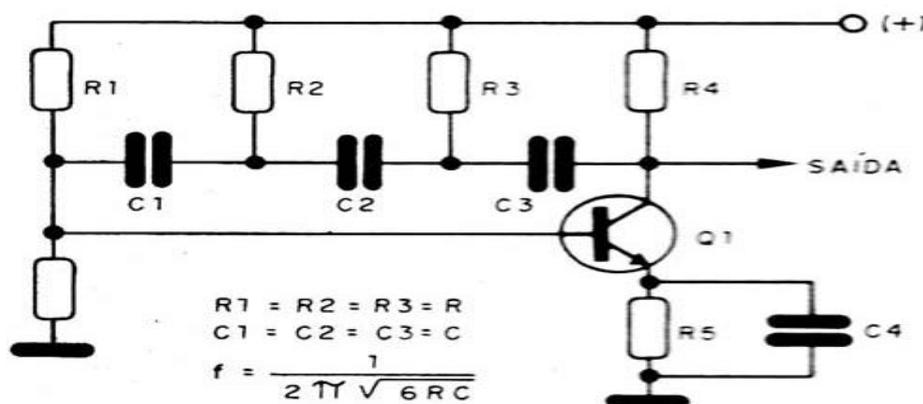
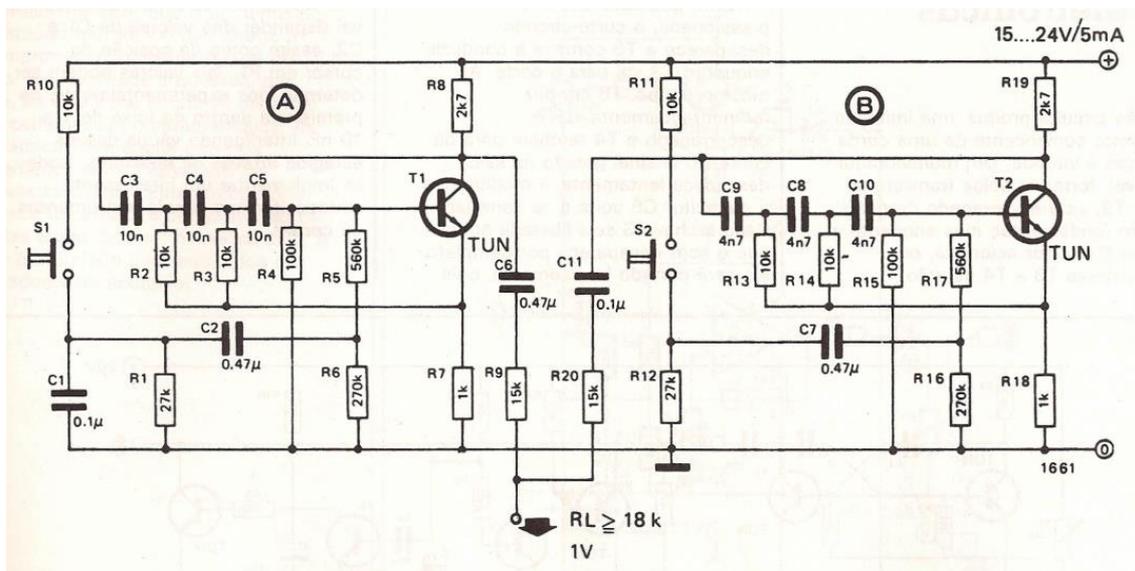


Figura 2.9 - Oscilador por Deslocamento de Fase

Fonte: NCB – INSTITUTO NEWTON C. BRAGA, 2014b

As aplicações deste oscilador são apenas as que se referem aos circuitos de áudio. Na Figura 2.10 temos uma configuração onde se empregam dois osciladores deste tipo.



**Figura 2.10 - Oscilador por Deslocamento de Fase composto**

**Fonte: ELEKTOR, 1989.**

Nesta configuração, imita-se dois Bongôs (instrumento percussivo), onde o som do bongô baixo ficou a cargo do transistor T1, enquanto T2 cuida do bongô alto; ambos, porém foram projetados para permanecerem inoperantes enquanto as chaves S1 e S2 estiverem abertas. Se uma das duas for acionada, irá surgir um pulso positivo na base do transistor correspondente; o formato desse pulso é determinado por uma rede composta por C1/R1/C2 (para o bongô baixo) ou R12/C17 (bongô alto). Em contraste com o primeiro, este último não possui um capacitor em paralelo com o resistor, gerando, portanto, um som mais brusco (ELEKTOR, 1989).

O tempo de descarga – e, conseqüentemente, a duração do pulso – é estabelecido pelos valores de R5/R6 e R17/R16. Já a frequência de som produzida sofre mais influência dos capacitores C3/C4/C5 e C8/C9/C10. Para imitar o som de Bongôs, os capacitores do primeiro grupo devem estar entre 10 e 47nF, e os do segundo entre 4,7 e 10 nF. Para gerar outros sons, estes valores podem ser alterados, basta ter em mente que capacitâncias progressivamente maiores fornecem sons cada vez mais baixos (ELEKTOR, 1989).

Os sinais são retirados dos coletores de T1 e T2 e enviados para a saída por intermédio dos capacitores C6 e C11 e dos resistores R9 e R20, cujo os valores permitem ajustar à vontade a amplitude de saída. A tensão de alimentação pode ficar entre 15 e 24 V, dispensando inclusive, a estabilização. E como as exigências de corrente não ultrapassam

os 5mA o circuito pode ser alimentado a pilhas ou baterias que deverão durar vários meses, mesmo sobre uso intensivo (ELEKTOR, 1989).

### 2.2.3 Oscilador Duplo T

O circuito oscilador de duplo T é uma configuração de circuito em que se pode produzir sinais senoidais de baixas frequências sendo assim, podendo gerar ondas sonoras audíveis ao ouvido humano. Este tipo de oscilador pode produzir também oscilações amortecidas, tornando viável um estudo de viabilidade de implementação para projetos de instrumentos de percussão eletrônicos.

Este circuito é de fácil implementação, necessitando apenas de resistores, capacitores, potenciômetro e transistor, como mostra a Figura 2.11.

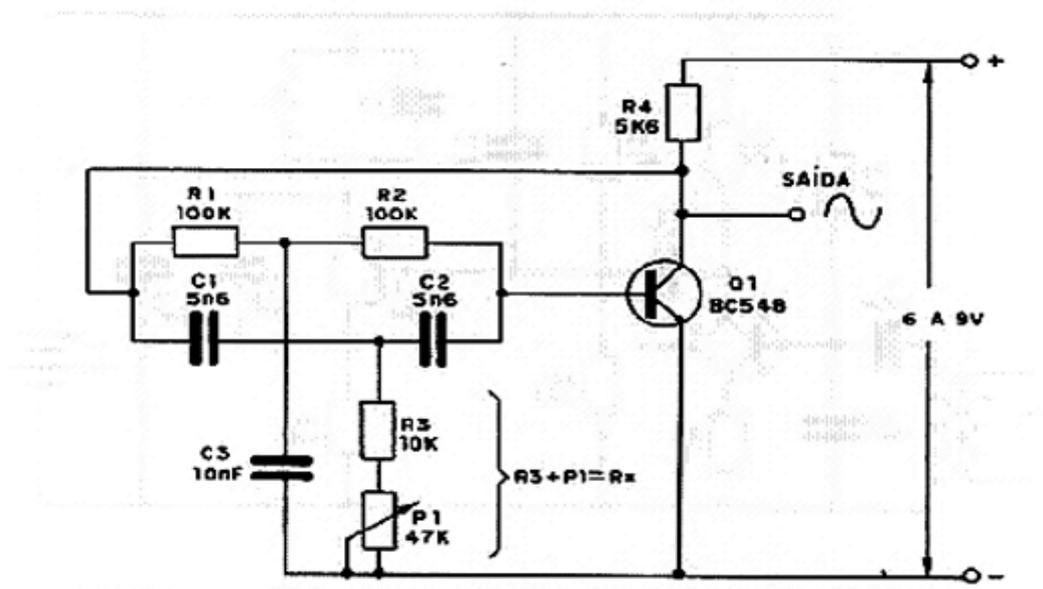


Figura 2.11 - Oscilador de Duplo T com Transistor

Fonte: INSTITUTO NEWTON C. BRAGA, 2014c.

O sinal produzido na saída é senoidal e a sua frequência está limitada a algumas dezenas de quilohertz, o que torna este circuito aplicável apenas em áudio.

Com este componente pode-se tornar crítica a realimentação, e com isso produzir oscilações amortecidas. Se o sinal realimentado for insuficiente para excitar o transistor,

e produzir na saída uma variação da mesma intensidade que o ciclo anterior, temos um decréscimo gradual da amplitude do sinal gerado, ou seja, um sinal amortecido (INSTITUTO NEWTON C. BRAGA, 2014b).

O amortecimento pode ser grande ou pequeno, conforme a realimentação se aproxime do necessário para obter a amplitude máxima do sinal de saída, como ilustra a Figura 2.12.

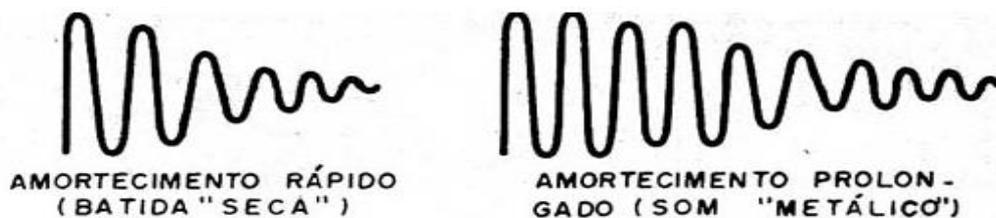


Figura 2.12 – Formas de Onda do sinal produzido

Fonte: NCB – INSTITUTO NEWTON C. BRAGA, 2014b.

Muitos instrumentos musicais, geradores de ritmos e de efeitos utilizam este tipo de oscilador para produzir o efeito de percussão. Na figura 2.13 é mostrado um exemplo de um circuito simples de oscilador de Duplo T que imita o som de um sino.

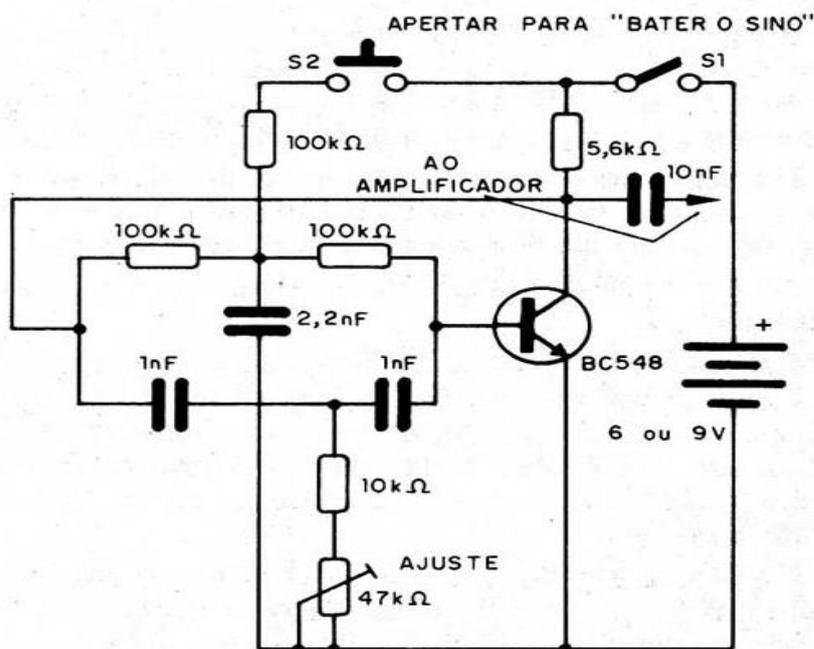


Figura 2.13 – Configuração do oscilador que imita som de sino

Fonte: INSTITUTO NEWTON C. BRAGA, 2014b.

### 2.2.4 Oscilador Colpitts

Na Figura 2.14 temos a configuração básica deste tipo de oscilador, tendo por elemento ativo um transistor.

