

UNIVERSIDADE SÃO JUDAS TADEU
Centro de Pesquisa
Regime de Iniciação Científica

Jones Clemente Camilo

Análise Comparativa das Distorções Harmônicas em
Amplificadores Valvulados e Transistorizados para
Áudio

São Paulo, 2003.

UNIVERSIDADE SÃO JUDAS TADEU
Centro de Pesquisa
Regime de Iniciação Científica

Jones Clemente Camilo

**Análise Comparativa das Distorções Harmônicas em
Amplificadores Valvulados e Transistorizados para
Áudio**

*Projeto de pesquisa apresentado ao
Regime de Iniciação Científica do
Centro de Pesquisa da Universidade
São Judas Tadeu como requisito
parcial das Atividades de Pesquisa*

*Orientador: Prof. Dr. Ângelo Eduardo
Battistini*

São Paulo, 2003.

Sumário

1. Introdução.....	01
1.1. Justificativa	03
2. Fundamentação Teórica	04
2.1. Hipótese	07
2.1.1. Objetivo Geral	07
2.1.2. Objetivo Específico	08
3. Método	10
3.1. Amostragem	10
3.2. Materiais	10
3.3. Procedimentos	11
4. Plano de Análise de Dados.....	13
5. Cronograma	14
6. Referencias Bibliográfica	15

Lista de Ilustrações

Figura 1.1.· Ligada entre as caixas acústicas e o microfone está o amplificador...	02
Figura 2.1.· Fluxograma	08
Figura 2.2.· Sistema no domínio do Tempo.....	08
Figura 3.1.· Montagem do experimento.....	11
Tabela 5.1. · Cronograma.....	14

1. Introdução

Tudo começou com a criação da válvula diodo em 1904, por Fleming (1849-1945), e anos depois, o seu aperfeiçoamento, a válvula triodo em 1907, por Forest (1873-1961).

Esses dispositivos eletrônicos, assim chamados, possibilitaram a construção de diversos aparelhos como rádio, televisão, computadores, entre outros. Com o alto consumo dos aparelhos eletrônico, foram criados mais de vinte mil tipos de válvulas, cada uma dedicada a um tipo de aplicação.

A decadência da válvula veio décadas depois com a descoberta dos semicondutores e deixou de ser utilizada anos depois. Seu sucessor, o transistor, passou a substituí-la em todos os seguimentos da indústria eletroeletrônica. Antes, os amplificadores eram projetados a válvulas. Com a tecnologia do semicondutor, desenvolveram amplificadores transistorizados (os quais seriam melhores, devido ao menor tamanho e menor consumo de energia).

Os amplificadores referidos neste trabalho são aqueles utilizados por músicos para conectarem seus instrumentos musicais, como: guitarras, baixos, violões ou microfones.

Esses equipamentos têm a finalidade, como o próprio nome já diz, amplificar som. Uma pessoa gritando num estádio de futebol lotado, anunciando o início de um espetáculo, dificilmente será ouvida. Porém, se a mesma pessoa falando ao microfone e este ligado a diversas caixas acústicas, certamente irão escutá-la.

Ligado entre as caixas acústicas e o microfone está o amplificador, como na Figura 1.1.

Na década de 70 surgiu um senso comum entre os músicos pregando a cultura do Amplificador Valvulado ser melhor que o Transistorizado.

O Trabalho a seguir tem o intuito de desmitificar a diferença entre eles e comparar, do ponto de vista técnico, o desempenho dos dois amplificadores.

Este trabalho será constituído em cinco fases:

- Primeira fase: estudo teórico;
- Segunda fase: projetar experimentos;
- Terceira fase: realizar experimentos;
- Quarta fase: determinar os modelos matemáticos para os Amplificadores Valvulados e Transistorizados;
- Quinta fase: Análises e Escrita.

