

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR EM
TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**

MARCOS VINÍCIUS CARRER

**SIMULAÇÃO E CONSTRUÇÃO DE UM PRÉ-AMPLIFICADOR
VALVULADO E UM TRANSISTORIZADO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**MEDIANEIRA
2016**

MARCOS VINÍCIUS CARRER

**SIMULAÇÃO E CONSTRUÇÃO DE UM PRÉ-AMPLIFICADOR
VALVULADO E UM TRANSISTORIZADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Manutenção Industrial do curso de Tecnologia em Manutenção Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Me Filipe Marangoni
Coorientador: Prof. Me Alex Lemes Guedes

**MEDIANEIRA
2016**



TERMO DE APROVAÇÃO

SIMULAÇÃO E CONSTRUÇÃO DE UM PRÉ-AMPLIFICADOR VALVULADO E UM TRANSISTORIZADO

Por:
Marcos Vinícius Carrer

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 16:00 h do dia 2 de dezembro de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo no Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Medianeira. O acadêmico foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Me. Filipe Marangoni
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Orientador)

Prof. Me. Alex Lemes Guedes
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Coorientador)

Prof. Me. Alexandre Victor Casella
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Convidado)

Prof. Dr. Marcos Fischborn
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Convidado)

Prof. Me. Paulo Job Brenneisen
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Responsável pelas atividades de TCC)

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na coordenação do Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial.

RESUMO

CARRER, Marcos Vinícius. **Simulação e construção de um pré-amplificador valvulado e um transistorizado**. 2016. 41 f Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Manutenção Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2016.

Desde seu surgimento, amplificadores valvulados sempre encantaram seus usuários através de seu fantástico timbre característico, mas ao passar dos anos, ocorreu a implantação do transistor, dispositivo mais acessível que invadiu as linhas de produção de equipamentos amplificadores. O ponto negativo dos amplificadores valvulados encontra-se em seu elevado valor comercial, o que os torna inacessível ao grande público. Inicialmente foi necessário identificar dois circuitos similares onde apenas o seu elemento amplificador (válvula ou transistor) fosse diferente. Foram realizadas simulações do pré-amplificador valvulado e do transistorizado, a fim de se conhecer todas as etapas de funcionamento do circuito e suas características. Na sequência foi desenvolvido o layout somente do circuito transistorizado para a confecção da placa, pois o circuito valvulado foi ligado ponto a ponto. Após a construção dos protótipos de ambos pré-amplificadores foram realizados testes no laboratório. Não foram encontradas grandes dificuldades durante a realização do trabalho, os protótipos construídos apresentaram as características esperadas de acordo com os resultados das simulações.

Palavras-chave: Circuito pré-amplificador. Válvula. Transistor.

ABSTRACT

CARRER, Marcos Vinícius. **Simulation and construction of preamplifiers by using a vacuum tube and a transistor**. 2016. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Manutenção Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2016.

Since its inception, tube amplifiers always delighted their users through its fantastic characteristic tone, but some years later, occurred the introduction of the transistor, a more accessible device that invaded the production lines of amplifiers factories around the world. The negative point of the tube amplifiers lies in their high commercial value, which becomes inaccessible to the general public. Initially it was necessary to identify two similar circuits where their amplifier element (tube or transistor) were different. Simulations of the tube's and transistor's pre-amplifiers were performed in order to know all the stages of circuit operation and their characteristics. After that, the transistor circuit layout was developed, the tube circuit was assembled point to point. After the prototypes construction of both preamplifiers, tests were performed in the laboratory. No major problems were encountered during the work performed, the prototypes showed the expected characteristics according to the simulations results.

Keywords: Preamplifiers circuits. Vacuum tube. Transistor.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA VÁLVULA DIODO (A), E SÍMBOLO DO TRIODO (B)	11
FIGURA 2 – ELEMENTOS QUE COMPÕEM AS VÁLVULAS DIODO E TRIODO ...	12
FIGURA 3 – VÁLVULA MAGNETRON UTILIZADA NO APARELHO DE MICROONDAS.....	13
FIGURA 4 – MORGAN SPARKS SEGURANDO UM PROTÓTIPO DO PRIMEIRO TRANSISTOR	14
FIGURA 5 – SÍMBOLO DO TBJ (A) E CAMADAS N E P DO TRANSISTOR (B).....	15
FIGURA 6 – SÍMBOLO E LIGAÇÃO DO JFET (A), E CAMADAS N E P DO TRANSISTOR (B)	15
FIGURA 7 - AMPLIFICADOR VALVULADO DE ÁUDIO	16
FIGURA 8 - VISTAS FRONTAL E TRASEIRA DE UM AMPLIFICADOR VALVULADO PARA GUITARRA.....	17
FIGURA 9 – FOTO/IMAGEM DO FENDER	17
FIGURA 10 – PRÉ-AMPLIFICADOR MODELO ALEMBIC F-2B.....	18
FIGURA 11 - AMPLIFICADOR CABEÇOTE VALVULADO GIANNINI TREMENDÃO T-3.....	18
FIGURA 12 – LAYOUT DO CIRCUITO VALVULADO ESCOLHIDO	19
FIGURA 13 – LAYOUT DO CIRCUITO TRANSISTORIZADO ESCOLHIDO	19
FIGURA 14 – CIRCUITO SIMULADO COM TRANSISTOR.....	20
FIGURA 15 – FORMAS DE ONDA PARA O CIRCUITO COM JFET NOS PONTOS A E B (A), E A E C (B)	21
FIGURA 16 – FORMAS DE ONDA DE ENTRADA E SAÍDA DO PRÉ-AMPLIFICADOR TRANSISTORIZADO.....	21
FIGURA 17 – CIRCUITO SIMULADO COM A VÁLVULA	22
FIGURA 18 – FORMAS DE ONDA PARA O CIRCUITO COM VÁLVULA NOS PONTOS A E B (A), E A E C (B)	23
FIGURA 19 – FORMAS DE ONDA DE ENTRADA E SAÍDA DO PRÉ-AMPLIFICADOR VALVULADO	23
FIGURA 20 – CIRCUITO DO FILTRO.....	24
FIGURA 21 – RESPOSTA DO FILTRO (A) PASSA-BAIXAS E (B) PASSA-ALTAS .	24
FIGURA 22 – LAYOUT DA PLACA (A), IMAGEM 3D COM VISTA SUPERIOR (A), E VISTA INFERIOR (B)	25
FIGURA 23 – FILME FOTOSSENSÍVEL UTILIZADO PARA MANUFATURA DA PLACA DE CIRCUITO	27
FIGURA 24 – PLACA DE CIRCUITO COM FILME FOTOSSENSÍVEL (A), E PLACA EXPOSTA À LUZ NEGRA (B).....	27
FIGURA 25 – VASILHA COM (A) ÁGUA, (B) SOLUÇÃO BÁSICA, (C) CLORETO FÉRRICO E (D) ÁLCOOL ISOPROPÍLICO.....	28

FIGURA 26 – DESENHO DA PLACA, FOTOLITO E PLACA APÓS A PASSAGEM PELO CLORETO FÉRRICO	28
FIGURA 27 – PRÉ-AMPLIFICADOR TRANSISTORIZADO PRONTO	29
FIGURA 28 – ESQUEMA DE LIGAÇÃO PONTO A PONTO PARA O CIRCUITO VALVULADO.....	29
FIGURA 29 – PACA DO PRÉ-AMPLIFICADOR VALVULADO CONSTRUÍDO	30
FIGURA 30 – PRÉ-AMPLIFICADOR VALVULADO PRONTO.....	31
FIGURA 31 – PRÉ-AMP. TRANSISTORIZADO, (A) MONTADO EM PROTOBOARD, E (B) TESTE COM MÚSICA	32
FIGURA 32 – PRIMEIRO TESTE PARA O PRÉ-AMPLIFICADOR TRANSISTORIZADO	33
FIGURA 33 – IMAGENS PARA A AMPLIFICAÇÃO DO PRIMEIRO JFET ANTES (A) E DEPOIS (B) DO FILTRO.....	33
FIGURA 34 – AMPLIFICAÇÃO NO SEGUNDO JFET (A), E SINAIS DE ENTRADA E SAÍDA DO PRÉ-AMP. (B)	34
FIGURA 35 – SAÍDA DO PRÉ-AMP. COM JFET COM, (A) FILTRO PASSA-BAIXAS E, (B) FILTRO PASSA-ALTAS	34
FIGURA 36 – FONTES CC LIGADAS EM SÉRIE PARA OBTER 132 V DE TENSÃO NA PLACA.....	35
FIGURA 37 – CIRCUITO SIMULADO COM VÁLVULA.....	35
FIGURA 38 – PRIMEIRO TESTE PARA O PRÉ-AMPLIFICADOR VALVULADO	36
FIGURA 39 – CIRCUITO SIMULADO COM TRANSISTOR.....	36
FIGURA 40 – VISTA DA BANCADA PARA OS TESTES DO PREAMP VALVULADO	37
FIGURA 41 – CIRCUITO SIMULADO COM VÁLVULA.....	37