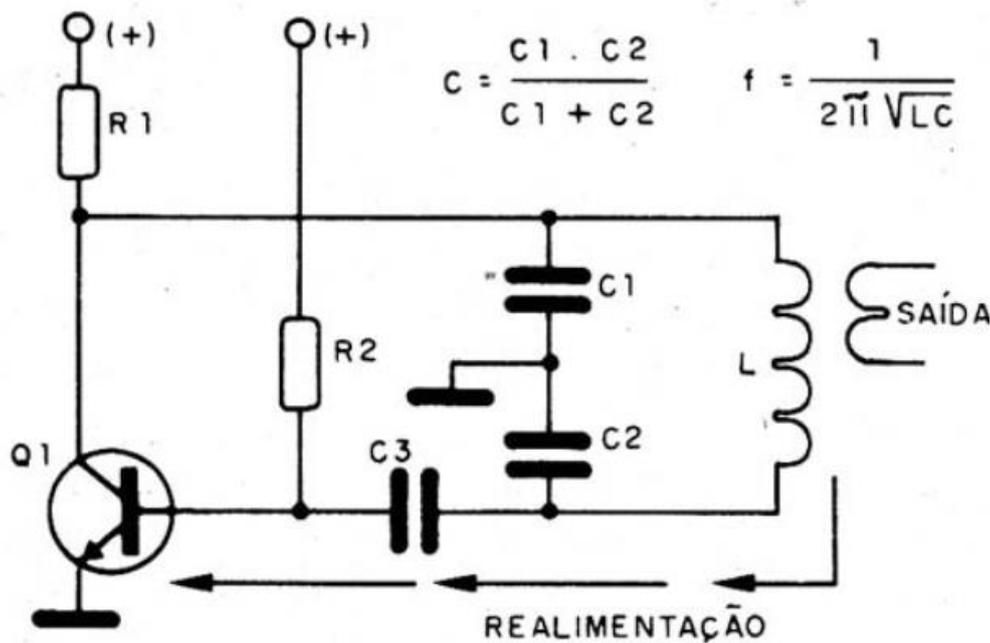


Figura 2.14 – Oscilador Colpitts

Fonte: INSTITUTO NEWTON C. BRAGA, 2014b.

Observe que neste caso também temos um sistema ressonante LC, mas a derivação para realimentação não é mais à bobina, mas sim feita por meio de dois capacitores. O princípio de funcionamento é o mesmo do Hartley (visto na seção 2.2.1). O sinal retirado do coletor do transistor é aplicado à bobina de carga, de onde podemos fazer seu aproveitamento para um circuito externo. Parte deste sinal é levado de volta à entrada do transistor de modo a fazer a realimentação que mantém as oscilações (INSTITUTO NEWTON C. BRAGA, 2014b).

Na figura 2.15 temos outra aplicação para este tipo de oscilador como, por exemplo, um VFO (oscilador de frequência variável). Observe que neste circuito o sinal é retirado do emissor do transistor e que o circuito ressonante tem o capacitor variável em série e não em paralelo. Este tipo de oscilador pode ser usado em frequências de até aproximadamente 10 MHz (INSTITUTO NEWTON C. BRAGA, 2014b).

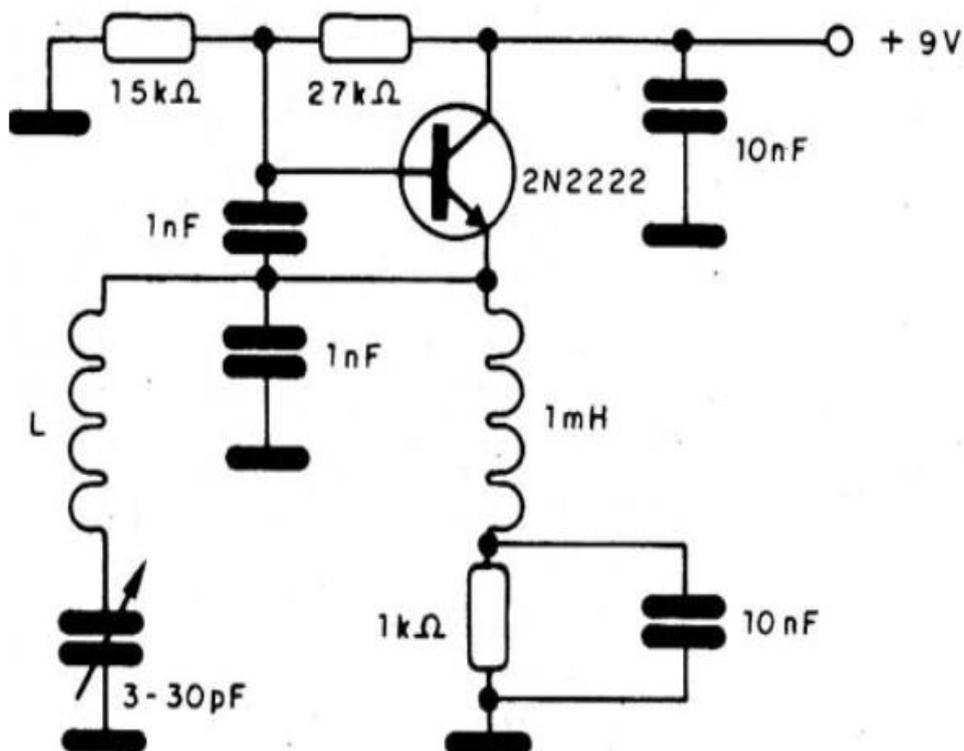


Figura 2.15 – Oscilador de Frequência variável (VFO)

Fonte: NCB – INSTITUTO NEWTON C. BRAGA, 2014b.

### 2.2.5 Oscilador com Ponte de Wien

O oscilador com ponte de Wien é o circuito oscilador padrão para frequências de baixas a moderadas, na faixa de 5 Hz até cerca de 1MHz. É quase sempre usado em geradores de áudios comerciais e é geralmente preferido em outras aplicações de baixa frequência (MALVINO, 1997).

A Figura 2.16 mostra um oscilador com ponte de Wien. Ele utiliza a realimentação positiva e negativa, pois há dois caminhos para a realimentação: há um caminho para a realimentação positiva da saída para a entrada não inversora através do circuito de avanço atraso; há também um caminho para a realimentação negativa da saída para a entrada inversora através do divisor de tensão (MALVINO, 1997).

Inicialmente, há uma realimentação positiva maior do que a negativa. Isso ajuda as oscilações a crescer no momento em que a fonte de alimentação for ligada. Após o sinal de saída chegar ao nível desejado, a realimentação negativa reduz o ganho para 1, pois ao ligar a fonte de alimentação, a lâmpada de tungstênio tem uma baixa resistência e a

realimentação negativa é pequena. Por isso, o ganho do circuito é maior do que 1 e as oscilações podem crescer até a frequência de ressonância. À medida que as oscilações crescem, a lâmpada de tungstênio esquenta ligeiramente e sua resistência aumenta. Num Nível alto da tensão de saída, a lâmpada de tungstênio tem uma resistência de exatamente  $R'$  (MALVINO, 1997).

O ganho de tensão de malha fechada da entrada não inversora para a saída é maior do que 3 quando a fonte for ligada. Por isso o ganho de tensão de malha fechada não inversora será inicialmente maior do que 1. À medida que a oscilação cresce, a tensão de pico a pico de saída se torna grande o suficiente para aumentar sua resistência da Lâmpada de tungstênio. Quando a resistência dela for igual a  $R'$ , o ganho da configuração como circuito de avanço – atraso será exatamente igual a 1. Nesse momento as oscilações se tornam estáveis e a tensão de saída terá um valor de pico a pico constante (MALVINO, 1997).

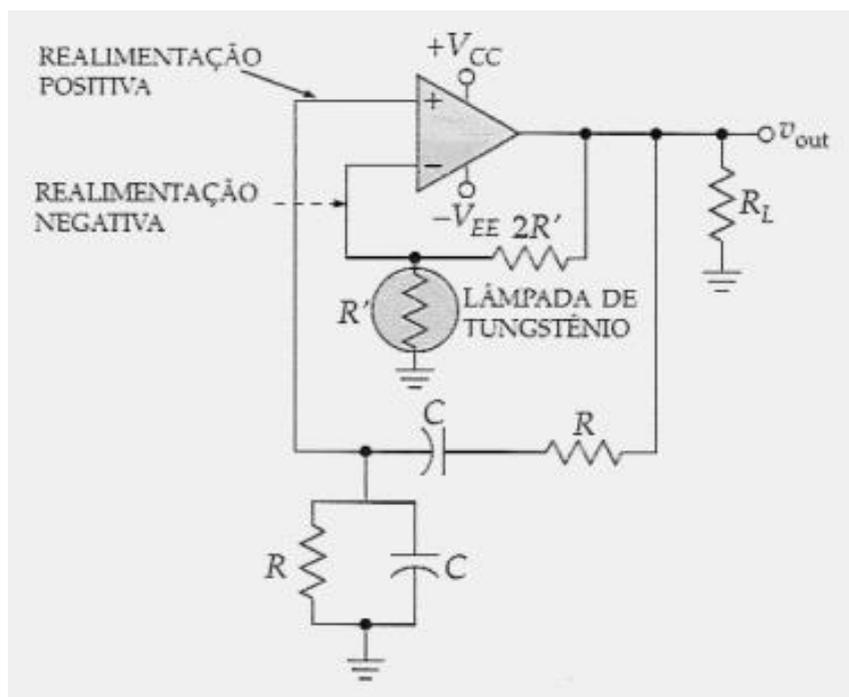


Figura 2.16 – Oscilador com Ponte de Wien

Fonte: MALVINO, 1997.

### 2.3 Amplificadores de Sinais

Os circuitos osciladores visto na seção 2.2 produzem um sinal de saída de amplitude muito baixa para serem ligados diretamente a um alto falante, necessitando assim de uma etapa prévia de amplificação de sinal.

Os amplificadores, em geral, são circuitos capazes de aumentar em amplitude uma determinada grandeza, seja ela tensão ou corrente. Por exemplo, veja na Figura 2.17 as situações, onde sinais elétricos são introduzidos num amplificador e o resultado obtido.

Para este trabalho estudou-se a amplificação de sinal feita pelo CI TPA1517. Este componente é um amplificador estéreo com potência de amplificação para 6W (seis Watts) por canal. Ele conta também com um sistema de mute/standby. Para seu funcionamento, deve-se montar um circuito que possua alimentação de tensão contínua com valor de no mínimo 9,5 V e no máximo 15 V. Seu esquema de montagem é ilustrado na Figura 2.18.