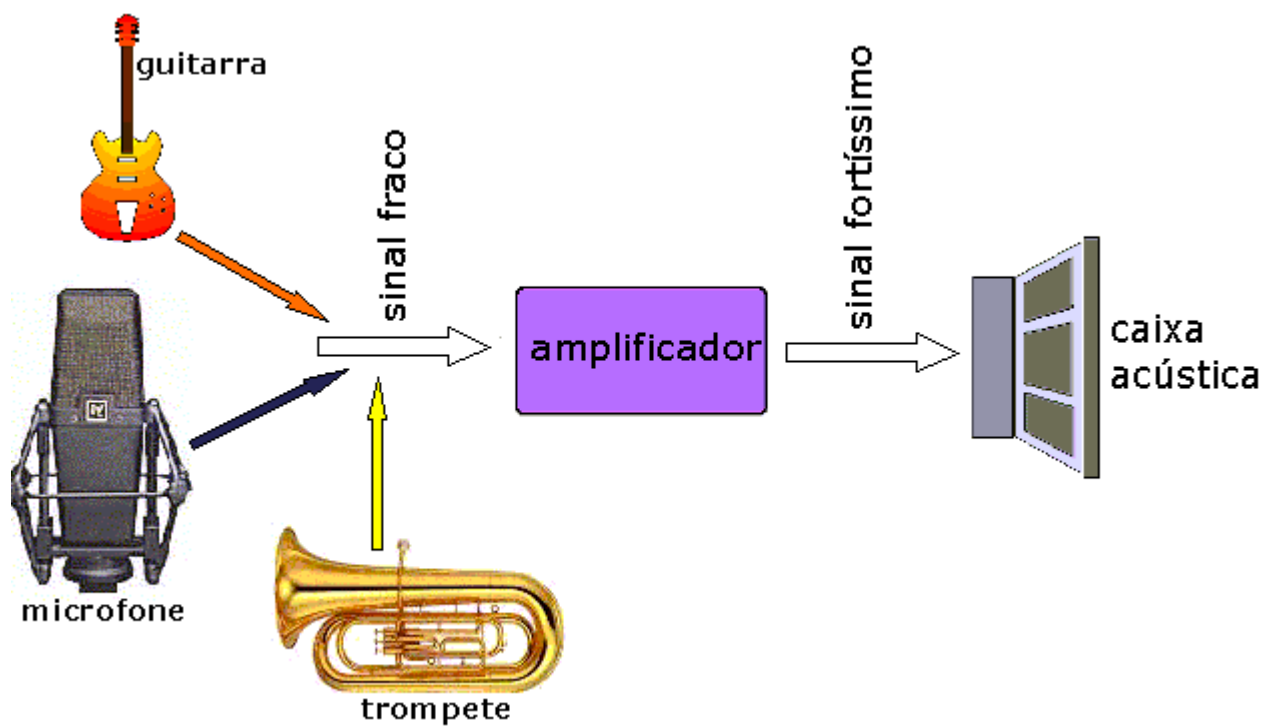


Figura 1.1.

1.1. Justificativa

Atualmente, nos cursos de eletrônica não são mais abordados assuntos envolvendo válvulas, sendo assim muitas das aplicações que ainda utilizam esse dispositivo foram esquecidas.

Por gostar de áudio e saber que a válvula é muito utilizada nos amplificadores de instrumentos musicais, realizo essa pesquisa com o intuito de contribuir com o material já existente sobre áudio. Desta forma, mostrar que a válvula ainda é um dispositivo atual, e assim incentivar pessoas interessadas em eletrônica estudar esse dispositivo.

2. Fundamentação Teórica

A primeira fase dessa pesquisa é o aprofundamento teórico tendo como principal bibliografia o livro “Introdução à Física e Psicofísica da Música”, (Roederer, 1998). Este livro conta com detalhes o funcionamento do ouvido, e como são interpretados os sons e demonstra como são realizadas as combinações das ondas sonoras e as influências dos harmônicos na composição do som. Na internet encontram-se diversos “sites” e bibliografias mantidas por instituições dedicadas no estudo da fisiologia da audição que podem ser pesquisadas como um complemento ao livro do Roederer, como o “site” “Clube do Áudio” (2003).