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COMPONENTES PARA O PRÉ-AMP TRANSISTORIZADO	26
TABELA 2 – COMPONENTES PARA O PRÉ-AMP VALVULADO	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 JUSTIFICATIVA.....	9
1.2 OBJETIVOS.....	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 A VÁLVULA	11
2.1.1 Válvula nos Dias Atuais.....	13
2.2 O TRANSISTOR.....	14
2.2.1 Transistor Bipolar de Junção.....	15
2.2.2 Transistor de Efeito de Campo de Junção	15
2.3 EQUIPAMENTOS DE ÁUDIO.....	16
2.4 O MODELO ESCOLHIDO PARA O TCC.....	17
3 SIMULAÇÃO DOS CIRCUITOS	20
3.1 SIMULAÇÃO COM O TRANSISTOR.....	20
3.2 SIMULAÇÃO COM VÁLVULA	22
3.3 FILTRO.....	23
4 CONSTRUÇÃO	25
4.1 LAYOUT DO CIRCUITO COM TRANSISTOR	25
4.1.1 Lista de Componentes para o Pré-Amplificador Transistorizado	26
4.2 CONSTRUÇÃO DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO.....	26
4.2.1 Processo de Corrosão.....	28
4.3 LAYOUT DO CIRCUITO COM VÁLVULA	29
4.3.1 Montagem do Circuito Ponto a Ponto.....	30
4.3.2 Lista de Componentes para o Pré-Amplificador Valvulado	30
4.4 GABINETE PARA O PRÉ-AMPLIFICADOR VALVULADO	31
5 TESTES	32
5.1 TESTES PARA O PREAMP COM TRANSISTOR.....	32
5.2 TESTES PARA O PREAMP COM VÁLVULA.....	35
6 CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

Foi na década de 1950 quando o mundo da música teve a sua mais impactante revolução tecnológica, a eletrificação de guitarras e contrabaixos, e, com ela, surgiram os meios de amplificação do sinal sonoro.

A ideia que deu origem a tal inovação tinha como intenção inicial, apenas amplificar o som dos instrumentos acústicos de corda, mantendo o seu timbre original. Mas, amplificando o som de um instrumento elétrico utilizando amplificadores valvulados, os únicos disponíveis no momento, obteve-se uma variedade tão grande de timbres e possibilidades que tal acontecimento foi equivalente á invenção de novos instrumentos musicais.

O timbre de uma guitarra ou contrabaixo elétrico, combinado a um amplificador valvulado, obtido naquela época, tornou-se um padrão de qualidade e um referencial absoluto, tanto que, mesmo com o advento do transistor e todas as novas tecnologias surgidas durante as décadas posteriores, o timbre que modernos amplificadores transistorizados, softwares de última geração, e novíssimos pedais de efeito tentam emular, é o som quente, cristalino e encorpado que só os velhos amplificadores valvulados são capazes de oferecer.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com qualidade superior aos amplificadores transistorizados, os amplificadores valvulados ainda ocupam o lugar de equipamento dos sonhos de muitos músicos, profissionais e amadores, do mundo inteiro.

Devido ao elevado custo de produção que amplificadores valvulados envolvem sua popularização não foi possível, principalmente após a introdução do transistor, fato que possibilitou á indústria de equipamentos musicais ampliar sua produção e baratear consideravelmente seus produtos.

Embora tal fato tenha contribuído para a democratização do acesso á equipamentos de amplificação, o uso dos cobiçados amplificadores valvulados ficou

restrito a artistas renomados e pessoas com poder aquisitivo compatível com o preço destes equipamentos.

Para proporcionar ao público que não dispõe de recursos financeiros, aos que têm a música como uma atividade recreativa e não procuram por equipamentos de valor excessivo, mas procuram por um equipamento de qualidade, este projeto busca oferecer a estas pessoas um pré-amplificador valvulado, na forma de um pedal de efeito, que pode ser utilizado em conjunto com qualquer amplificador transistorizado. Obviamente que, empregando apenas um pré-amplificador valvulado, o usuário não irá obter um timbre característico de um amplificador totalmente valvulado, mas conseguirá a um preço acessível, aproximar o seu som ao timbre clássico das válvulas.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é realizar a simulação e a construção de dois pré-amplificadores para serem utilizados com instrumentos musicais, um com a utilização da válvula como elemento amplificador e outro com o transistor.

Para ser atingido o objetivo geral do trabalho, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Compreender o funcionamento de circuitos com transistores e válvulas;
- Identificar dois circuitos (um para válvula e um para transistor) que sejam semelhantes;
- Realizar a simulação dos dois circuitos;
- Construir os dois protótipos dos pré-amplificadores;
- Realizar testes e apresentar as formas de onda obtidas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nos capítulos seguintes será feita uma revisão sobre válvulas, transistores e serão apresentados alguns equipamentos musicais que utilizam válvulas.

2.1 A VÁLVULA

A invenção da válvula termiônica aconteceu no final do século 19, segundo Storch (1976) “Thomas A. Edison descobriu, casualmente, em 1883, o fenômeno da emissão incandescente, que levou ao desenvolvimento da válvula eletrônica”. Na emissão de incandescência os movimentos de oscilação dos elétrons ligados debilmente ao núcleo atômico vão aumentando de amplitude, quando recebem calor do exterior, até que se separam da órbita.

Os elétrons que conseguem se separar permanecem ao redor do metal incandescente como uma nuvem de elétrons, comparável ao vapor sobre uma superfície de água fervendo. Ao cessar o aquecimento de metal, todos os elétrons livres são ligados novamente aos átomos. Como são partículas com carga negativa, os elétrons podem ser influenciados por campos elétricos (STORCH, 1976).

As válvulas mais populares são o diodo e o triodo, ambos estão representadas na Figura 1.

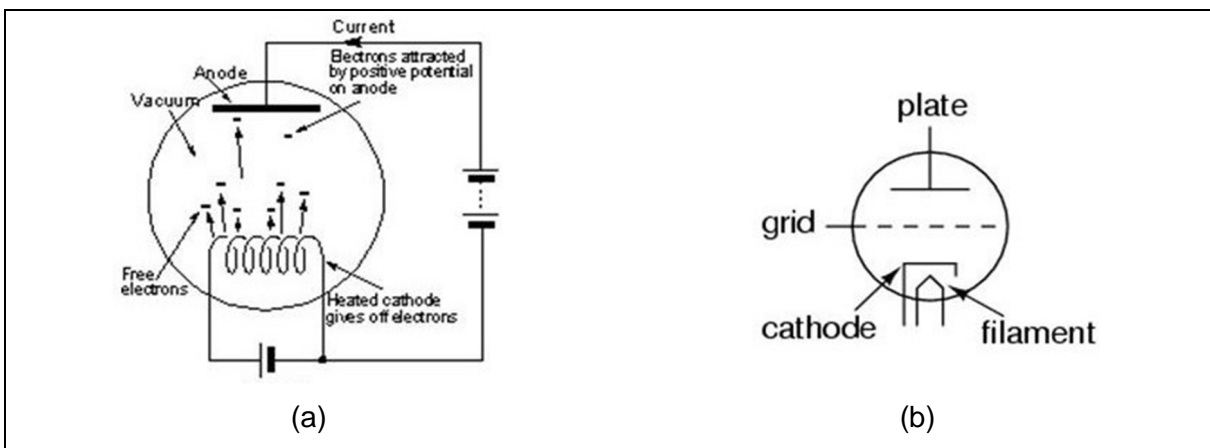


Figura 1 – Princípio de funcionamento da válvula diodo (a), e símbolo do triodo (b)
Fonte: Integrando conhecimento (2016).

A válvula diodo é comumente utilizada para retificação de correntes alternadas, para fins de amplificação, é empregado o uso das válvulas triodo.

De acordo com Goldberger (1944) “Os tríodos possuem, além do catodo e placa, mais um eletrodo, colocado justamente entre esses dois, e que é chamado de grade de controle”. É chamado assim por ser ele quem controla a passagem de elétrons, isto é, a intensidade da corrente entre o catodo e a placa. A grade é uma espiral de arame, montada em volta do catodo, graças a sua posição todos os elétrons emitidos pelo catodo e atraídos pela placa terão de passar através das aberturas existentes entre as suas espiras.

A Figura 2 mostra os elementos internos que compõem as válvulas diodo e triodo, sendo eles o filamento, anodo, catodo e grade (no caso do tríodo).