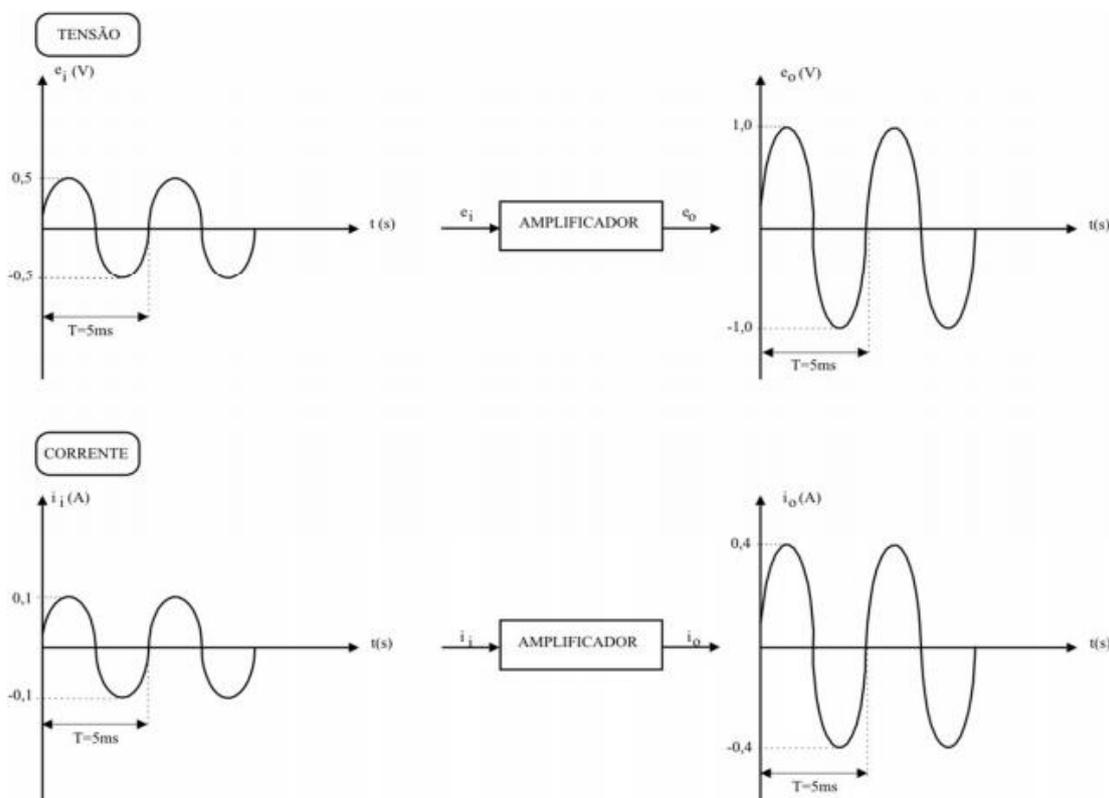


Figura 2.17 – Ondas amplificadas

Fonte: SILVA, 2013

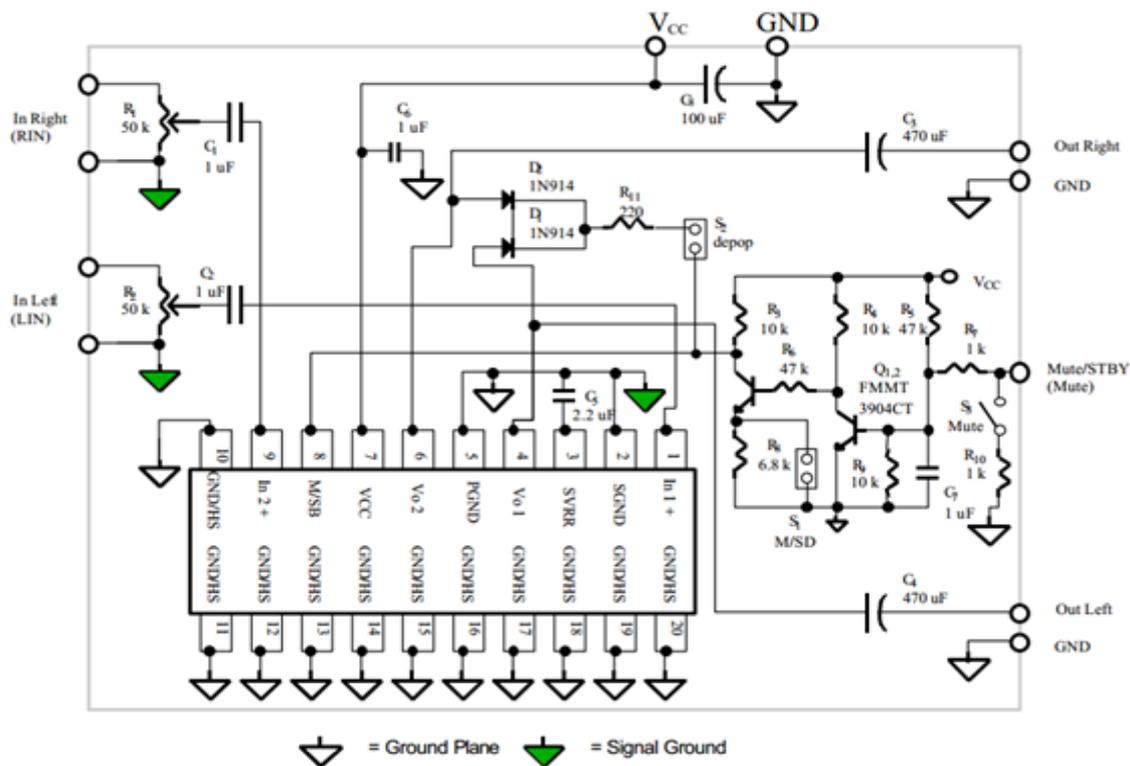


Figura 2.18 – Circuito para amplificador TPA1517

Fonte: TEXAS INSTRUMENTS, 1997.

## 2.4 Microprocessadores no Ambiente Musical

Como o objetivo deste trabalho é desenvolver um dispositivo que imite sons percussivos, é necessário a utilização de sensores que identificam a intenção do usuário em acionar determinado instrumento. A captação de dados destes sensores pode ser feita com o auxílio de microprocessadores.

Microprocessador é um tipo de circuito integrado bastante robusto que tem uma capacidade de processamento inferior a um computador de uso pessoal, mas suficientemente grande para aplicações em sistemas que necessitam de algum tipo de inteligência, aquisição e tratamento de dados e tomada de decisões programadas. Os microprocessadores possuem um tamanho físico consideravelmente pequeno para a sua capacidade de processamento, sendo assim muito utilizado em sistemas embarcados.

Um sistema embarcado (ou sistema embutido) é um sistema microprocessado no qual o computador é completamente encapsulado ou dedicado ao dispositivo ou sistema que ele controla. Diferente de computadores de propósito geral, como o computador pessoal, um

sistema embarcado realiza um conjunto de tarefas predefinidas, geralmente com requisitos específicos. Já que o sistema é dedicado a tarefas específicas, através de engenharia pode-se otimizar o projeto reduzindo tamanho, recursos computacionais e custo do produto. Sistemas como PDAs (computadores de bolso) são geralmente considerados sistemas embarcados pela natureza de seu hardware, apesar de serem muito mais flexíveis em termos de software. Fisicamente, os sistemas embarcados passam desde MP3 players à semáforos (EMBEDDED ARCHITECTS, 2017).

Para este projeto, foi estudado a viabilidade de utilização do microprocessador Arduino.

Disponíveis em vários modelos como, por exemplo, UNO (mostrado na Figura 2.19), MEGA, LEONARD, o Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica open-source que se baseia em hardware e software flexíveis e fáceis de usar. O Arduino pode sentir o estado do ambiente que o cerca por meio da recepção de sinais de sensores e pode interagir com os seus arredores, controlando luzes, motores e outros atuadores. O microcontrolador na placa é programado com a linguagem de programação Arduino, e o ambiente de desenvolvimento Arduino. Os projetos desenvolvidos com o Arduino podem ser autônomos ou podem comunicar-se com um computador para a realização da tarefa, com uso de software específico (exemplo: HairLess, LoopMidi, Addictive Drums) (ARDUINO, 2017).



**Figura 2.19 – Arduino UNO**

**Fonte: ARDUINO, 2017.**

A decisão de se estudar a utilização do microprocessador Arduino, é a sua facilidade de programação que utiliza a linguagem C, tem plataforma própria e grande assistência tanto da empresa desenvolvedora como dos usuários em geral, visto que este teve grande aceitação e é um dos microcontroladores mais utilizados pelo público.

Além de captar dados dos sensores, uma vantagem da utilização do Arduino é a conexão direta com um computador pessoal podendo acionar em tempo real softwares que emulem estes sons percussivos, tornando desnecessária a aplicação dos osciladores vistos anteriormente.

## **2.5 Sensores**

Um ponto importante a ser levado em conta neste trabalho, é a forma do usuário do protótipo se comunicar com o dispositivo. Para isto necessita-se dos sensores.

Em termos básicos, um sensor é um dispositivo que faz a detecção e responde com eficiência a algumas entradas provenientes de um ambiente físico, como por exemplo, uma luz, o calor, um movimento, umidade, pressão ou qualquer variável detectável em um ambiente. Assim, quando um sensor recebe uma entrada específica proveniente do ambiente, ele emite uma saída, que geralmente é um sinal capaz de ser convertido e interpretado por outros dispositivos que poderia ser um CLP ou uma IHM capaz de mostrar esta informação em uma tela por exemplo. No que tange aos sistemas elétricos, o sinal pode ser lido por um processador ou ser transmitido eletronicamente por uma rede de dados (SILVEIRA, 2016).

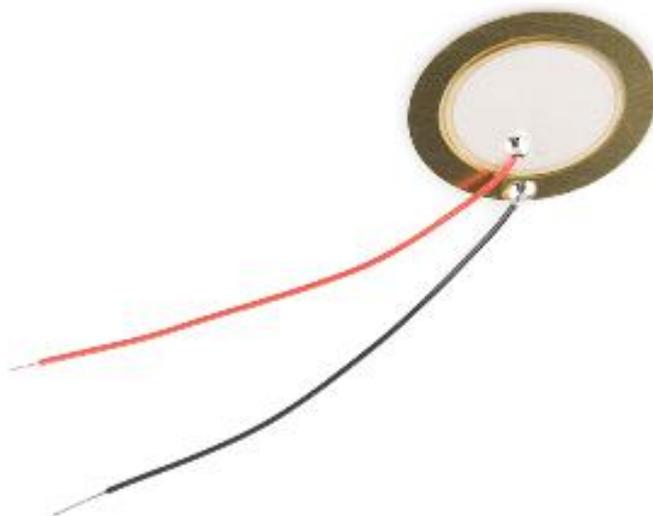
### **2.5.1 Sensor Piezoelétrico**

Os instrumentos percussivos têm em sua essência, a batida (toque) como forma de criar ritmos. Para manter essa identidade, deseja-se ter uma forma de transmitir ao usuário o mesmo sentimento de se tocar um instrumento percussivo real, tentando manter de forma mais fiel o seu som e também sua forma de tocar. Para isso, é bastante viável que se estude um sensor de captação de toque, como por exemplo, o sensor Piezoelétrico.

Um sensor piezoelétrico é um dispositivo que mede a pressão ou tensão utilizando a piezoeletricidade, que é um fenômeno onde certos materiais podem gerar uma corrente

elétrica, quando deformado, ou seja, a piezeletricidade é a capacidade que alguns cristais possuem de gerarem corrente elétrica em resposta a uma pressão mecânica exercida sobre o mesmo. O termo deriva da palavra grega “*piezein*”, que quer dizer espremer ou pressionar. O efeito piezoelétrico é reversível, pois os cristais deste tipo, quando são sujeitos a uma tensão externa, são capazes de sofrer variações em sua forma. O sensor piezoelétrico pode converter a força exercida sobre ele por compressão, impacto de aceleração, ou vibração em um sinal elétrico cuja força é proporcional à intensidade da força (MECANICA INDUSTRIAL, 2017).

As Figuras 2.20 e 2.21 ilustram, respectivamente, um sensor piezoelétrico já com os cabos soldados e o modelo de ligação de um sensor desse tipo no microprocessador Arduino.



**Figura 2.20 – Sensor Piezoelétrico**

**Fonte: MOTTA, 2015.**

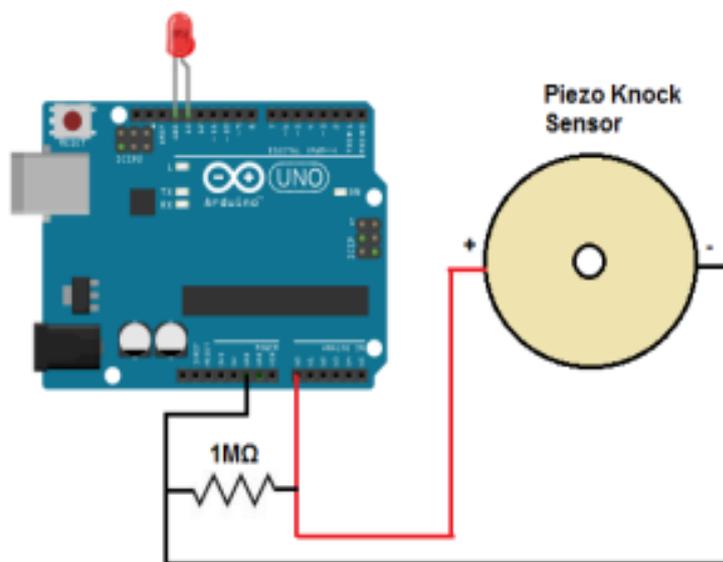


Figura 2.21 – Sensor Piezoelétrico com Arduino

Fonte: MOTTA, 2015.

### 2.5.2 Sensor Óptico Reflexivo TCRT5000

Com o objetivo final de construir um protótipo que imite uma bateria percussiva, a mesma possui um instrumento chamado Chimbal, que nada mais é do que dois pratos encostados que produzem sons diferentes ao serem tocados, e estes sons mudam conforme a distância um do outro varia. Esse controle de distância é feito utilizando uma estante como suporte acoplada a um pedal controlado pelo pé do usuário.

Para simular este pedal, necessita-se de um componente que varie seu sinal conforme o usuário movimenta seu pé, de forma similar a um controle de Chimbal numa bateria convencional. Para isto, foi estudado o sensor óptico reflexivo TCRT 5000.

Este sensor tem dois componentes no mesmo suporte, sendo eles um led infravermelho e um fototransistor, separado por uma pequena parede, como mostra a Figura 2.22. Quando algum objeto se aproxima do sensor, a luz infravermelha é refletida no objeto e captada pelo fototransistor que é ativado, conforme esquema mostrado na Figura 2.23 (ARDUINO E CIA, 2013).