O estudo sobre a interpretação dos sons demonstra que existem diversos fatores que influenciam diretamente na preferência das pessoas por um determinado som. O livro “O Som e o Sentido, uma outra história das músicas”, (Wisnik, 1987), conta a história da música em diversos períodos da evolução do homem, sua maior ênfase dá-se na cultura dos povos e a necessidade de se expressar através da música produzindo diferentes sons em busca de Deus, paz interior, felicidade, tranquilidade e tudo que pudesse trazer conforto ao espírito. Neste livro, o leitor viaja pelo Mundo analisando a música por outros pontos de vista e experimenta um pouco do gosto eclético. O CD que acompanha o livro é um complemento que demonstra resultados palpáveis sobre a combinação dos sons e facilita o seu entendimento.

Livros de eletrônica publicados nas décadas de 70 e 80 como “Dispositivos Eletrônicos”, (Zuffo, 1973), e “Manual do Engenheiro Eletrônico”, (Turner, 1982), serão utilizados para entender melhor a válvula elétrica. Estes livros mostram exemplos de funcionamento das válvulas e diversas aplicações que as mesmas podem ser utilizadas. Os autores se dedicaram em apresentar uma explicação física e através de gráficos demonstram casos

particulares de funcionamento desses dispositivos, facilitando a compreensão e ajudando os projetistas a especificar pontos de trabalhos para os circuitos que possuirão válvulas elétricas.

O livro “Microeletrônica”, (Sedra e Smith, 2000), muito utilizado nos cursos de graduação em engenharia elétrica, descreve com profundidade o funcionamento do transistor. Numa linguagem mais atual, os autores disponibilizam um grande conteúdo no estudo de eletrônica. Este livro demonstra o comportamento de diversos dispositivos eletrônicos e explica a construção de cada um desses, como: Amplificador Operacional, Diodo, Transistor Bipolar e Transistor de Efeito de Campo. Através de “software” de simulação, são colocados exercícios para melhorar o aproveitamento do leitor a fim de mostrar o funcionamento desses dispositivos de forma virtual.

“Sites” criados por musicólogos especialistas em amplificadores, acústica, até mesmo sobre a válvula contém muitas informações sobre o estudo das ondas sonoras e a melhor forma de utilizá-las. Nos “sites” “Tubeamps” (2003) e “Audio Pieces” (2003), falam muito sobre amplificadores valvulados e fazem alguns comentários sobre sua construção e suas peculiaridades. A “Tubeamps”, em especial, é um fabricante de amplificadores valvulados por encomenda. Este faz algumas comparações entre amplificadores valvulados e transistorizados e até sugere adaptações nos amplificadores transistorizados dos músicos para inclusão de válvulas de forma a melhorar o desempenho do circuito de potência e também melhorar a qualidade do som. A “Audio Pieces” faz comentários sobre um circuito valvulado o qual teria o timbre mais atraente para os especialistas em áudio.

Na “internet” existem vários “sites” com informações bastante úteis para qualquer área de pesquisa, onde é possível encontrar pessoas que disponibilizam um pouco do seu tempo para tirar dúvidas e passar conhecimentos e sugestões sobre um determinado assunto. No caso do áudio, o site “Audio List” (2003), tem uma sessão dedicada para a ajudar nas dúvidas sobre

equipamentos de som de todos os gêneros. Neste mesmo site encontram-se diversos “links” que levam o internauta a diferentes sites contendo mais informações sobre áudio.

Coloco aqui outros sites importantes para essa pesquisa que complementam as bibliografias já existentes. Os sites “Mecânica Ondulatória” (2003), e o “Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Astrofísica” (2003), contém informações sobre ondulatória, propagação das ondas sonoras e como as mesmas são criadas. Estes dão uma visão geral sobre os instrumentos musicais, fazendo uma análise dos sons, falam sobre intervalos, harmonia, entre outros. Assim, ajudam a entender com outros exemplos muitos pontos que o Roederer expõe no seu livro.