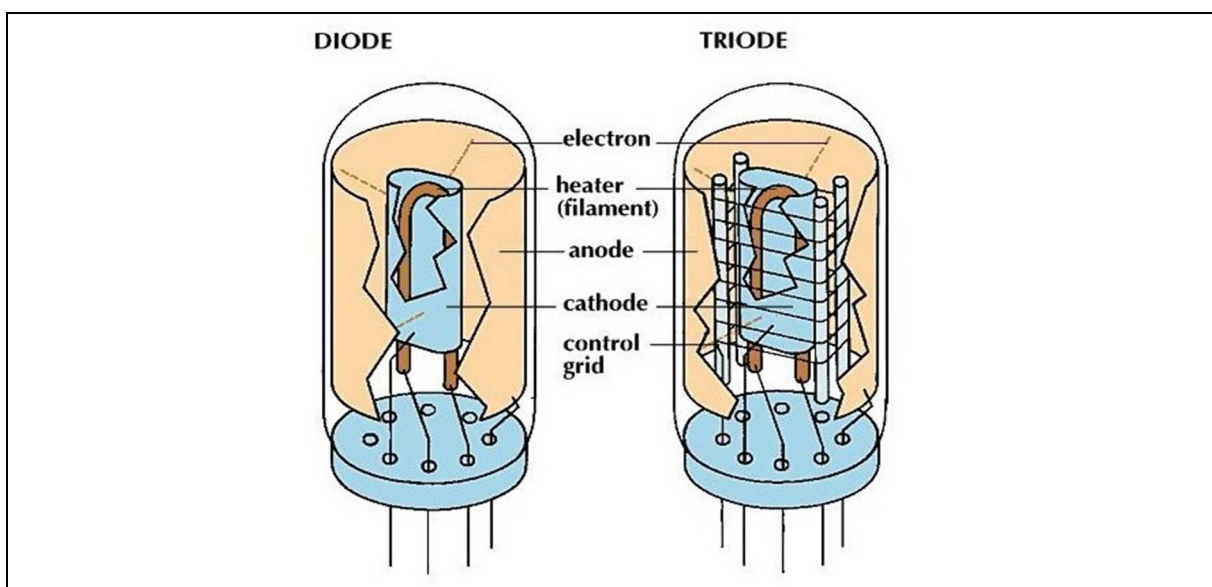


Figura 2 – Elementos que compõem as válvulas diodo e triodo
Fonte: Integrando conhecimento (2016).

Com a aplicação de um potencial negativo na grade, este naturalmente repelirá parte dos elétrons, pois são também negativos. Quanto mais negativa for a grade com relação ao cátodo, maior número de elétrons será repelido. Com adequada polarização, pode-se até impedir completamente a passagem dos elétrons entre o cátodo e a placa. Pelo fato da grade encontrar-se mais próxima do cátodo do que a placa, sua influência será muito maior sobre a passagem dos elétrons e, com pequenas alterações na sua polarização, produzirá grandes variações na intensidade da corrente, dentro da válvula. Esta característica das válvulas tríodos permite o seu emprego como amplificadores.

2.1.1 Válvula nos Dias Atuais

Embora o transistor tenha ocupado o lugar das válvulas em muitas aplicações, ainda existem casos onde as válvulas são imprescindíveis para o funcionamento de alguns sistemas ou equipamentos. Como exemplo pode-se citar os fornos micro-ondas que possuem em seu interior o magnetron, um tipo de válvula utilizado para transformar energia elétrica em ondas eletromagnéticas.

De acordo com Carvalho (2005) dentro do magnetron existe um tubo chamado catodo responsável por emitir elétrons acelerados, o catodo tem uma ligação com dois filamentos que também se ligam externamente com dois terminais do magnetron. Os elétrons acelerados são desviados por causa do campo magnético de dois ímãs permanentes e alcançam o anodo que é uma placa contendo diversas cavidades. Cada cavidade do anodo corresponde a uma bobina e um capacitor numa frequência de 2.450 MHz.

Ainda segundo Carvalho (2005), em cada cavidade aparece um campo elétrico devido ao acúmulo de elétrons, igual à presença de um capacitor. Os elétrons circulando em torno das cavidades são equivalentes a um indutor. Esse dispositivo é um circuito LC que pode ser ajustado para ser um circuito ressonante com frequência definida. Logo o magnetron é análogo a um circuito LC. Na Figura 3 está representada a estrutura de um magnetron.

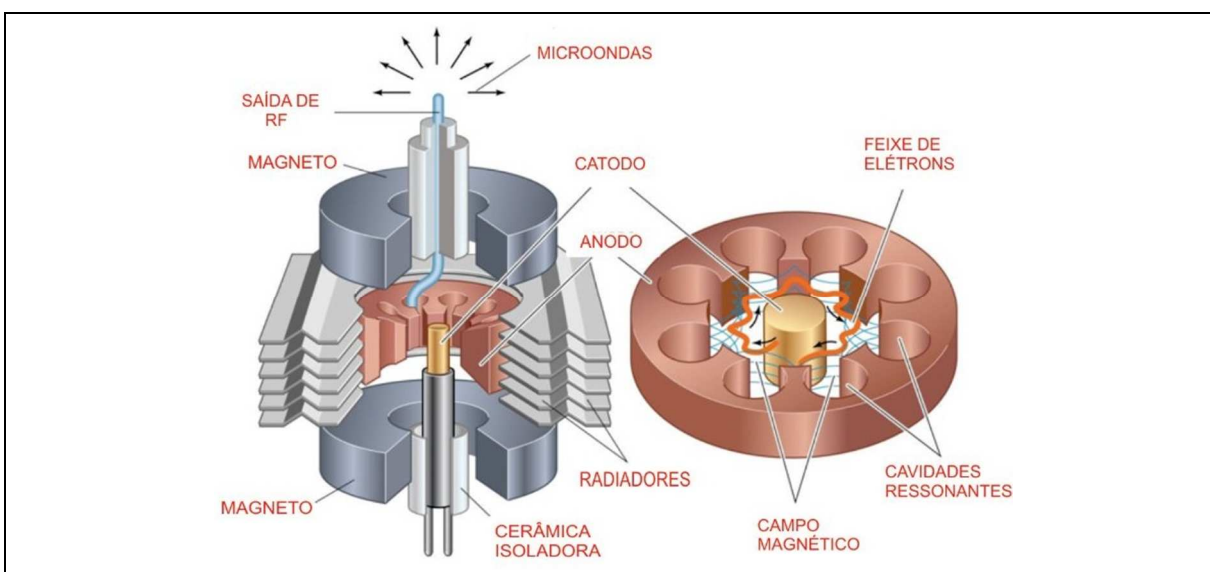


Figura 3 – Válvula magnetron utilizada no aparelho de microondas
Fonte: Mazzucca (2016).

Outra aplicação atual das válvulas está no campo das telecomunicações, servindo como amplificadoras de frequência em radioamadores, estações de rádio e televisão, as válvulas também são utilizadas em equipamentos bélicos, pelo fato de sua imunidade a um EMP (Eletro-Magnetic Pulse).

2.2 O TRANSISTOR

O transistor foi responsável por um grande salto tecnológico na indústria eletrônica, desenvolvido no ano de 1947 pelos cientistas William Schokley, Walter H. Brattain e John Bardeen. A Figura 4 mostra o primeiro transistor.