Figura 2.22 – Sensor TCRT5000

Fonte: ARDUINO E CIA, 2013.

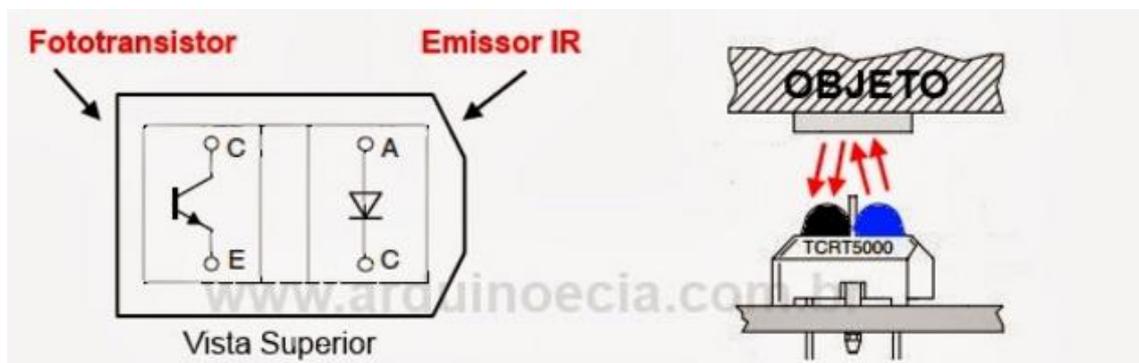


Figura 2.23 – Sensor TCRT5000. Vista superior.

Fonte: ARDUINO E CIA, 2013.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção tem o intuito de abordar e detalhar as formas escolhidas para montagem do protótipo. Serão mostrados os equipamentos e componentes utilizados e também os ajustes feitos nos circuitos para tentar conseguir uma maior proximidade sonora do equipamento o qual se deseja imitar.

Os métodos escolhidos para se tentar chegar a percussão eletrônica, foram fazendo a montagem dos osciladores de Duplo T e de Deslocamento de Fase e também a construção do protótipo com microprocessador utilizando o Arduino. A seguir, será explicado detalhadamente a montagem de cada um, bem como a montagem do amplificador que foi ligado a um alto falante para observação do som de saída.

#### 3.1 Montagem do Oscilador de Duplo T

Primeiramente, antes de sua montagem, foram feitas simulações do circuito em software específico com o intuito de se observar as formas de onda produzida e confirmar se o seu amortecimento corresponde com o visto na literatura.

As simulações foram realizadas utilizando o software Multisim, software próprio para simulações de circuitos eletrônicos, e as formas de onda foram visualizadas com o auxílio de um osciloscópio virtual presente no programa.

A Figura 3.1 mostra o circuito montado no software, e pede-se atenção para os componentes C1, C2 e C3, cujos valores adotados nesta montagem são, respectivamente, 4.7nF, 2.2nF e 2.2nF, e serão alterados em outras montagens para ver como essas mudanças influenciam na forma de onda de saída.

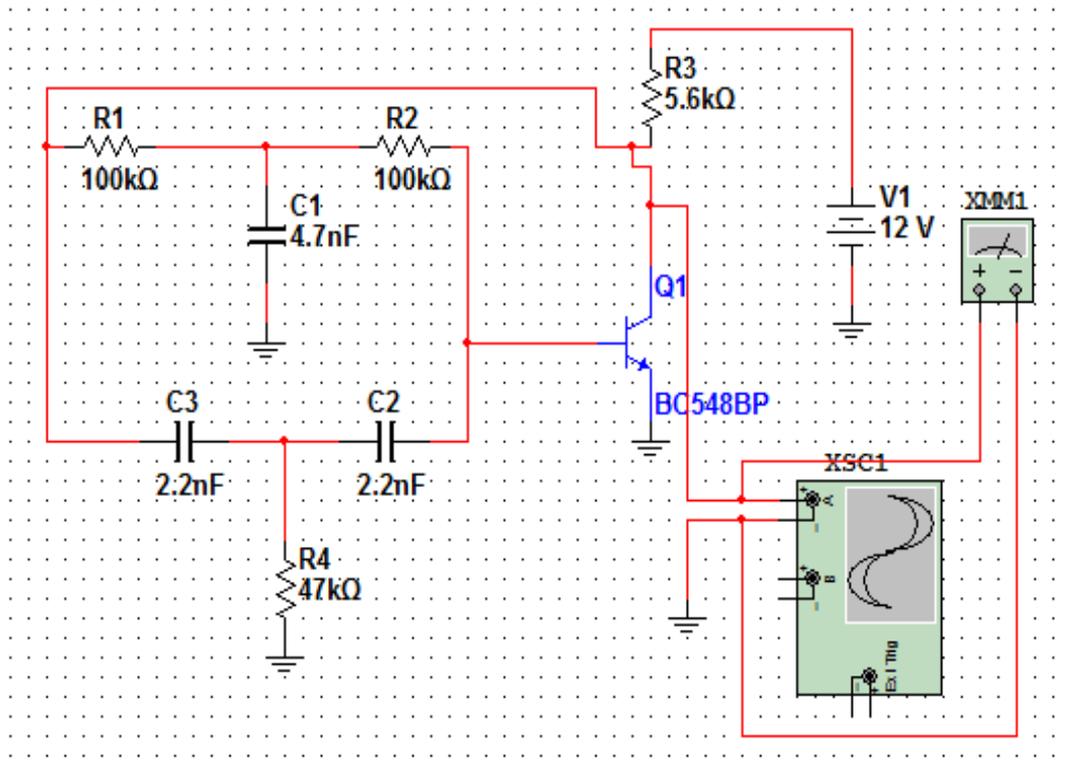
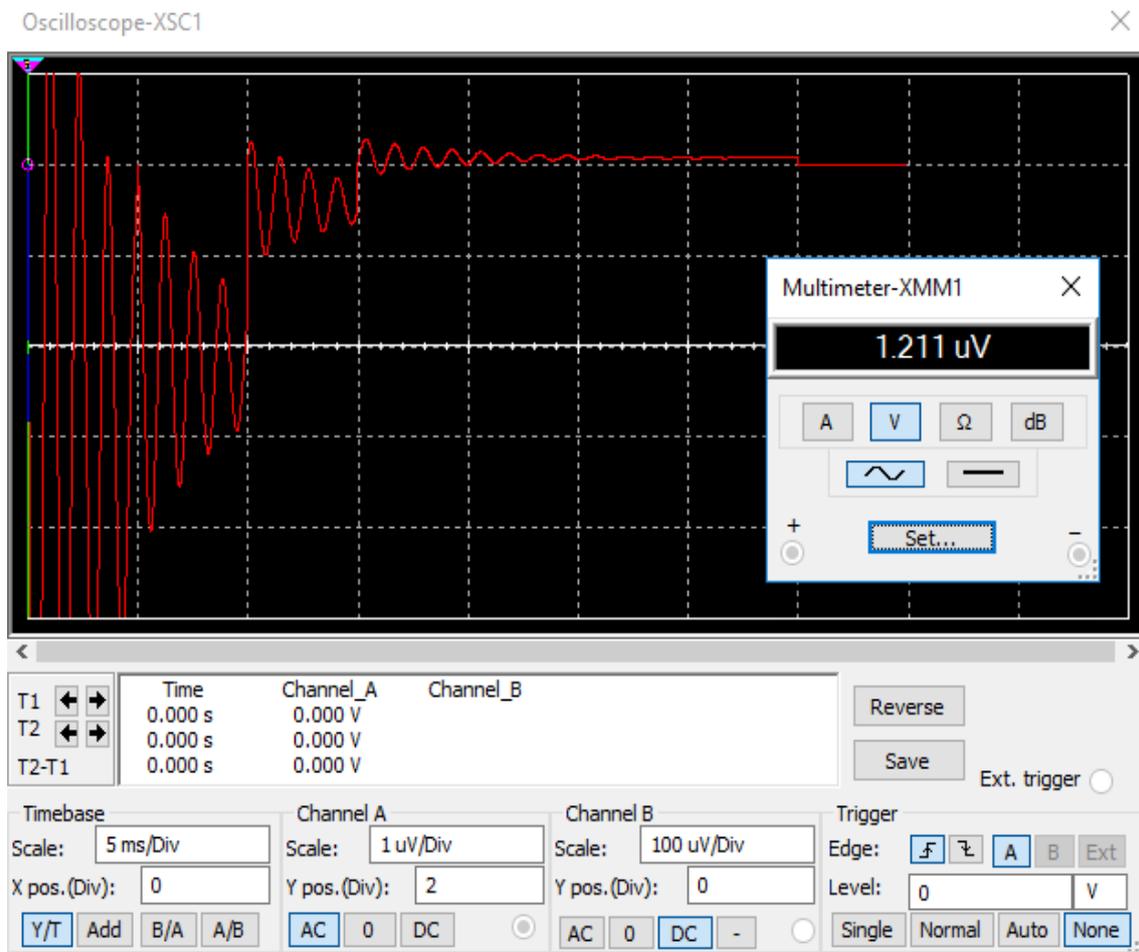


Figura 3.1 – Montagem do Duplo T em software.

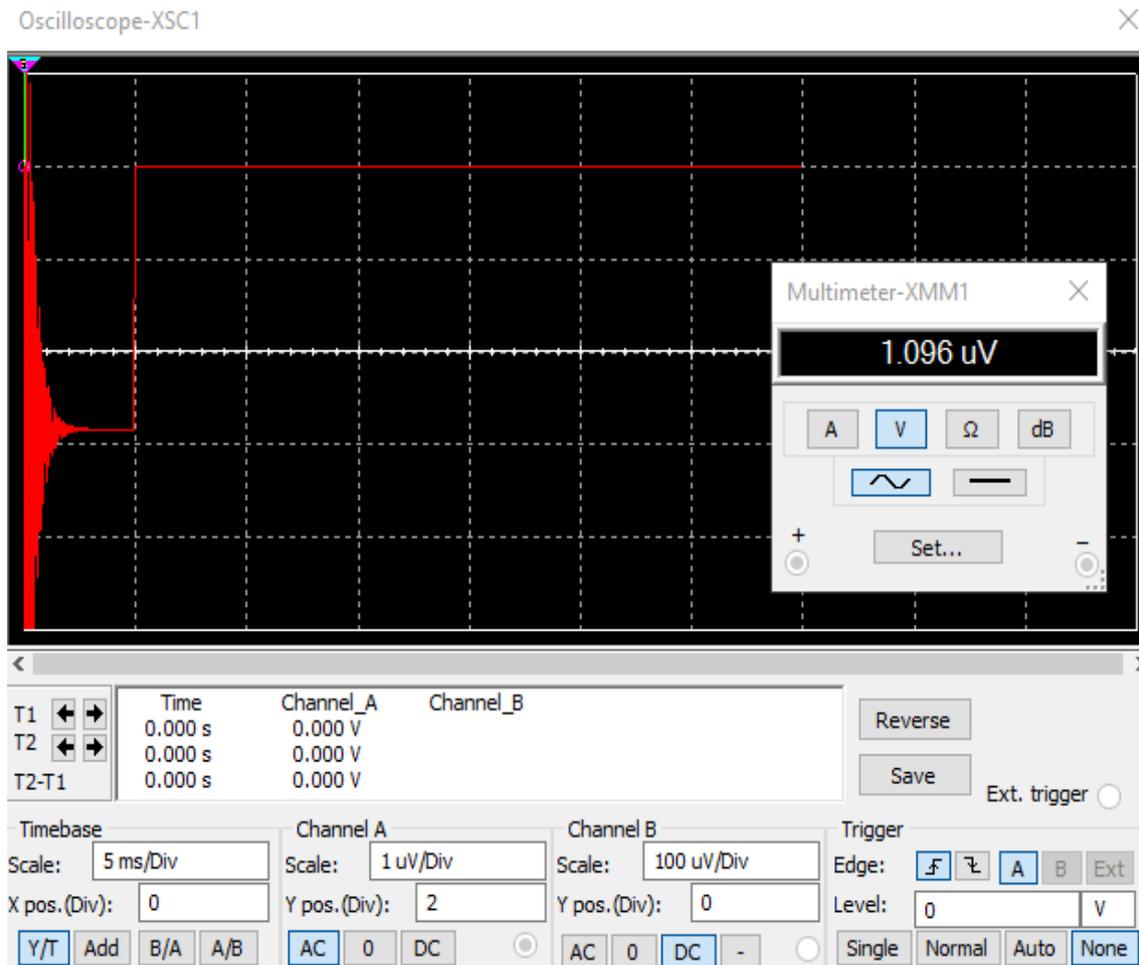
Para esta configuração de circuito, obteve-se a forma de onda mostrada na Figura 3.2. Vale ressaltar que as configurações do osciloscópio foram feitas para que se obtivesse uma melhor visualização da forma de onda, e para isso, ela foi deslocada verticalmente em 2 posições (divisões). Todas as configurações são mostradas na parte inferior da figura.