Como cultura sobre válvulas, existe um “site” muito interessante “O’Neill’s Electronic Museum” (2003). Este “site” mostra a evolução das válvulas, e com fotos, mostra diversas aplicações existentes e a diversidade de válvulas criadas. Existe uma sessão que conta um pouco das pessoas que influenciaram no desenvolvimento das válvulas.

Uma publicação recente realizada pela revista “Áudio Música & Tecnologia” foi o tema “Amplificadores de Potência – Parâmetros Principais”, (Sólon, 2003), mostra uma simulação computadorizada, onde graficamente demonstra a performance da válvula e do transistor, e coloca a importância da qualidade dos amplificadores de potência utilizados em sistema de áudio.

Em 1972 um estudo foi publicado na 43^a Convenção da “Áudio Engineering Society, New York” com o tema de “Válvulas versus transistores – Há diferença audível?”, (Russell, 1972). Neste trabalho foi apresentada uma comparação entre válvulas e transistores. Russell demonstrou através de gráficos o comportamento de cada um desses dispositivos e sobrepôs todos os seus resultados e com indicações fez algumas comparações, onde foi dado o enfoque na amplificação dos harmônicos. Nesta publicação comprovou-se que existe uma grande diferença

na amplificação dos sons e que o mesmo sinal reproduzido por uma válvula, é diferente quando reproduzido por um transistor.

2.1. Hipótese

Baseado principalmente na publicação de Russell, 1972, e com a ajuda do Roederer, 1998, a hipótese é dos amplificadores valvulados realmente ter um som mais atrativo que os amplificadores transistorizados comercializados atualmente. Esta afirmação enfoca apenas a comparação com os amplificadores fabricados com transistor bipolar, que são os mais utilizados em amplificadores de áudio. Já existem estudos com dispositivos semicondutores que conseguem simular o som reproduzido pela válvula elétrica, chegando bem próximo do real, mas não será abordado nessa pesquisa.

2.1.1. Objetivo Geral

Os sons que chegam aos nossos ouvidos percorrem um grande trajeto, e muitos deles passam por diversos lugares diferentes. Este trabalho estará se aprofundando nos sons que saem de instrumentos musicais, como: guitarra, violino, voz, bombardino, etc. Estes sons percorrem um grande caminho mostrado resumidamente em forma de fluxograma, Figura 2.1.

Observe que um desses blocos é um amplificador de som, objeto analisado neste trabalho.

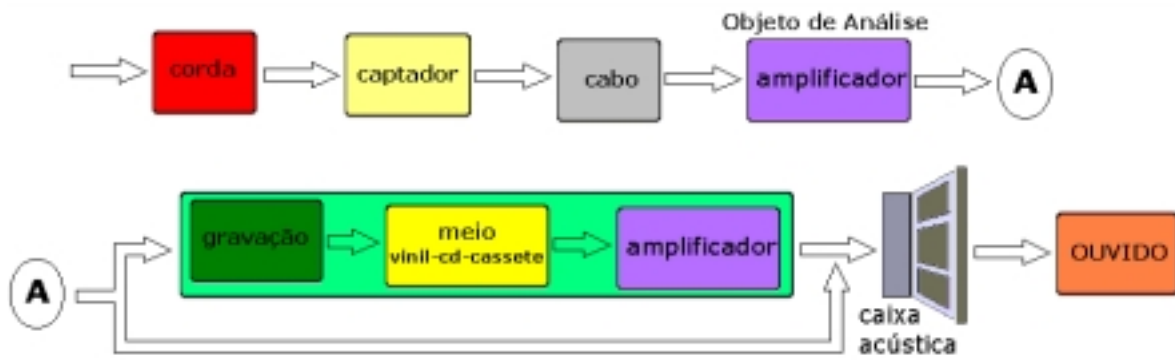


Figura 2.1.

O objetivo desse trabalho é analisar os amplificadores valvulados e transistorizados no ponto vista matemático.