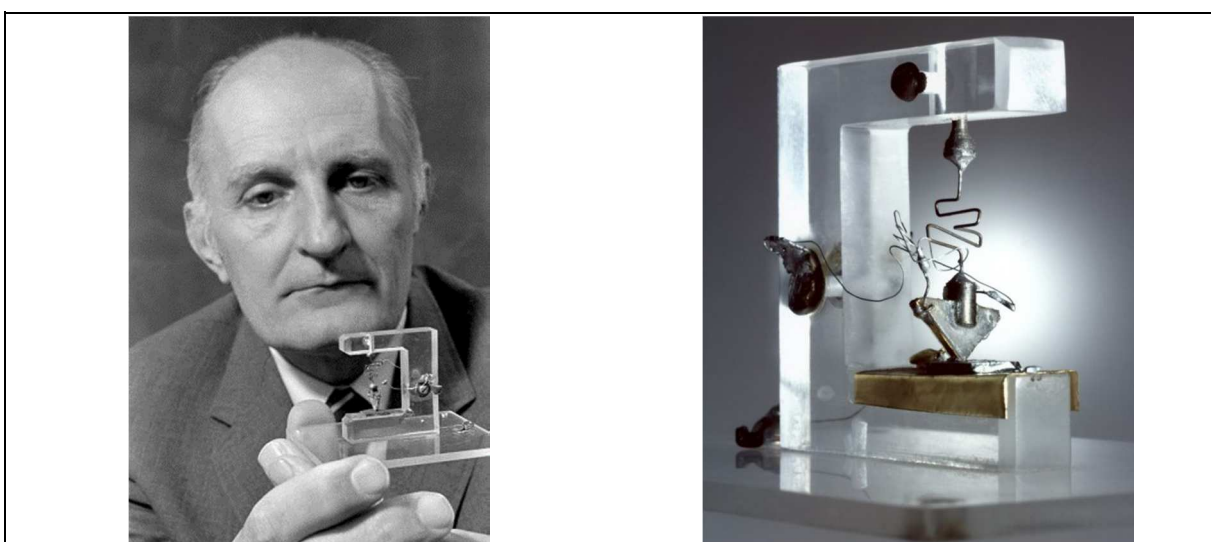


Figura 4 – Morgan Sparks segurando um protótipo do primeiro transistor
Fonte: SACCO (2014)

Segundo Boylestad (2013):

As vantagens desse dispositivo de estado sólido e três terminais em relação à válvula eram óbvias: menor e mais leve, não necessitava de aquecimento nem apresentava perda por aquecimento; tinha uma estrutura mais robusta e era mais eficiente porque absorvia menos potência; estava pronto para uso sem necessidade de um período de aquecimento; e funcionava com tensões de operação mais baixas.

De acordo com Anzenhofer (1980):

“O transistor é um elemento amplificador para fins eletrônicos, onde um cristal de germânio é o elemento básico. O deslocamento dos portadores de carga não é feito no vácuo, como no caso das válvulas eletrônicas, mas sim num semicondutor. Os transistores não podem, por isto, ser comandados sem potência.”.

2.2.1 Transistor Bipolar de Junção

A respeito da estrutura do Transistor Bipolar de Junção (TBJ), Anzenhofer (1980) afirma que o TBJ se compõe de 3 camadas semicondutoras, que podem ser pnp ou npn. O funcionamento é igual em ambos os casos, sendo invertida apenas a polaridade da fonte de alimentação. A parte central é chamada de base (B), e as extremidades de emissor (E) e coletor (C), como observado na Figura 5.

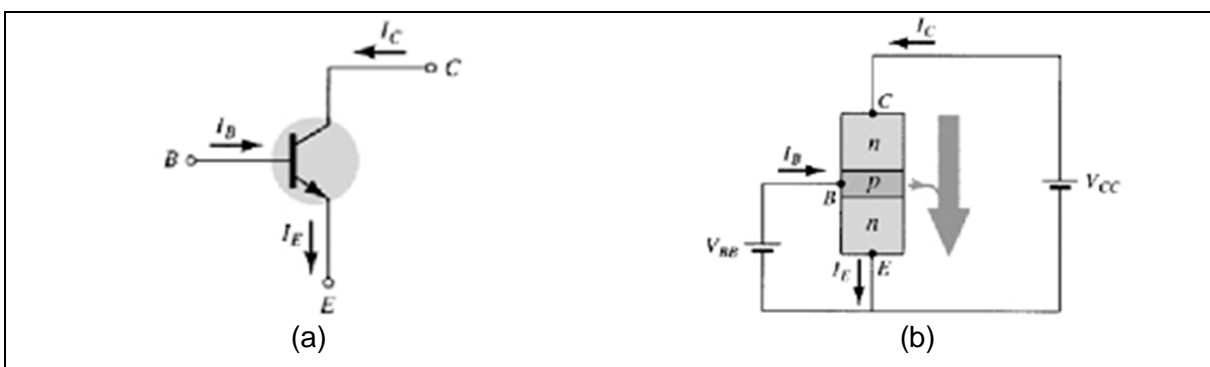


Figura 5 – Símbolo do TBJ (a) e camadas n e p do transistor (b)
Fonte: Boylestad (2013).

2.2.2 Transistor de Efeito de Campo de Junção

De acordo com Boylestad (2013), no Transistor de Efeito de Campo de Junção (JFET) a tensão aplicada entre a porta (G) e a fonte (S) controla a abertura ou fechamento do canal n , observado na Figura 6(b), e desta forma é possível realizar o controle da corrente que circula entre o dreno e a fonte.

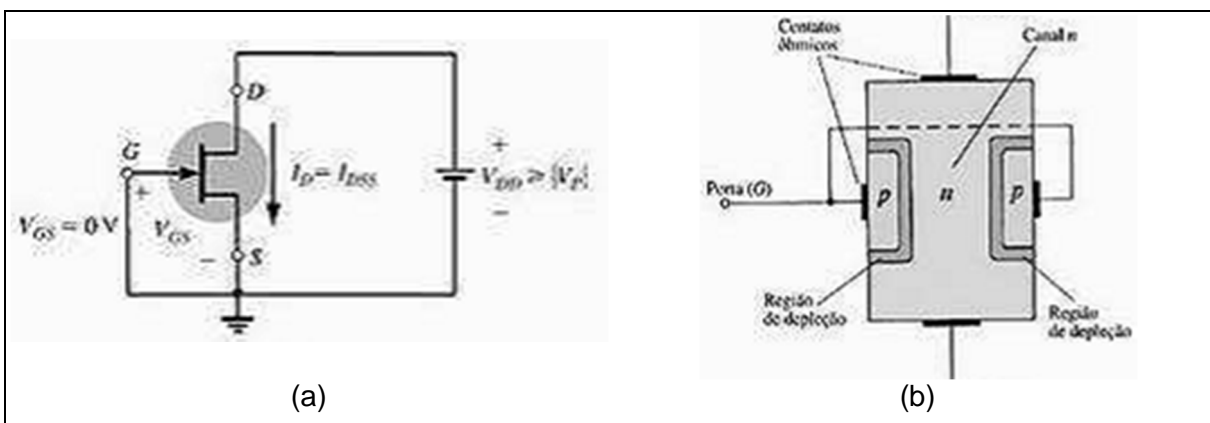


Figura 6 – Símbolo e ligação do JFET (a), e camadas n e p do transistor (b)
Fonte: Boylestad (2013).

2.3 EQUIPAMENTOS DE ÁUDIO

Atualmente o ramo dos equipamentos de áudio vive uma onda de nostalgia a respeito de aparelhos valvulados. Certa onda se dá por alguns motivos, esteticamente falando, estes aparelhos oferecem um forte apelo visual, sendo itens que possuem em sua maioria um design “retrô”, tornando-se belos artigos decorativos, conforme mostra o exemplo da Figura 7.



Figura 7 - Amplificador valvulado de áudio
Fonte: AUDIO NOTE KITS (2016).

Os audiófilos e músicos cultuam estes aparelhos valvulados devido à sua qualidade superior aos equipamentos transistorizados. De acordo com Dencker (2016) “os transistores saturam-se com extrema facilidade e é exatamente por isso que é difícil projetar um amplificador *solid state* com som limpo, sem distorções”.

Devido à diferença entre as características de seus componentes ativos é que amplificadores valvulados soam melhores do que seus descendentes transistorizados. Ainda segundo Dencker:

“Os transistores, assim como as válvulas, geram frequências inexistentes no som original (som da guitarra), além de achatar demasiadamente os picos da forma de onda. Essas frequências sempre são harmônicos de cada frequência original e é aí que reside a principal diferença sonora. Os transistores geram harmônicos de todas as ordens e as válvulas geram, apenas, os harmônicos pares. O resultado é uma distorção clara e firme nos amplificadores valvulados e uma distorção “suja” com graves e médios-graves “occos” nos *solid state*. Num acorde distorcido nos valvulados notam-se todas as notas; é possível dedilhar deliciosamente e emendar um solo arrasador seguido de uma palhetada delirante nos bordões.”.

Na Figura 8 pode ser observado um exemplo de amplificador valvulado para guitarra comercializado atualmente.



Figura 8 - Vistas frontal e traseira de um amplificador valvulado para guitarra
 Fonte: BOOGIESTAN (2016).

2.4 O MODELO ESCOLHIDO PARA O TCC

Na década de 1950 a empresa americana Fender desenvolveu o amplificador Fender Twin Reverb. O timbre do canal limpo (sem distorção) deste modelo é uma referência de qualidade e tornou-se um padrão que foi muito copiado por diversos fabricantes ao longo dos anos.

Devido ao sucesso obtido com o Twin Reverb a Fender produziu reedições deste modelo fabricadas até os dias de hoje, sendo que o modelo reedição de 1965 fabricado atualmente custa em torno de U\$ 1500 dólares, enquanto que o exemplar mostrado na Figura 9, fabricado na década de 1960, foi encontrado a venda no Ebay por cerca de U\$ 2500 dólares.