Está incluso à figura, também o valor de tensão que foi medido com o auxílio do multímetro virtual, disponível no programa. Com isso, evidencia-se que os valores de tensão ficam na casa dos microvolts enquanto a onda está oscilando. Com isso, reforça-se a necessidade do uso de um amplificador para observar os efeitos da onda em um alto falante.



**Figura 3.2 – Forma de onda quando C1, C2 e C3 são, respectivamente, 4.7nF, 2.2nF e 2.2nF.**

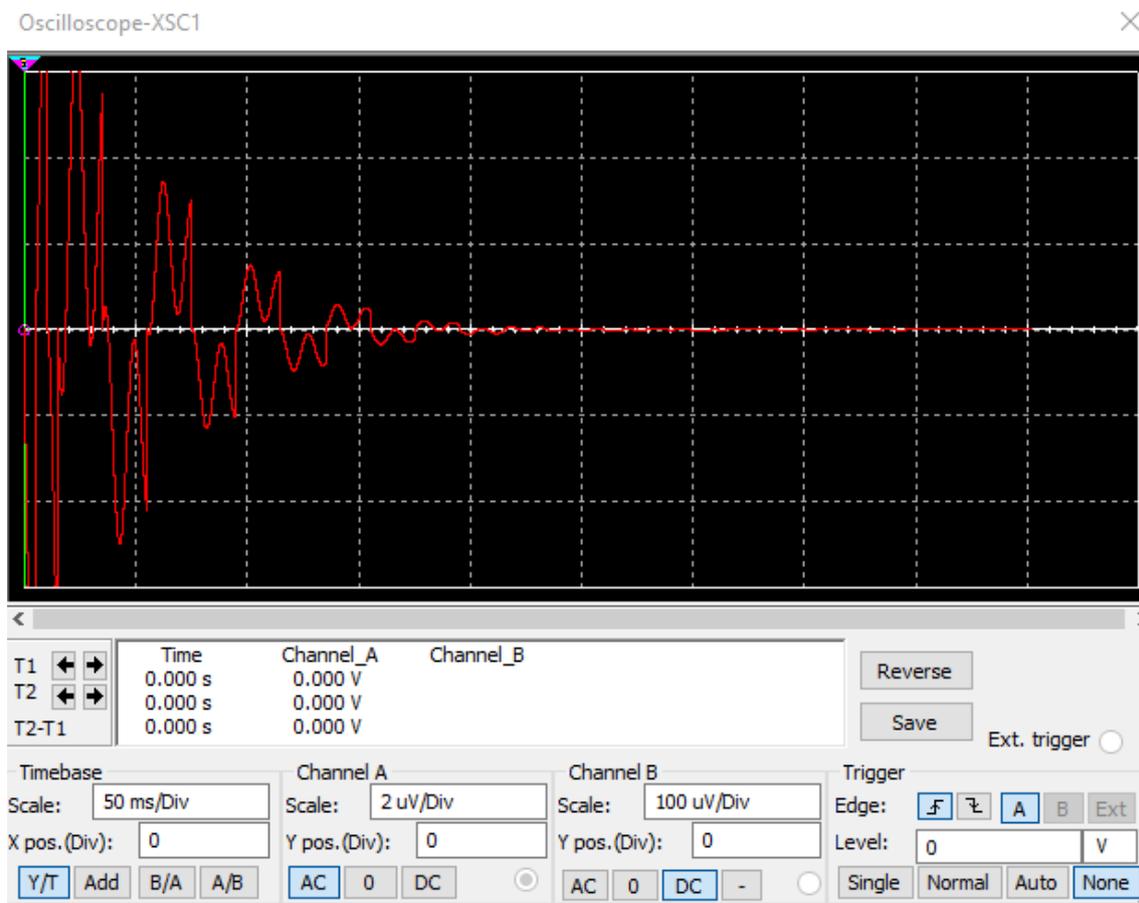
Para efeitos de observação, foram alterados os valores de C1, C2, e C3, desta vez valendo, respectivamente, 470pF, 220pF e 220pF. A forma de onda para esta configuração de circuito é mostrada na Figura 3.3. Convém notar que a amplitude se mantém na casa dos microvolts, e que o amortecimento foi maior do que a configuração anterior.



**Figura 3.3 – Forma de onda quando C1, C2 e C3 são, respectivamente, 470pF, 220Pf e 220pF.**

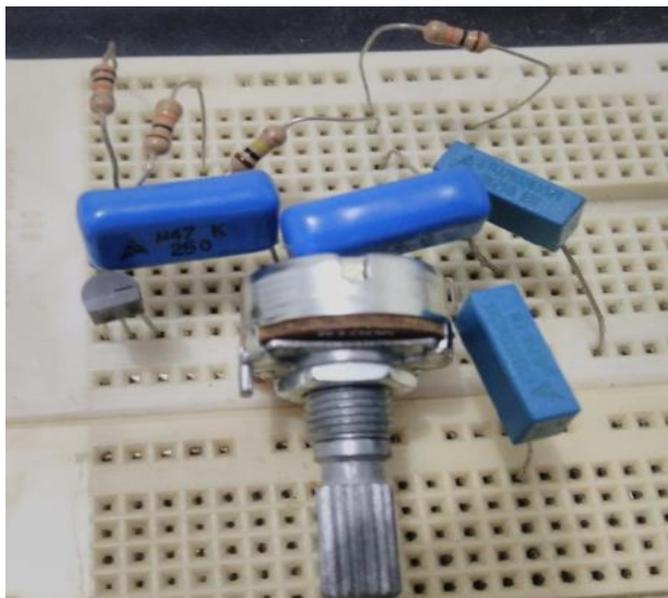
Para completar, uma nova configuração foi simulada, adotando valores dos capacitores C1, C2, e C3 como 47nF para o primeiro e 22nF para o segundo, e o resultado é mostrado na Figura 3.4

Observa-se que para melhor visualizar esta forma de onda, o osciloscópio teve que ser reconfigurado, retirando o deslocamento vertical e aumentando a escala tanto de tempo por divisão quanto a de volt por divisão.



**Figura 3.4 – Forma de onda quando C1, C2, C3 e R4 são, respectivamente, 47nF, 22nF e 22nF.**

Feitas as simulações, partiu-se para a montagem do circuito oscilador de Duplo T, que é mostrado na Figura 3.5. Para isso, foi utilizado uma Protoboard de 1600 pontos e a alimentação do circuito foi feita com uma fonte de tensão contínua regulada de 12V. O circuito foi acionado utilizando chaves normalmente abertas que simularam o sensor. Sua saída foi ligada a um amplificador, que terá sua montagem detalhada no próximo tópico. Utilizou-se também cabos de rede que serviram de jumpers para facilitar a montagem do circuito.



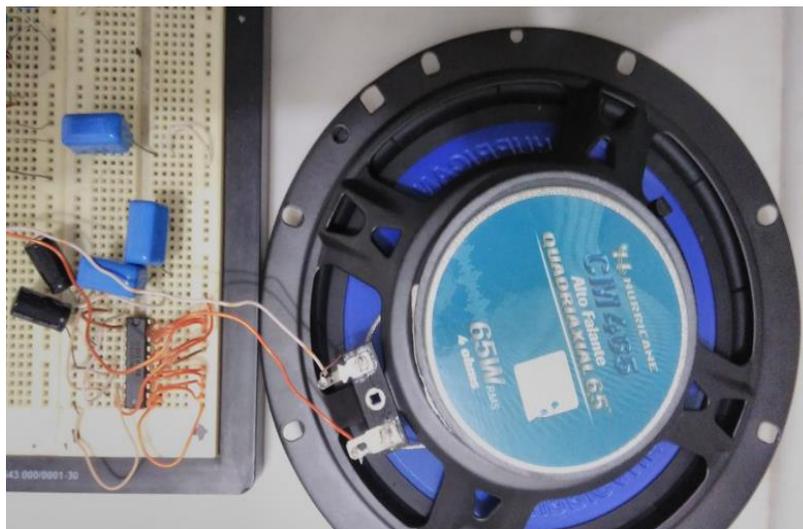
**Figura 3.5 – Montagem do circuito Oscilador de Duplo T**

Os comentários dos resultados serão explanados no próximo capítulo

### **3.2 Montagem do Amplificador de Sinal**

Como já foi dito, para observar os efeitos da onda em um alto falante, e ver se de fato o som gerado corresponde a uma percussão, necessitou-se de uma etapa de amplificação de sinal gerado pelos osciladores.

Para isso utilizou-se o CI TPA1517, cujo suas especificações e circuito de montagem foram mostrados no capítulo anterior. A etapa de montagem do mute/standby foi ignorada por sua implementação não influenciar em nada para este trabalho. Utilizou-se também um alto falante da marca Hurricane, quadriaxial de 6.5 polegadas, 4 ohms de impedância e 65 Watts de potência. Sua montagem é mostrada na Figura 3.6



**Figura 3.6 – Montagem do Amplificador de Sinal juntamente com o Alto Falante.**

### **3.3 Montagem do Oscilador por Deslocamento de Fase**

Como um dos osciladores escolhidos para ser implementado, o oscilador por Deslocamento de Fase teve primeiramente seu circuito simulado. Para esta simulação foi utilizado o software Multisim, como no Duplo T.

O intuito da simulação também é o de comprovar o que foi estudado na literatura, de que o comportamento da forma de onda de saída do circuito é uma onda senoidal amortecida, com critérios de amortecimento e frequência definido pelos valores adotados para seus componentes, principalmente os valores que foram definidos para os capacitores C3, C4, e C5 que se encontram na montagem do circuito de simulação mostrado na Figura 3.7. Os valores escolhidos para estes capacitores foram de 10nF para os três, e estes valores serão variados para observar como se comporta a forma de onda após essas alterações. O circuito foi alimentado por uma fonte de tensão contínua de 18V.

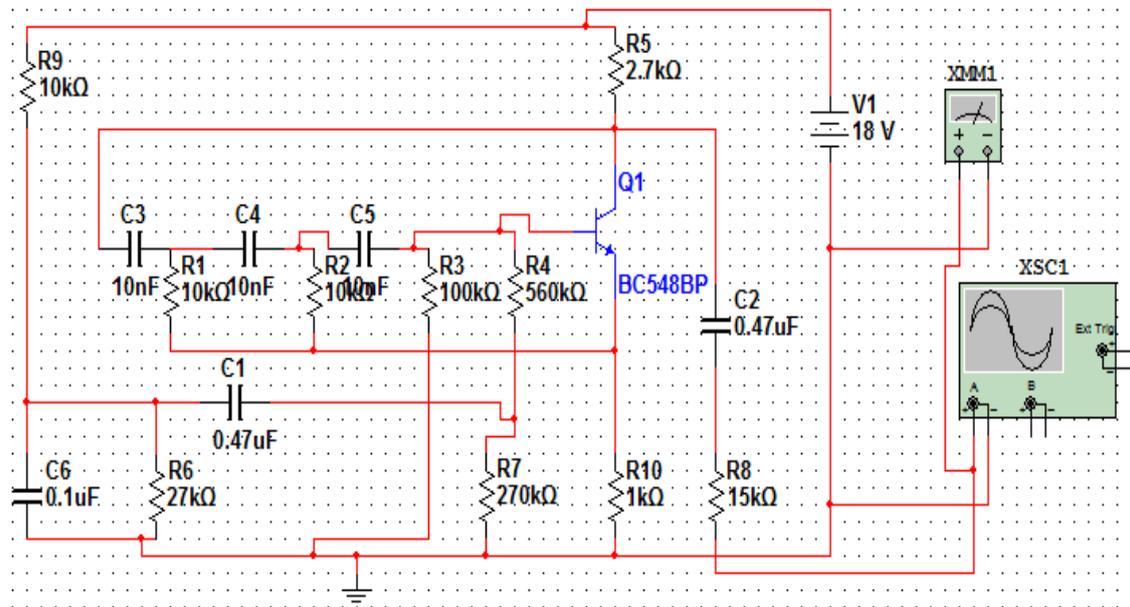


Figura 3.7 – Circuito Oscilador por Deslocamento de Fase.