2.1.2. Objetivo Específico

Serão fixados todos os outros parâmetros deste sistema de forma a não prejudicar os resultados dos experimentos e trazer para este trabalho um resultado mais próximo do real. Sendo assim, a única variável neste sistema será o amplificador de som. A figura 2.2. mostra um sistema o qual representa uma síntese do fluxograma citado acima.

Através do sistema abaixo, com a ajuda de ferramentas computacionais, será obtida a função de transferência (equação que representará o amplificador de forma matemática). O estudo do comportamento do amplificador será através desta equação matemática.

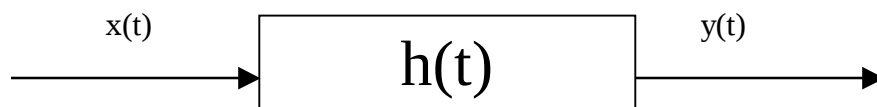


Figura 2.2.

Onde, a representação desse sistema seria, no domínio do tempo, $y(t)=x(t)*h(t)$.

$x(t)$, entrada no domínio do tempo (sinal de entrada);

$h(t)$, é a função do sistema no domínio do tempo (amplificador de som);

$y(t)$, é a saída no domínio do tempo (sinal de saída).

A função de transferência desse sistema é $\frac{y(t)}{x(t)} = h(t)$.

3. Método

3.1. Amostragem

As amostras serão as notas musicais, exemplo: Nota Lá, 440Hz. No laboratório será utilizado um Gerador de Áudio, e o mesmo produzirá os estímulos na entrada do sistema.

As coletas serão realizadas através de programas computacionais especializados em cálculos e modelamentos matemáticos.

3.2. Materiais

Os equipamentos que serão utilizados, com exceção dos amplificadores de som, estão disponíveis nos laboratórios integrados da Universidade São Judas Tadeu.

Os materiais, como cabos e ferramentas, quando não encontrados nos laboratórios, são de fácil aquisição e encontrados em lojas de equipamentos eletrônicos.

Abaixo segue a listagem dos dispositivos para os experimentos:

- Multímetro: equipamento para medições de grandezas elétricas;
- Osciloscópio: equipamento para medições de sinais de tensões;
- Gerador de Áudio: equipamento que gera sinais de áudio conforme a necessidade do experimento;
- Amplificadores de Som: objeto de análise deste trabalho;
- Alicates, Chaves de Fendas, Chaves Philips e Cabos: materiais utilizados para estabelecer conexão entre os dispositivos de análise e os objetos a serem analisados;
- Analisador de Espectros: equipamento que ajuda na análise de sinais, é responsável pela coleta dos dados e registro, mostrando as harmônicas do sinal e suas amplitudes.

- Calculadora, computadores e “softwares”: podemos chamar de conjunto de ferramentas virtuais para análise das amostras e tem grande participação na quarta fase, modelagem. Dois programas fundamentais para a análise de sinais, que são:
- Matlab: programa que ajuda a obter soluções matemáticas para diversos tipos de sistemas.
- Labview: uma linguagem de programação que possui várias funções prontas para serem utilizadas e de fácil configuração. Por exemplo: existe uma função com propriedades de um Analisador de Espectros, dessa forma, conseguiríamos utilizar as propriedades de um Analisador de Espectros virtualmente.

3.3. Procedimentos

Abaixo segue um descritivo, resumido, dos procedimentos de como realizar os experimentos. Entretanto, no decorrer do trabalho, poderá haver alterações para melhorar o processo de coleta das amostras:

- Ter em mãos os parâmetros para os ajustes dos equipamentos (parâmetros obtidos através de estudos teóricos);
- Verificar o funcionamento de todos os equipamentos envolvidos na experiência;
- Realizar a montagem do experimento segundo a indicação abaixo:



Figura 3.1.

O gerador de áudio irá estimular a entrada do amplificador com diversas frequências baseadas em notas musicais (ex: nota Lá, 440Hz).

O analisador de espectros é colocado na saída do amplificador para coletar as informações de saída.

Os parâmetros para ajuste de todos os equipamentos envolvidos nos testes serão obtidos através de estudos teóricos.