Figura 9 – foto/imagem do Fender
 Fonte: EBAY (2016).

Outra empresa americana bastante conhecida por introduzir no mercado muitas inovações tecnológicas na área de instrumentos musicais e amplificação oferecendo produtos de qualidade superior é a empresa Alembic.

Esta empresa tem o foco de sua produção ligeiramente voltado para o contrabaixo elétrico, e, aproveitando a fama de “padrão de qualidade em som limpo” conquistada pelos amplificadores Fender, a Alembic desenvolveu o Alembic F-2B, um pré-amplificador externo que utiliza como base o circuito da seção pré-amplificadora do Fender Twin Reverb. Nele foi feito o agrupamento de dois pré-amplificadores em uma unidade e realizadas melhorias no circuito. Um exemplar deste pré-amplificador foi encontrado no Ebay pelo preço de U\$ 900.00 dólares.

Na Figura 10 pode ser observado o Alembic F-2B, que consiste apenas no pré-amplificador, sem a parte de amplificação de potência.



Figura 10 – Pré-amplificador modelo Alembic F-2B
 Fonte: ALEMBIC (2011).

No Brasil, com a proibição da importação de bens imposta pela ditadura militar, os fabricantes nacionais passaram a desenvolver seus próprios amplificadores a partir da segunda metade da década de 1960, empresas como Palmer e Giannini tornaram-se as líderes no segmento dentro do mercado brasileiro.

O modelo mais difundido nesta época foi o Giannini Tremendão, cujo circuito era similar ao dos Fender Twin Reverb americanos, principalmente na seção de pré-amplificação. O Tremendão conquistou muitos fãs ao longo dos anos.

O exemplar deste amplificador, mostrado na Figura 11, foi encontrado a venda no website da OLX pelo preço de R\$ 2.800,00.



Figura 11 - Amplificador Cabeçote Valvulado Giannini Tremendão T-3
 Fonte: OLX (2016).

Por ser bastante conhecido e utilizado, este modelo de pré-amplificador foi escolhido para ser construído neste trabalho. Os circuitos escolhidos são comumente encontrados em fóruns online onde os participantes constroem seus próprios equipamentos. Esta atividade é conhecida como DIY, do inglês *Do It Yourself* (Faça Você Mesmo).

Na Figura 12 pode ser observado o layout do circuito do pré-amplificador valvulado. Este circuito é o mesmo utilizado pela Fender, Alembic e Giannini.

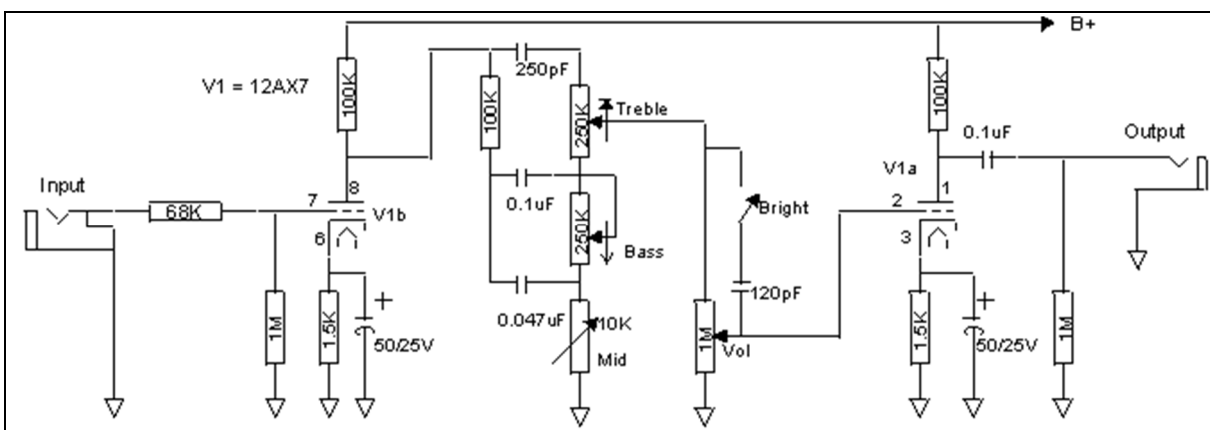


Figura 12 – Layout do circuito valvulado escolhido
Fonte: GEOFEX (2016).

Na Figura 13 pode ser observado o circuito que utiliza o transistor como amplificador. Este circuito foi escolhido por ser muito semelhante ao valvulado.

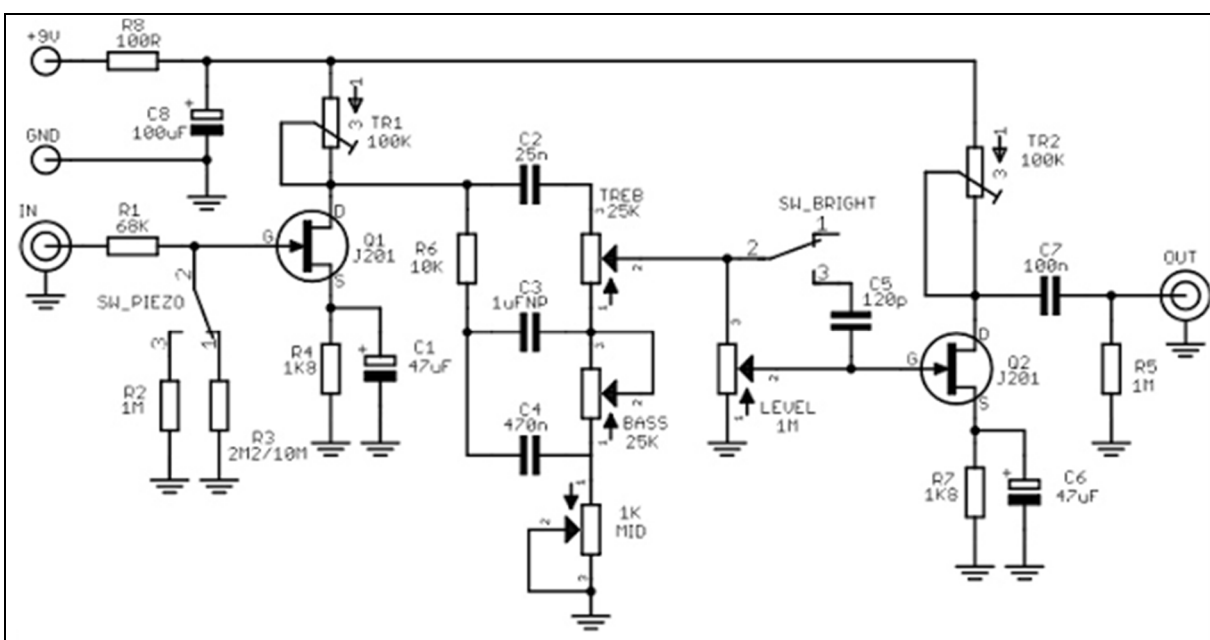


Figura 13 – Layout do circuito transistorizado escolhido
Fonte: DIYSTOMPBOXES (2013).

3 SIMULAÇÃO DOS CIRCUITOS

Os circuitos dos pré-amplificadores com Transistor e com Válvula foram construídos e simulados no software Multisim. Na sequência serão apresentados os circuitos e os testes realizados.

3.1 SIMULAÇÃO COM O TRANSISTOR

Na Figura 14 pode ser observado o circuito simulado para o pré-amplificador transistorizado. Onde o ponto “A” indica onde está localizada a entrada do sinal e o ponto “E” indica a saída do circuito.

Entre os pontos A e B é realizada a primeira amplificação do sinal de entrada pelo JFET. Entre os pontos B e C está localizado o filtro de primeira ordem com os potenciômetros para o ajuste dos graves, médios e agudos. Entre os pontos C e D está o transistor para a etapa final de amplificação, onde o potenciômetro Volume é responsável pelo controle do volume. A saída do pré-amplificador está indicada pelo ponto E, logo após o capacitor utilizado para eliminar a componentes CC presente no sinal amplificado no ponto D.