A seguir, temos na Figura 3.8 a forma de onda de saída quando esta configuração tem os valores de capacitores C3, C4 e C5 iguais a 10nF. Chama-se a atenção para a configuração do osciloscópio onde se desloca o eixo vertical em 9.4 unidades para melhor visualização da forma de onda.

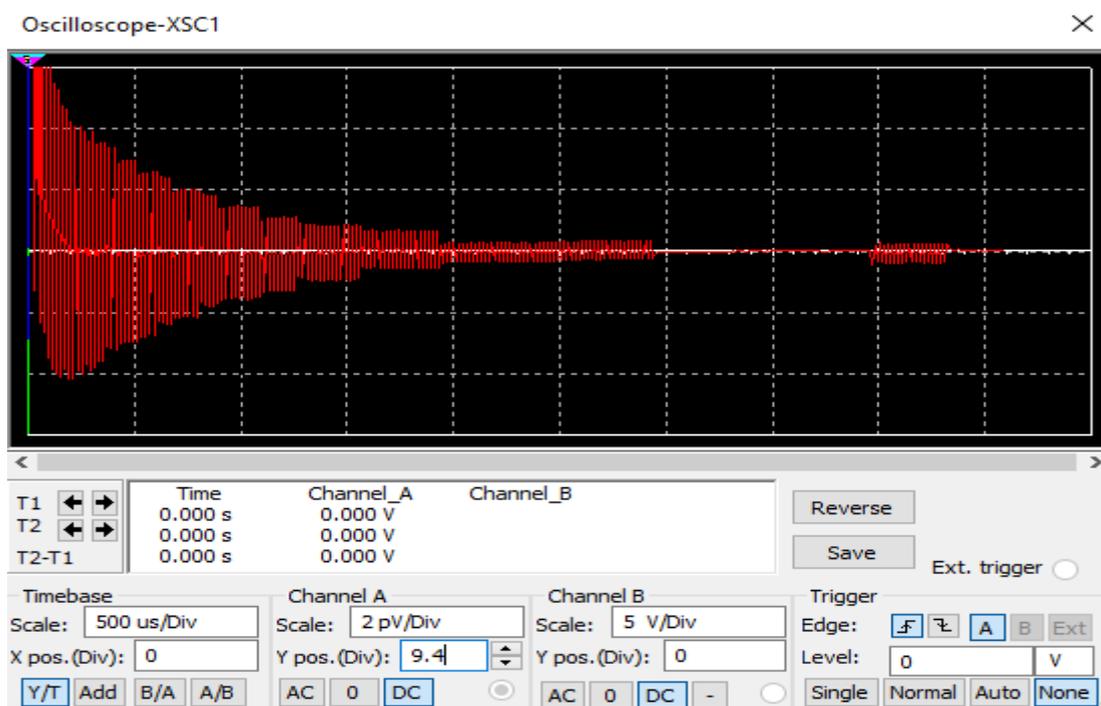
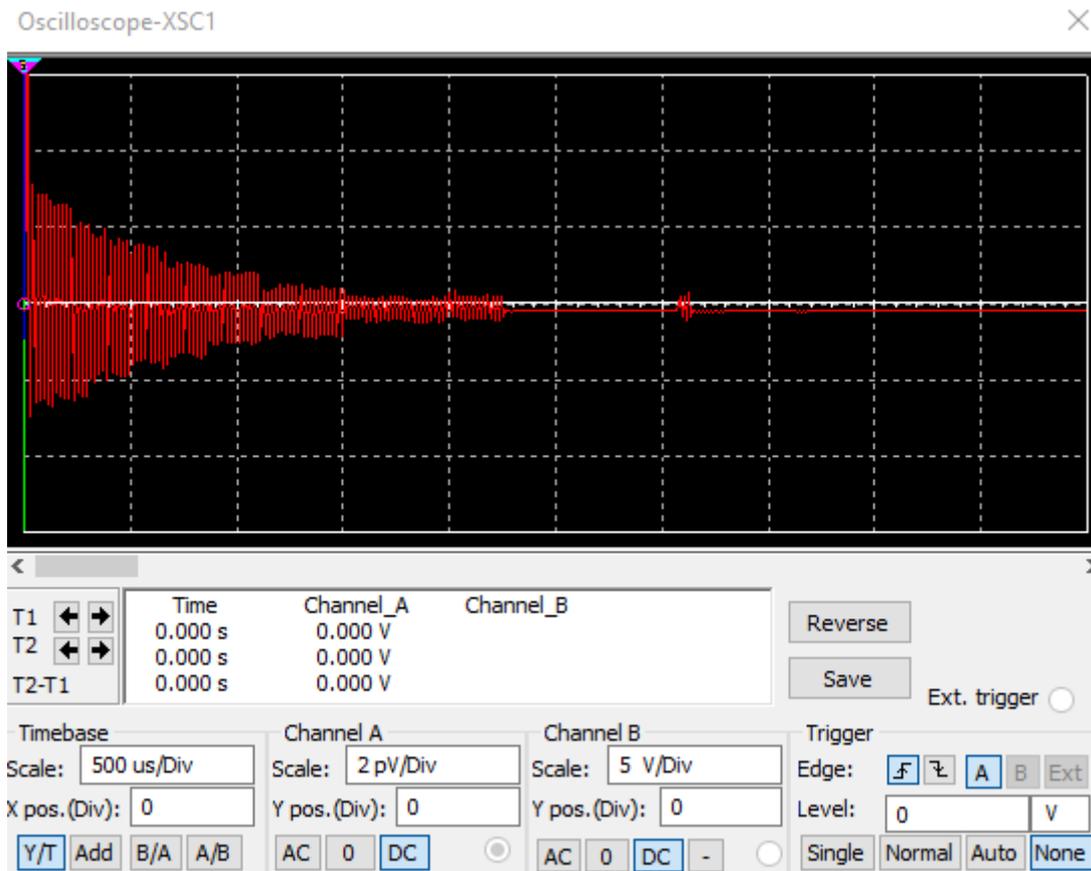


Figura 3.8 – Forma de Onda para C3, C4 e C5 iguais a 10nF

Uma nova simulação foi realizada alterando os valores dos capacitores C3, C4 e C5 para 33nF e sua forma de onda é mostrada na Figura 3.9.



**Figura 3.9 – Forma de Onda para C3, C4 e C5 iguais a 33nF**

Nota-se que para melhor visualização da forma de onda as configurações do osciloscópio foram alteradas retirando totalmente o deslocamento que havia na simulação anterior, em relação ao eixo vertical.

Realizou-se também mais uma alteração de valores dos capacitores C3, C4 e C5, adotando para eles 47nF, uma nova simulação foi realizada, e a forma de onda é mostrada na Figura 3.10.

Nota-se que como em todas as simulações anteriores, o osciloscópio teve que novamente ser ajustado, desta vez com um deslocamento vertical igual a 2.4 divisões e diminuindo a escala de tempo por divisão.

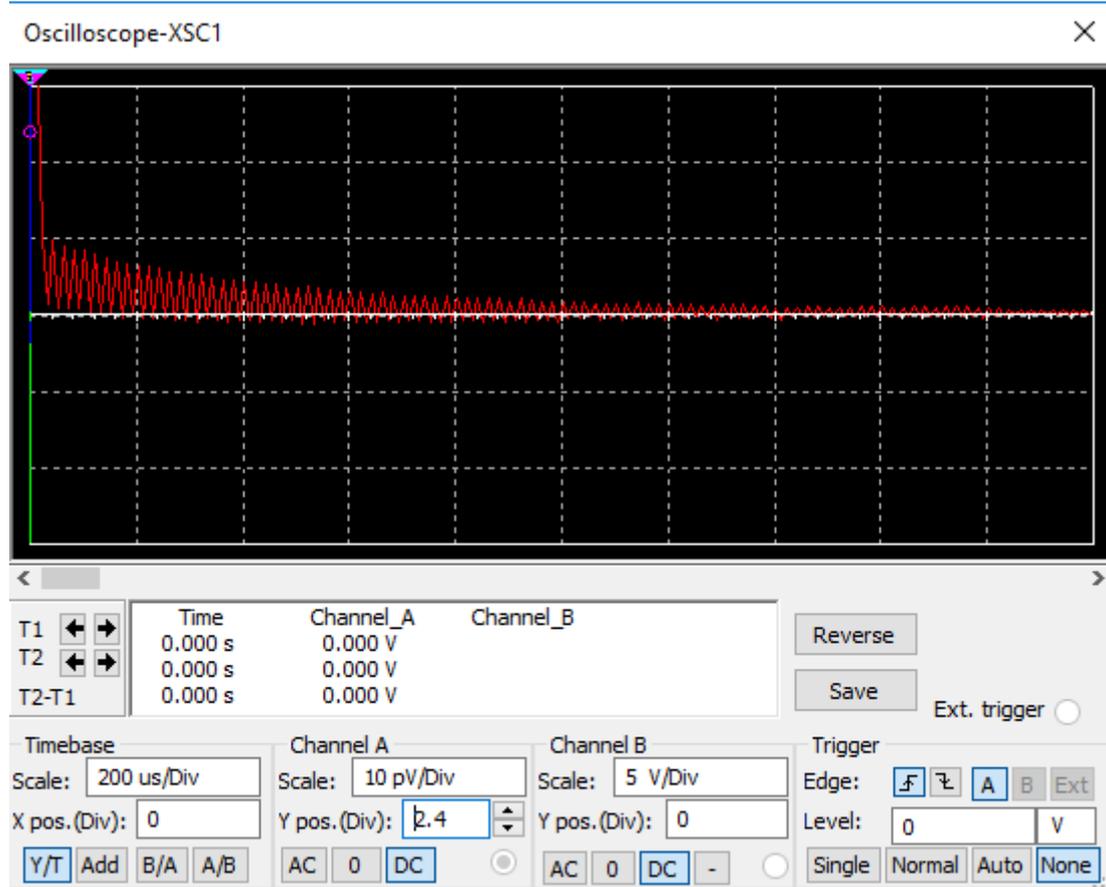
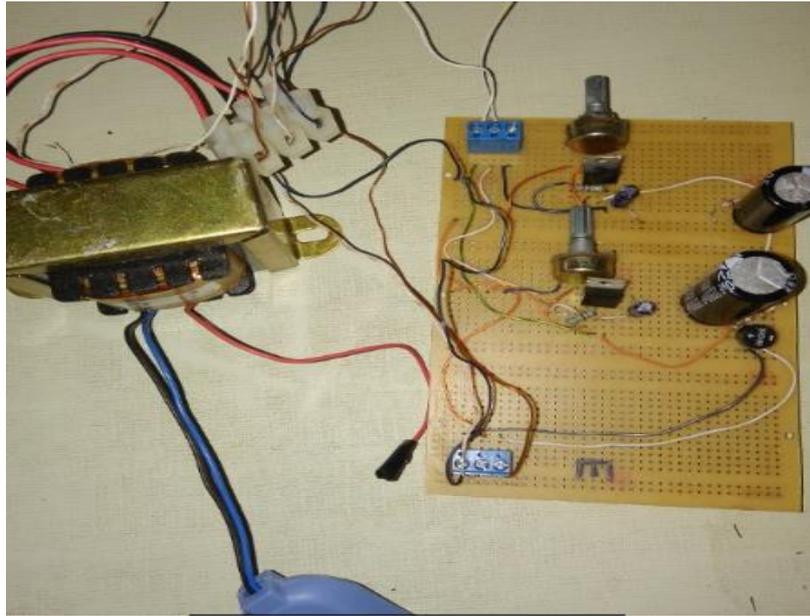


Figura 3.10 – Forma de Onda para C3, C4 e C5 iguais a 47nF

Após feitas as simulações, e comprovado que o circuito gera uma forma de onda senoidal amortecida, partiu-se para a montagem do oscilador em uma protoboard.