Todas as informações obtidas serão gravadas no computador e analisadas através de ferramentas virtuais.

4. Plano de Análise de Dados

Através da teoria de análise de sistemas de controle e com ajuda das ferramentas virtuais, serão obtidas as funções de transferência de cada amplificador.

A função de transferência permite um estudo preciso e prever as reações do sistema analisado. Tendo a função de transferência em mãos, não precisaremos necessariamente realizar outras experiências em bancada, mas simular através do computador. Visto que o sistema estará resumido em uma equação matemática e atribuindo um valor de entrada para esse sistema, a equação me mostrará um valor correspondente a entrada que eu coloquei.

Para cada amplificador será obtida a função de transferência, e será analisado individualmente. Após o estudo de cada amplificador, serão sobrepostos os resultados e com a ajuda da psicoacústica, a fisiologia da audição e análise de ondas sonoras, teremos ferramentas para comparar as diferenças entre os amplificadores de som.

5. Cronograma

Atividades	Datas e Prazos														
	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
	2003	2003	2003	2003	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004
Estudo teórico	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
Projetar experimentos				X	X	X									
Realizar experimentos						X	X	X	X						
Determinar modelos								X	X	X					
Analise										X	X				
Escrita											X	X	X		
Revisão													X	X	
Entrega															X

Tabela 5.1.

6. Referencias Bibliográfica

AUDIO LIST. Lista de discussão sobre áudio. Disponível em: <<http://planeta.terra.com.br/educacao/audiolist/>>. Acesso em: 14 set. 2003.

AUDIO PIECES. Amplificadores a Válvula “Single Ended”, Publicado na Revista Clube do Áudio, 1999. Disponível em: <<http://usuarios.uninet.com.br/~edelima/CASEA1.htm>>. Acesso em: 14 set. 2003.

CLUBE DO AUDIO. Fisiologia da Audição: Revisão e Considerações. Disponível em: <<http://www.clubedoaudio.com.br>>. Acesso em: 14 set. 2003.

HAMM, Russell O. Tubes Versus Transistors – Is There an Audible Difference? *AES, New York*, 1972. 43ª Convenção da “Audio Engineering Society”.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE) – DIVISÃO DE ASTROFÍSICA. A Física da Música. Disponível em: <<http://greenfield.fortunecity.com/hawks/235/ciencias/fisica/musica/fisicadamusica.htm>>. Acesso em: 14 set. 2003.

MECÂNICA ONDULATÓRIA. Curso de Mecânica Ondulatória via Internet. Disponível em: <<http://www.cdcc.sc.usp.br/ondulatoria/apresent.html>>. Acesso em: 14 set. 2003.

O’NEILL’S ELECTRONIC MUSEUM. Vacuum Tube (Electron Valve) Museum. Disponível em: <<http://www.oneillselectronicmuseum.com/>>. Acesso em: 14 set. 2003.

ROEDERER, Juan G. *Introdução à Física e Psicofísica da Música*. 1 ed. Tradução: CUNHA, Alberto Luis da. São Paulo: Edusp, 1998.

SEDRA, Adel S.; SMITH, Kenneth. *Microeletrônica*. 4 ed. Tradução: SEABRA, Antônio; NETTO, Márcio; GOMES, Sebastião; NOIJE, Wilhelmus. São Paulo: Makron Books, 2000.

TUBEAMPS. Fabricante de amplificadores valvulados por encomenda. Disponível em: <<<http://www.tubeamps.com.br>>>. Acesso em: 14 set. 2003.

TURNER, L. W. *Manual do Engenheiro Eletrônico*. Volume 2. São Paulo: Hemus, 1982.

VALLE, Sólton do. Amplificadores de Potência – Parâmetros Principais. *Áudio Música & Tecnologia*, São Paulo, 2003.

WISNIK, José Miguel; *O Som e o Sentido, uma outra história das músicas*. 1 ed. São Paulo: Companhia das Letras, 1987.

ZUFFO, João Antônio. *Dispositivos Eletrônicos: física e modelamento*. 2 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 197