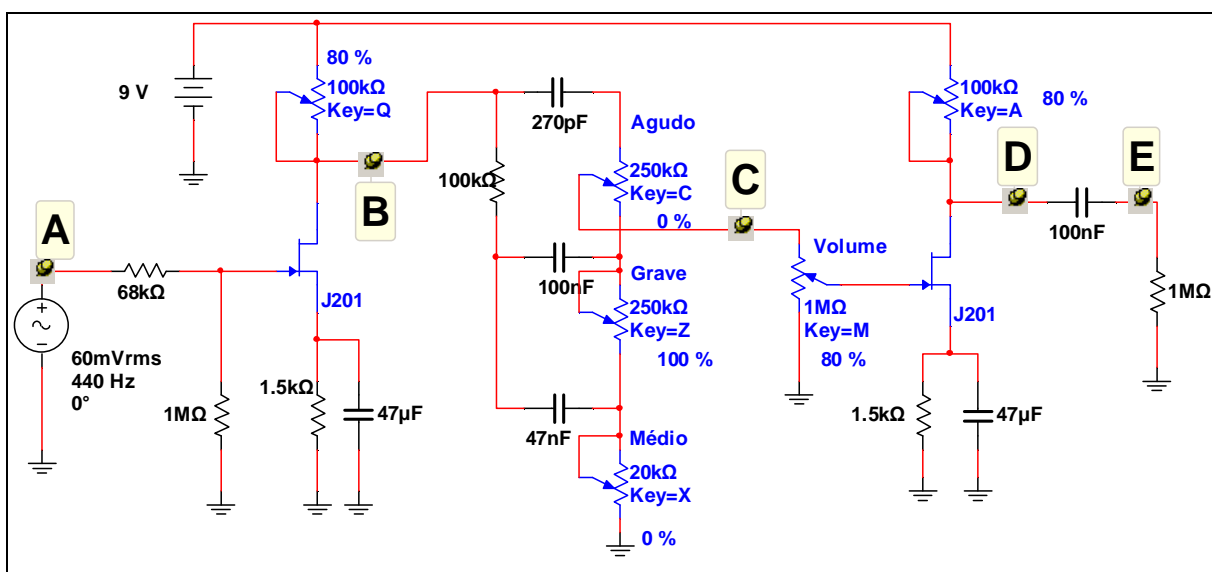


Figura 14 – Circuito simulado com transistor
Fonte: Autoria própria.

Os potenciômetros de 100 k Ω foram ajustados de forma que a saída dos transistores tenha um offset aproximado de 4,5 V, pois foi utilizada uma fonte de alimentação de 9 V.

Na Figura 15(a) pode ser observada a imagem do osciloscópio conectado nos pontos A e B da Figura 14, onde a menor forma de onda (em azul) representa o sinal de entrada com escala 500 mV/div e a forma de onda superior (em vermelho) representa o sinal amplificado no ponto B. com escala 2 V/div.

Na Figura 15(b) o sinal menor (em azul) é o sinal de entrada no ponto A (escala 500 mV/div), e a forma de onda maior (em vermelho) no ponto C, amplificado e sem a componente contínua depois de passar pelos capacitores do filtro, com utilização da escala de 2 V/div.

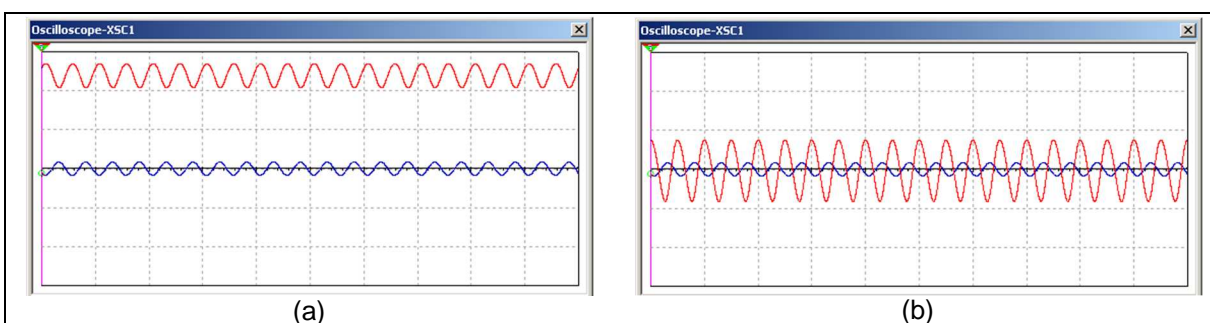


Figura 15 – Formas de onda para o circuito com JFET nos pontos A e B (a), e A e C (b)
 Fonte: Autoria própria.

Na Figura 16 pode ser observado o osciloscópio do software Multisim apresentando o sinal de entrada e o sinal de saída do pré-amplificador, com as mesmas escalas das figuras anteriores, 500 mV/div e 2 V/div respectivamente.

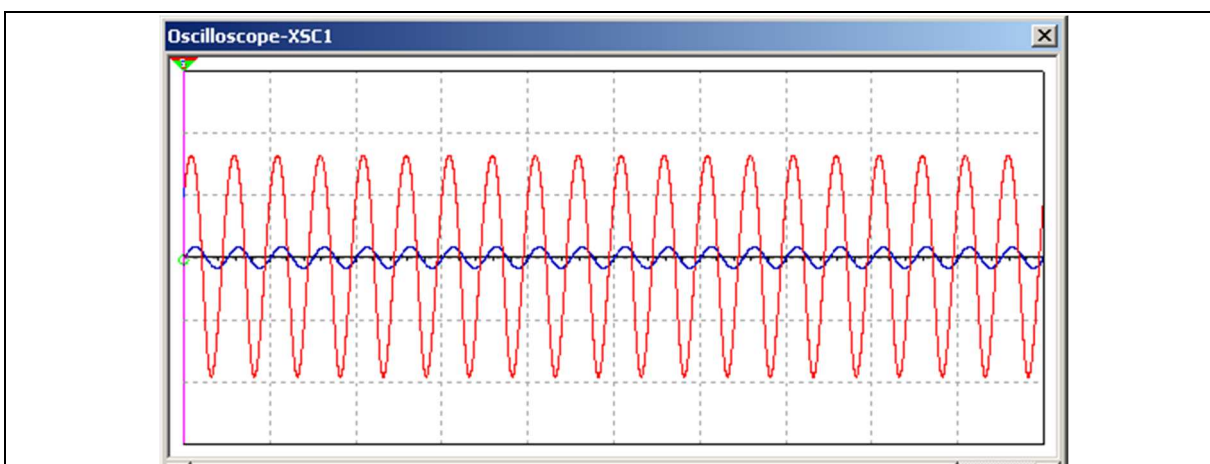


Figura 16 – Formas de onda de entrada e saída do pré-amplificador transistorizado
 Fonte: Autoria própria.

3.2 SIMULAÇÃO COM VÁLVULA

Na Figura 17 pode ser observada a montagem do circuito simulado para o pré-amplificador valvulado, onde a entrada do sinal é indicada pelo ponto “A” e a saída do sinal é no ponto “E”.

Entre os pontos A e B a válvula realiza a primeira amplificação do sinal de entrada. Entre os pontos B e C está localizado o filtro de primeira ordem com os potenciômetros para o ajuste dos graves, médios e agudos. Entre os pontos C e D está o transistor para a etapa final de amplificação, onde o potenciômetro Volume é responsável pelo controle do volume. A saída do pré-amplificador está indicada pelo ponto E, logo após o capacitor utilizado para eliminar a componentes CC presente no sinal amplificado no ponto D.

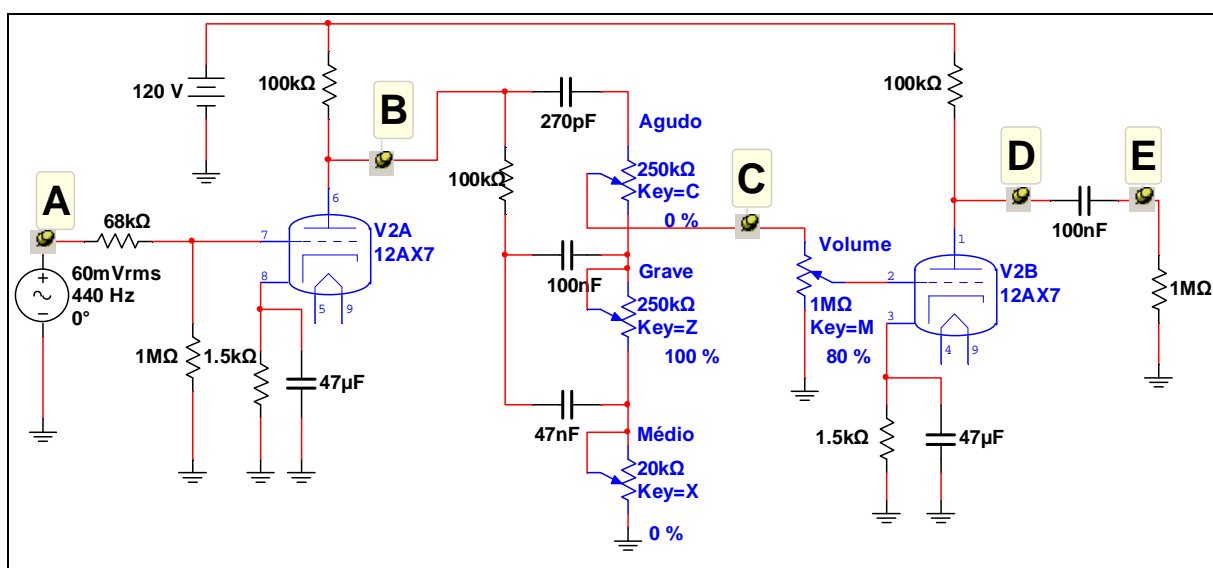


Figura 17 – Circuito simulado com a válvula
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 18(a) pode ser observada a imagem do osciloscópio conectado nos pontos A e B da Figura 17, onde a forma de onda em azul representa o sinal de entrada com escala 500 mV/div e a forma de onda superior (em vermelho) representa o sinal amplificado no ponto B, com escala de 50 V/div.