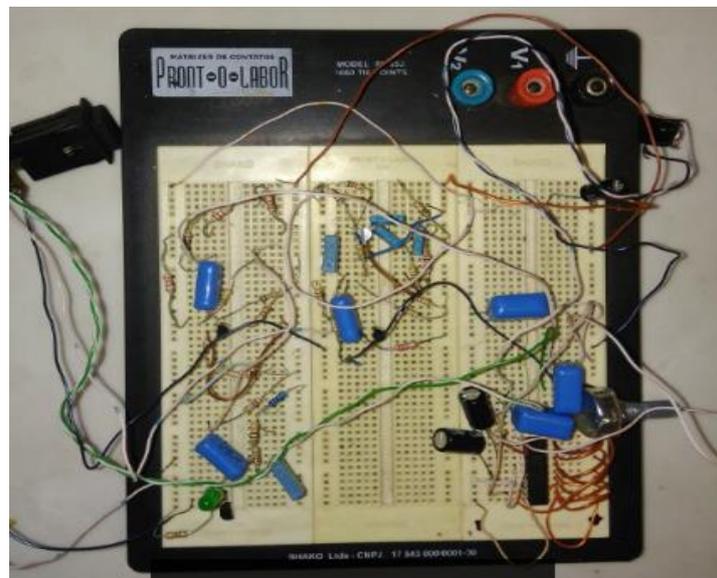
Montou-se exatamente o circuito mostrado na figura 2.10, onde se encontra dois osciladores em um mesmo circuito e que tem o intuito de criar formas de onda que imitem dois bongôs (instrumento percussivo). Para sua alimentação foi utilizado uma fonte de tensão regulada contínua, mostrada na Figura 3.11. O seu acionamento foi feito por chaves normalmente abertas que simulam os sensores que seriam utilizados na montagem final, caso o protótipo atendesse as expectativas para o projeto.

A Figura 3.12 mostra a montagem final do circuito oscilador por deslocamento de fase, onde se encontra também o amplificador de sinal que teve sua montagem mantida para que os sons produzidos por sua forma de onda fossem observados utilizando um alto falante.



**Figura 3.11 – Fonte de Tensão Contínua Regulável.**

Esta fonte de tensão mostrada na Figura 3.11, foi desenvolvida em um trabalho realizado durante o curso de graduação na disciplina de Circuitos e Dispositivos Eletrônicos.



**Figura 3.12 – Montagem do Oscilador por Deslocamento de Fase.**

Os resultados obtidos serão explanados no próximo capítulo, onde será feito um comparativo entre os osciladores e particularidades observadas de cada um.

### 3.4 Montagem do da Percussão com Microprocessador

Além das montagens utilizando os osciladores, realizou-se também uma montagem da percussão eletrônica utilizando um microprocessador.

A ideia de utilizar o microprocessador é que ele funcione como um sistema de aquisição e tratamento de dados, e estes, enviados a um computador pessoal por meio de porta serial (USB) onde serão acionados instrumentos virtuais com o auxílio de softwares específicos, como por exemplo, Addictive Drums ou EzDrumer. Para isto, utilizou – se o Arduino MEGA (Figura 3.13), que possui um número maior de portas analógicas quando comparado ao modelo anterior UNO. Cada uma destas portas analógicas foi utilizada para um emular um instrumento diferente. Utilizou-se 12 portas analógicas, nomeadas de A0 a A11, e com isso pode-se construir uma bateria eletrônica.

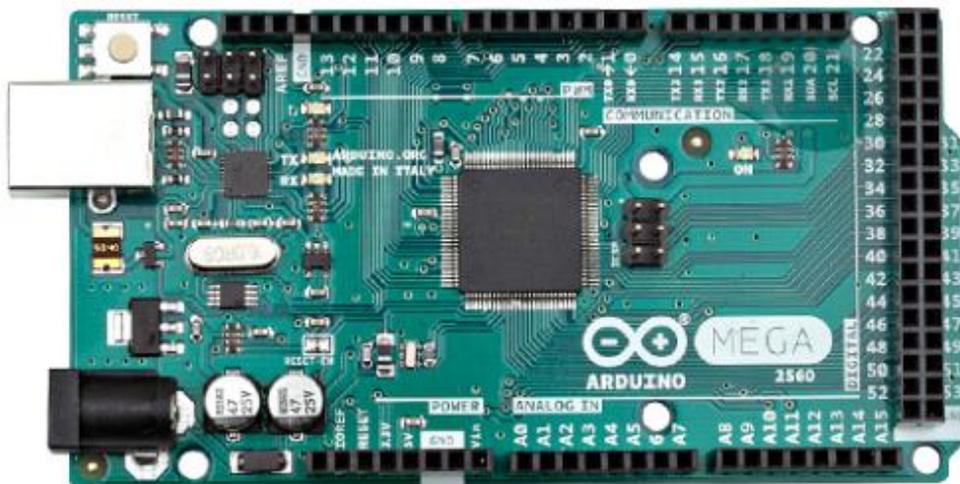


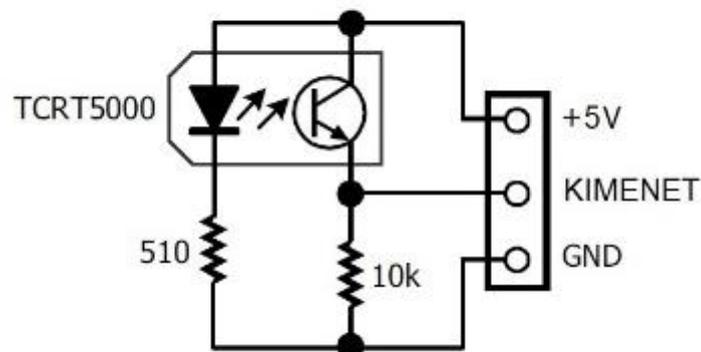
Figura 3.13 – Arduino Mega

Fonte: ARDUINO, 2017.

O circuito de montagem para acionar a cada porta analógica, com exceção da porta A0, contou com um sensor piezoelétrico, pino e jack P10, resistor de 1 M $\Omega$  e diodo zener de 5V. Estes dois últimos tem a responsabilidade, respectivamente, de estabilização do sinal e proteção da porta analógica do microprocessador.

A programação do Arduino foi feita de modo que quando este identificasse um sinal gerado pelo sensor piezoelétrico através de suas portas analógicas, fosse acionado um respectivo instrumento em um programa VST instalado no computador. A sigla VST vem de Virtual Studio Technology (ou Tecnologia de Estúdio Virtual), que é uma interface desenvolvida pela empresa Steinberg em 1996, que possibilita simular aparelhos reais, como equalizadores, compressores e também instrumentos virtuais (ALATAJ, 2017).

A entrada analógica do microcontrolador denominada como A0 foi escolhida como sendo a que receberá o sinal do sensor TCRT5000 para funcionar como controlador de Chimbal. Diferentemente das outras portas, esta conta com, além do sensor citado, jack e pino p10 e dois resistores, um de  $510\Omega$  e outro de  $10k\Omega$ . Este sensor também necessita de uma alimentação de 5V, tensão que já é disponível no próprio microcontrolador Arduino, e seu esquema de ligação com os resistores é ilustrado na Figura 3.14



**Figura 3.14 – Esquema de Ligação do Sensor TCRT5000.**

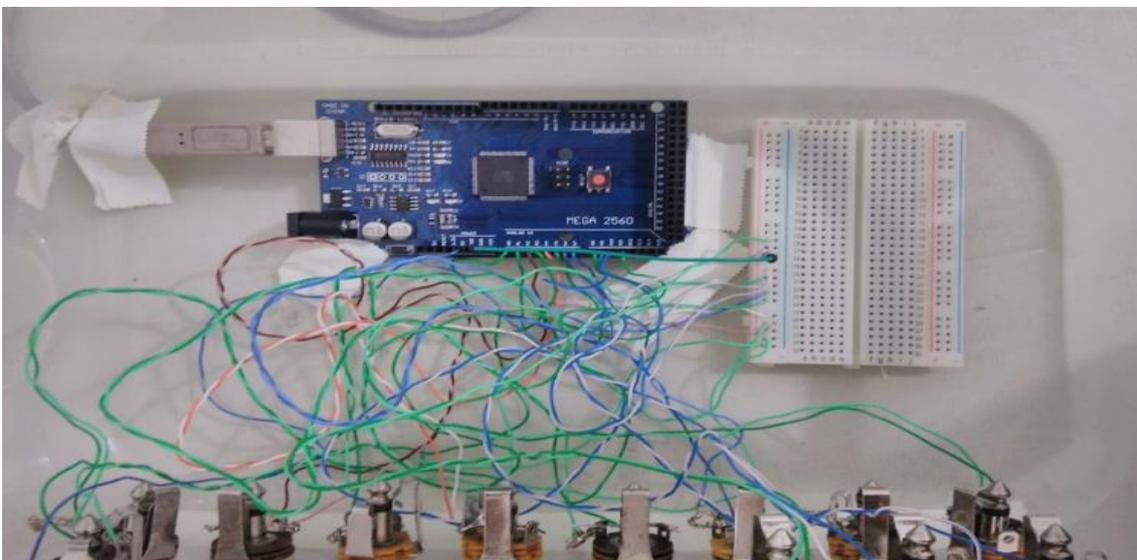
**Fonte: ELETRODUINO, 2013.**

Todos os sensores necessitam de ter acesso ao GND (terra) do Arduino, e como o mesmo possui apenas duas entradas deste tipo, utilizou-se uma protoboard de 400 pontos para facilitar e ampliar os contatos a este ponto.

Para acomodar o Arduino, a protoboard e os jacks p10, utilizou-se uma vasilha plástica, conforme mostra as Figuras 3.15 e 3.16, onde foram feitos furos para fixar componentes e passagens de cabo.



**Figura 3.15 – Vasilha Plástica, Vista Lateral.**



**Figura 3.16 – Vasilha Plástica, Vista Superior.**

Os sensores em sua grande maioria foram acomodados em meio a duas folhas emborrachadas de 10mm, como mostra a Figura 3.17, sendo a folha inferior uma base para todos os sensores e as folhas superiores cortadas em formas circulares e de duas

cores distintas para facilitar a diferenciação pelo músico do tipo de instrumento. A essas folhas emborrachadas circulares, denomina-se Pad's, que é o nome que se dá aos componentes de uma bateria eletrônica.



**Figura 3.17 – Pads dos Sensores**

Para o Pad do Bumbo foi utilizado um prato plástico forrado com folha emborrachada e tendo o sensor piezoelétrico fixado a seu interior com o auxílio de fita adesiva. Já o sensor óptico reflexivo foi fixado em uma pequena caixa de metal, como mostra a figura 3.18.



**Figura 3.18 – Simuladores dos Pedais de Bumbo e Chimbal**

As configurações de cada Pad foram feitas separadamente no código de programação do Arduino. Para cada um foi designado seu respectivo instrumento, configurada sua sensibilidade, seu tempo de resposta e alguns outros parâmetros de acordo com a necessidade individual.

A Figura 3.19 mostra um trecho do código responsável pela configuração dos Pads. O vetor PadNote, por exemplo, é responsável por designar o tipo de cada instrumento a sua respectiva porta analógica. Já as outras configurações são responsáveis por outros aspectos, como por exemplo, sensibilidade máxima e mínima, tempo de resposta, etc. Já a Figura 3.20 mostra um trecho de código responsável pela leitura constante das portas analógicas do microcontrolador Arduino.

```
byte SensorType[12] = {176,144,144,144,144,144,144,144,144,144,144,144};
byte PadNote[12] = {4,8,38,36,71,69,67,65,42,77,60,79};
int thresholdMin[12] = {10,30,280,500,50,190,80,150,150,150,150,150};
int thresholdMax[12] = {140,1023,1023,1023,950,950,1123,1023,1023,1023,1223,1523};
int sensorScantime[12] = {8,8,8,8,8,8,8,8,8,8,8,8};
int sensorMasktime[12] = {20,20,20,40,20,70,70,70,70,70,70,70};
```

Figura 3.19 – Configuração dos Pads

```
for(pin = 0; pin < READPIN; pin++)
{
  readSensor = analogRead(pin);
  if((SensorType[pin] != 128) && (readSensor > thresholdMin[pin]) && (currentMillis[pin]))
  {
    currentMillis[pin] = millis();
    if (readNumber[pin] < sensorScantime[pin])
    {
      if (readSensor > sensorReads[pin])
      {
        sensorReads[pin] = readSensor;
      }
      readNumber[pin]++;
    } else if (playNote[pin] == true)
    {
      playNote[pin] = false;
      int velocity = normalizeSensor(sensorReads[pin], pin);
      MIDI_TX(SensorType[pin], PadNote[pin], velocity);
      digitalWrite(led, HIGH);
      digitalWrite(led, LOW);
    }
  } else if ((currentMillis[pin] - previousMillis[pin]) > sensorMasktime[pin])
  {
    playNote[pin] = true;
    readNumber[pin] = 0;
    sensorReads[pin] = 0;
    previousMillis[pin] = currentMillis[pin];
  }
}
```

Figura 3.20 – Código para leitura das portas analógicas

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após concluídas as etapas de simulações e montagens, foram feitos vários testes, regulagens e comparações entre os modelos utilizados. Os resultados e comentários referentes ao que se pôde notar, serão abortados a seguir separadamente para cada protótipo.