Na Figura 18(b) o sinal de entrada no ponto A (escala 500 mV/div), e a forma de onda maior (em vermelho) no ponto C, amplificado e sem a componente contínua depois de passar pelos capacitores do filtro, com utilização da escala de 2 V/div.

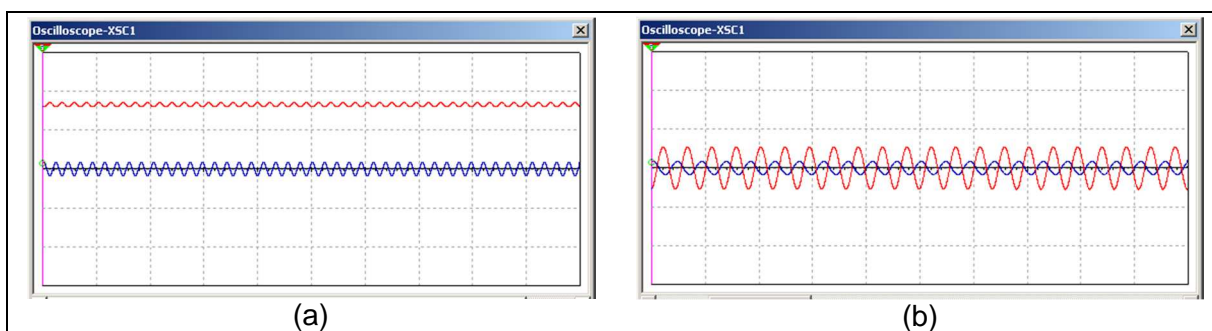


Figura 18 – Formas de onda para o circuito com válvula nos pontos A e B (a), e A e C (b)
 Fonte: Autoria própria.

Na Figura 19 pode ser observado o osciloscópio do software Multisim apresentando o sinal de entrada e o sinal de saída do pré-amplificador, com as escalas de 500 mV/div para o sinal de entrada e 10 V/div para o sinal de saída.

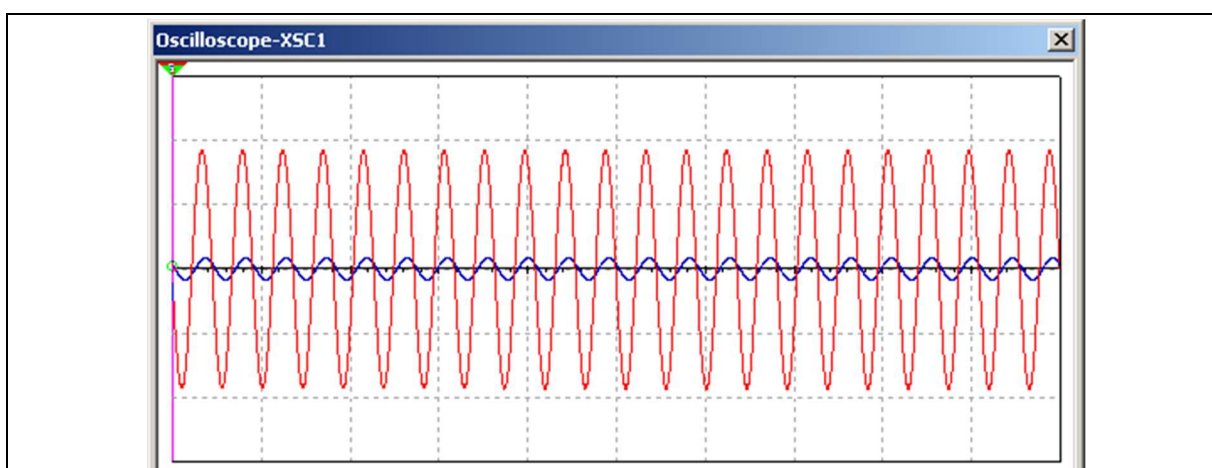


Figura 19 – Formas de onda de entrada e saída do pré-amplificador valvulado
 Fonte: Autoria própria.

3.3 FILTRO

O filtro utilizado para regular as faixas de frequências graves, médias e agudas foi o mesmo para os dois circuitos. Os valores adotados para a resistência, potenciômetros e capacitores não foram modificados para que fossem mantidas as características do pré-amplificador original.

Na Figura 20 pode ser observado somente o circuito utilizado para o filtro de frequências, entre os pontos B e C observado nas Figuras 14 e 17. Do lado direito da imagem pode ser observado o instrumento chamado “Bode Plotter”.

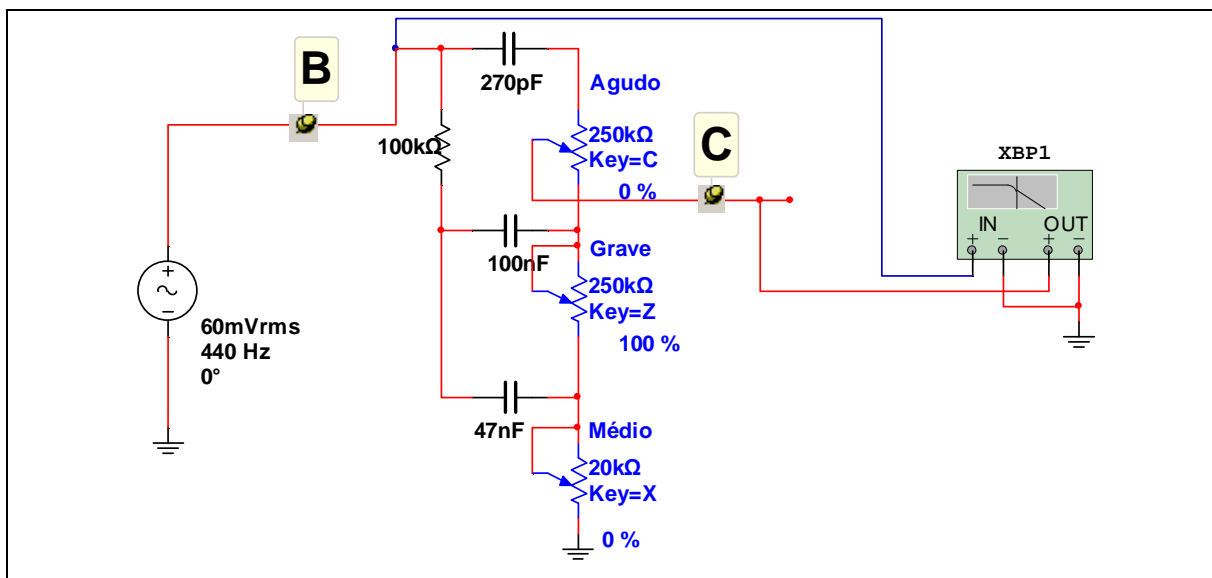


Figura 20 – Circuito do filtro
Fonte: Autoria própria.

O gráfico de bode é utilizado para apresentar o comportamento de um sistema de acordo com a variação da frequência. Como os circuitos analisados neste trabalho serão utilizados para aplicações com áudio, a faixa de frequência considerada para a análise foi de 20 Hz a 20 kHz, que é a faixa audível para o ouvido humano.

Na Figura 21(a) pode ser observado o diagrama de bode do filtro com os potenciômetros ajustados para se obter um filtro passa-baixas, e na Figura 21(b) o comportamento como um filtro passa-altas.