### 4.1 O Oscilador de Duplo T

Com as simulações realizadas pôde-se comprovar, através das formas de onda presentes nas Figuras 3.2, 3.3 e 3.4, que conforme visto na teoria, para se obter frequências mais altas com este tipo de oscilador, deve-se adotar valores menores dos capacitores C1, C2 e C3, e valores mais altos quando se deseja uma frequência menor, sendo o primeiro mais interessante para imitar sons mais agudos, como sons de sino, triangulo, tamborim, etc. Já o segundo, mais usado para sons mais graves, como bumbo, surdo e outros.

O circuito oscilador de Duplo T, é uma configuração de oscilador de montagem relativamente simples. Utiliza-se poucos componentes e ocupa um pouco espaço físico para implementação. Porém, notou-se que com este modelo os sons gerados não seguem fielmente aos sons de percussão requeridos neste trabalho, e, por mais que se tentasse regular esse som variando os valores dos componentes, o som de saída se mostrava fraco e sem peso.

Outros detalhes observados foram que, ao ser acionado com uma chave normalmente aberta, o oscilador produzia som duplo, como se tivesse sido acionado duas vezes, e se o tempo entre um acionamento e outro não fosse grande o suficiente para que os capacitores pudessem ser totalmente carregados, o som gerado era de baixa amplitude, difícil de ser percebido pelo ouvido humano.

Com isso, os resultados obtidos montando este protótipo se mostraram definitivos para que fosse interrompido o desenvolvimento deste projeto utilizando este tipo de oscilador.

## 4.2 O Oscilador por Deslocamento de Fase

As simulações com este oscilador, que geraram as formas de onda mostradas nas Figuras 3.8 a 3.10, comprovaram também o que foi visto na literatura, que similarmente ao oscilador de duplo T, quanto maior os valores de capacitores em evidência, menor a frequência da forma de onda de saída, e para maiores frequências necessita-se de menores valores destes capacitores.

A configuração escolhida para montagem, ilustrada na Figura 2.10 e mostrado na Figura 3.12, tem os valores de capacitores escolhidos de forma que o som gerado se pareça com bongôs, conforme mostra a literatura. E de fato, após a montagem notou-se que estes sons se parecem muito com os instrumentos desejados, e o problema de duplicação de som, notado no oscilador de Duplo T não se fez presente neste. Porém, apesar de este tipo de oscilador se mostrar um pouco mais robusto, nota-se que mesmo com ajustes e alterações de valores dos seus componentes, não foi possível detectar variações de sons (que sirvam como sons percussivos) com este tipo de oscilador, o que inviabiliza utilizar somente osciladores por deslocamento de fase quando se deseja montar uma maior variedade de instrumentos percussivos (bateria).

Um ponto observado com os ajustes foi que, com a retirada dos capacitores em evidência, notou-se um som muito parecido com o bumbo de uma bateria quando o oscilador era acionado.

## 4.3 Percussão Eletrônica com Microprocessador

A ideia de construir este tipo de protótipo se deu devido a uma certa insatisfação com os resultados obtidos utilizando os circuitos osciladores. Esta montagem que inicialmente tinha caráter de teste, logo no início se mostrou com bons resultados.

Antes da construção dos Pads, montou-se somente um sensor piezoelétrico ligado diretamente ao microprocessador Arduino com o auxílio de cabos jumpers, e pôde-se notar que o protótipo acionava de forma correta e com pouca latência os softwares presentes no computador pessoal. Já estes softwares juntamente com o programa VST, respondia com sons idênticos aos de bateria e com uma grande variedade de afinações de um mesmo instrumento.

A partir daí, partiu-se para montagem do restante dos instrumentos que se mostrou bastante simples, sendo que o usuário tem grande liberdade de criação dos seus Pads (onde acomodaria os sensores piezoelétrico) conforme sua criatividade.

Após a montagem completa de todo o protótipo, notou-se que um ponto negativo era a regulagem dos Pads, tendo que ser feita via código, e a cada alteração devia-se carregar o programa no microprocessador e testado novamente, tarefa que consumiu um tempo maior. Uma outra dificuldade foi também a regulagem do sensor óptico reflexivo TCRT5000, que por ser um equipamento que sofre interferências do meio externo (luz) necessitou de uma montagem em um ambiente fechado (caixa) de forma que o sensor sofresse poucas interferências de ondas infravermelhas externas como a do sol e a de luzes artificiais.

Mas todas estas regulagens, por mais que se demandou de um tempo maior para serem realizadas, não se mostraram necessárias novamente em outros momentos, mesmo com uso intensivo do protótipo. O único ajuste que deve ser feito, é o volume de cada instrumento, e que pode ser feito via software de forma simples.

## 5 CONCLUSÕES

Com a realização deste trabalho pôde-se comprovar o comportamento dos osciladores como mostra a teoria. Aprendeu-se também como são feitas suas regulagens para obter diferentes frequências de onda. Mas pôde-se notar que sua implementação para criar sons de instrumentos específicos e variados, requer um estudo maior tanto das formas de onda dos instrumentos desejados como também uma análise mais a fundo dos circuitos osciladores em geral, pois somente com as pesquisas feitas neste projeto não foi possível construir um protótipo que apresentasse resultados desejados com a utilização destes circuitos.

Já em relação ao protótipo microprocessado, concluiu-se que ele apresenta uma grande superioridade comparado aos osciladores no que se refere em sua utilização para o que se objetiva neste trabalho. Com um desempenho robusto, e sons muito similares a uma bateria eletrônica comercial, sua versatilidade de uso permite que o usuário possa ter em apenas um dispositivo, afinações diferenciadas de instrumentos utilizados em diversos estilos musicais. Um fator observado, foi que, apesar de a construção deste equipamento ser simples, o montador necessita de ter um conhecimento mínimo de circuitos de eletrônica e principalmente de programação, já que a configuração do microprocessador se dá totalmente por códigos e que se não forem feitos de forma correta, acarreta num mal funcionamento do dispositivo.

Outros fatores bastante positivos que se pôde concluir com a construção do equipamento microprocessado, foi que ele ocupa um espaço físico muito pequeno comparado ao modelo eletrônico disponível no mercado, já que seus desempenhos são parecidos, e que seu custo de construção também é bem baixo, o que é ideal para estudantes de bateria que não dispõe de muito recurso financeiro ou de bastante espaço físico disponível.

Em termos gerais, pode-se concluir que o trabalho teve um resultado positivo, conseguindo atingir seus objetivos, comprovando sua viabilidade e agregando um grande conhecimento sobre os temas estudados.

## REFERÊNCIAS

ACÚSTICA, 2015. Disponível em: <<http://estudodasondas123.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 11 fev. 2017.

ALATAJ. O que significa VST e VSTi? 2017. Disponível em: <<http://alataj.com.br/dicas-de-producao/o-que-e-vst-e-vsti>>. Acesso em: 04 mar. 2017.

ARDUINO. What is Arduino? 2017. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 26 fev. 2017.

ARDUINO E CIA. Sensor Óptico Reflexivo TCRT5000, 2013. Disponível em: <<http://www.arduinoocia.com.br/2013/10/sensor-optico-reflexivo-tcrt5000.html>>. Acesso em: 04 de mar 2017.

BAU DA ELETRÔNICA, 2017. Disponível em: <<http://www.baudaeletronica.com.br/amplificador-operacional-lm348.html>>. Acesso em: 14 fev. 2017.

BISQUOLO, P, A. Ondas sonoras: velocidades do som, eco e limites de audibilidade. **UOL Física**, 2007. Disponível em: <<https://educacao.uol.com.br/disciplinas/fisica/ondas-sonora--b-velocidade-do-som-eco-e-limites-de-audibilidade.htm>>. Acesso em: 21 jan. 2017.

CENTRAL WEB ROCK, 2017. Disponível em: <<http://www.centralwebrock.com.br/>>. Acesso em: 21 jan. 2017.

ELEKTOR Eletrônica. N29/30, Micropercussão. P67-68. 1989.

ELETRODUINO. Sensor Óptico Reflexivo. 2013. Disponível em: <<https://eletroarduino.wordpress.com/tag/sensor-optico-reflexivo-tcrt5000/>>. Acesso em: 04 mar. 2017.

EMBEDDED ARCHITECTS. O que é um sistema embarcado. 2017. Disponível em: <<http://www.embarc.com.br/p1600.aspx>>. Acesso em: 26 fev. 2017.

IAZZETTA, F. Revendo o Papel do Instrumento na Música Eletroacústica. In: **ENCONTRO DE MÚSICA ELETROACÚSTICA**. 1997, Brasília. **Anais**. Brasilia.

INSTITUTO NEWTON C. BRAGA. ART499 - Osciladores – O que é preciso saber? 2014a. Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/artigos/49-curiosidades/3664>>. Acesso em: 11 fev. 2017.

INSTITUTO NEWTON C. BRAGA. ART1862. Como funcionam os osciladores. 2014b. Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/comofunciona/9403comofuncionamososciladoresart1862>>. Acesso em: 14 fev. 2017.

INSTITUTO NEWTON C. BRAGA. CIR236. Oscilador de Duplo T. 2014c. Disponível em: <<http://newtonbraga.com.br/index.php/banco-circuitos/145-osciladores/3314-cir263.html>>. Acesso em: 11 fev. 2017.

INSTITUTO NEWTON C. BRAGA. NE0012. Oscilador Amortecido. 2014d. Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/circuitos/143-eletricidade.html>>. Acesso em: 11 fev. 2017.

INSTITUTO NEWTON C. BRAGA. NE0100. Oscilador Duplo T com o 741. 2014e. Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/circuitos-simulados/osciladores/297-oscilador-duplo-t-com-o-741-ne0100>>. Acesso em: 14 fev. 2017.

MALVINO, P. A. **Eletrônica**. Tradução José Lucimar do Nascimento. 4ed. São Paulo, 1997.

MECANICA INDUSTRIAL. O que é um sensor Piezoelétrico. 2017. Disponível em: <<https://www.mecanicaindustrial.com.br/634-o-que-e-um-sensor-piezoelétrico/>>. Acesso em: 26 fev. 2017.

MOTTA, Thais. Piezo Eletrico e Arduino. **UPSTREAM**, 2015. Disponível em: <<https://electronicupstream.wordpress.com/2015/07/07/projeto-7-piezo-eletrico-e-arduino/>>. Acesso em: 26 fev. 2017.

PARDAL, Tatiana. Consequências da Exposição ao Ruído de Baixa Frequência (RBF). SAFEMED. 2015. Disponível em: <<http://blog.safemed.pt/consequencias-da-exposicao-ao-ruído-de-baixa-frequencia-rbf/>>. Acesso em: 11 fev. 2017.

PETRY, A, C. Teoria Geral dos Osciladores. **IFSC**, 2012. Disponível em: <[http://professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia\\_CEFET/Osciladores\\_Multi\\_vibradores/2012\\_1/Apresentacao\\_Aula\\_02.pdf](http://professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia_CEFET/Osciladores_Multi_vibradores/2012_1/Apresentacao_Aula_02.pdf)>. Acesso em: 03 mar. 2017.

RIBEIRO, Edynel. Bateria Eletrônica Analógica. **HANDMADE ELETRONIC**. 2014. Disponível em: <<http://electronicsartisanedynel.blogspot.com.br/2014/11/bateria-eletronica-analogica-oscilador.html>>. Acesso em: 03 mar. 2017.

SILVA, R, T. Notas de Aula de Física. **UFPB**, 2004. Disponível em: <[http://www.fisica.ufpb.br/~romero/pdf/18\\_ondasII\\_VI.pdf](http://www.fisica.ufpb.br/~romero/pdf/18_ondasII_VI.pdf) >. Acesso em: 21 jan. 2017.

SILVA, P, A. Amplificadores a Transistor. **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina**, 2013. Disponível em: <<http://app.cear.ufpb.br/~asergio/Eletronica/Transistor/Amplificador%20com%20transistor2.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2017

SILVEIRA, C, B. Sensor: você sabe o que é e quais os tipos? **Citisystems**, 2016. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/sensor-voce-sabe-que-quais-tipos/>>. Acesso em: 26 fev. 2017.

TEXAS INSTRUMENTS, **TPA1517NE Audio Power Amplifier Evaluation Module DATA MANUAL SLOU007**, Julho, 1997.