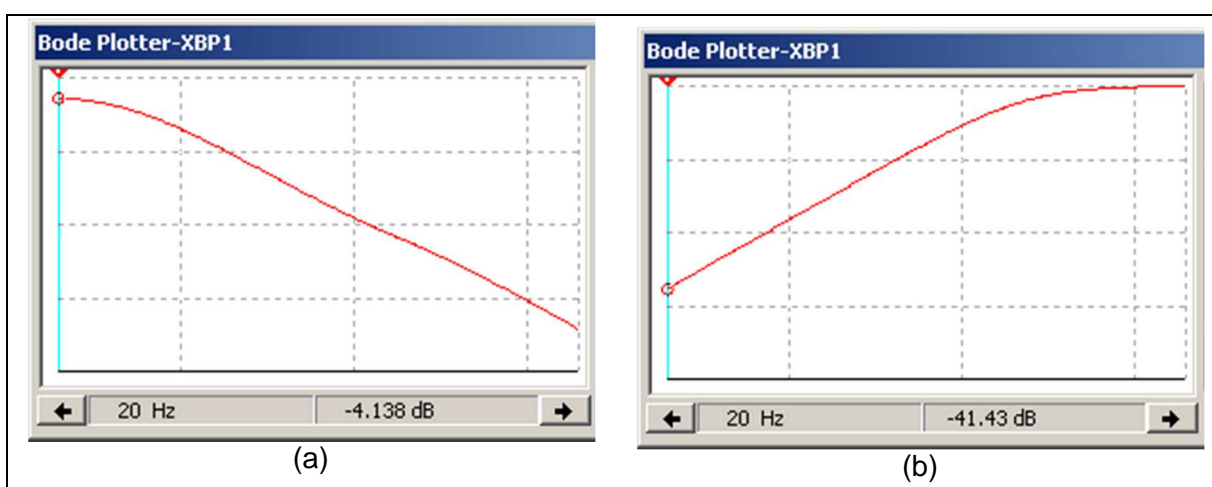


Figura 21 – Resposta do filtro (a) passa-baixas e (b) passa-altas
Fonte: Autoria própria.

4 CONSTRUÇÃO

Após serem realizadas as simulações e identificadas as principais características dos circuitos, foi feito o projeto da placa de circuito impresso para o pré-amplificador transistorizado.

4.1 LAYOUT DO CIRCUITO COM TRANSISTOR

Na Figura 22(a) pode ser observado o layout da placa, criado no software Ultiboard, para o pré-amplificador transistorizado. As Figuras 22 (b) e (c) apresentam as vistas 3D da parte superior e inferior da placa.

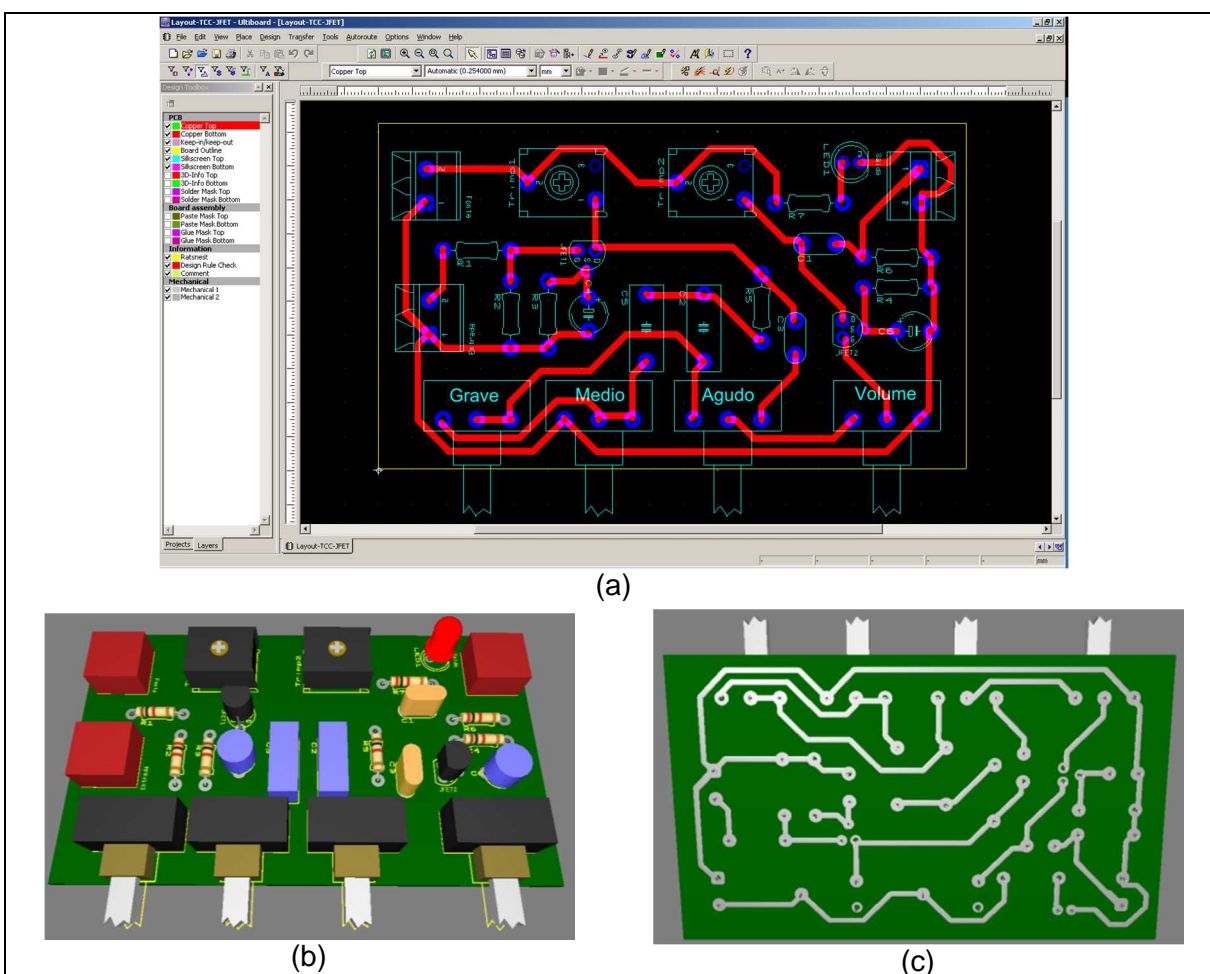


Figura 22 – Layout da placa (a), imagem 3D com vista superior (a), e vista inferior (b)
 Fonte: Autoria própria.

4.1.1 Lista de Componentes para o Pré-Amplificador Transistorizado

A Tabela 1 contém a lista de todos os componentes utilizados para a construção e seu respectivo custo.

Tabela 1 – Componentes para o pré-amp transistorizado

Item	Descrição	Quantidade	Preço
Borne	2 vias	3	R\$ 3,00
Capacitor	47 uF	2	R\$ 2,40
Capacitor	270 pF	1	R\$ 0,50
Capacitor	100 nF	1	R\$ 2,00
Capacitor	47 nF	1	R\$ 0,40
Capacitor	220 nF	1	R\$ 3,00
LED		1	R\$ 0,70
Potenciômetro	1 M Ω	1	R\$ 2,00
Potenciômetro	250 k Ω	2	R\$ 4,00
Potenciômetro	20 k Ω	1	R\$ 2,00
Resistor	68 k Ω	1	R\$ 0,20
Resistor	1 M Ω	2	R\$ 0,70
Resistor	1,5 k Ω	2	R\$ 0,60
Resistor	100 k Ω	1	R\$ 0,90
Transistor	J201	2	R\$ 18,00
Trimpot	100 k Ω	2	R\$ 5,00
		Total	R\$ 45,40

Fonte: Autoria própria.

4.2 CONSTRUÇÃO DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO

O processo de manufatura da placa de circuito impresso foi iniciado com a elaboração do esquemático no software Ultiboard, de acordo com a Figura 22.

Com o *layout* da placa de circuito pronta, o primeiro passo para sua manufatura é a elaboração do fotolito. Foi utilizado papel vegetal com gramatura de 90 gramas, impresso a laser e colado em folha dupla a fim de aumentar o contraste entre as partes claras e escuras.

O fotolito deve ser impresso de maneira negativa, ou seja, as partes que contém cobre devem ser transparentes, enquanto que as partes isolantes devem ser impressas em preto. O processo continua com a limpeza de uma placa de fibra de vidro nova, de face única, a fim de retirar óleos ou sujeiras de sua superfície

cobreada. Aplica-se então o filme fotossensível (*dryfilm* ou *photoresist film*), mostrado na Figura 23 na superfície cobreada.



Figura 23 – Filme fotossensível utilizado para manufatura da placa de circuito
Fonte: Autoria própria.

Após a aplicação do filme fotossensível, deve-se fixar o fotolito sobre a placa e incidir luz ultravioleta a fim de que os locais onde a luz incidir sejam endurecidos.

Como pode ser observado na Figura 24, foi utilizado um pedaço de vidro a fim de garantir que o fotolito fique rente à placa e à película fotossensível. Como fonte de luz ultravioleta foi utilizada uma luz negra de 40 W de potência. O tempo de exposição à luz negra foi de 4 minutos.

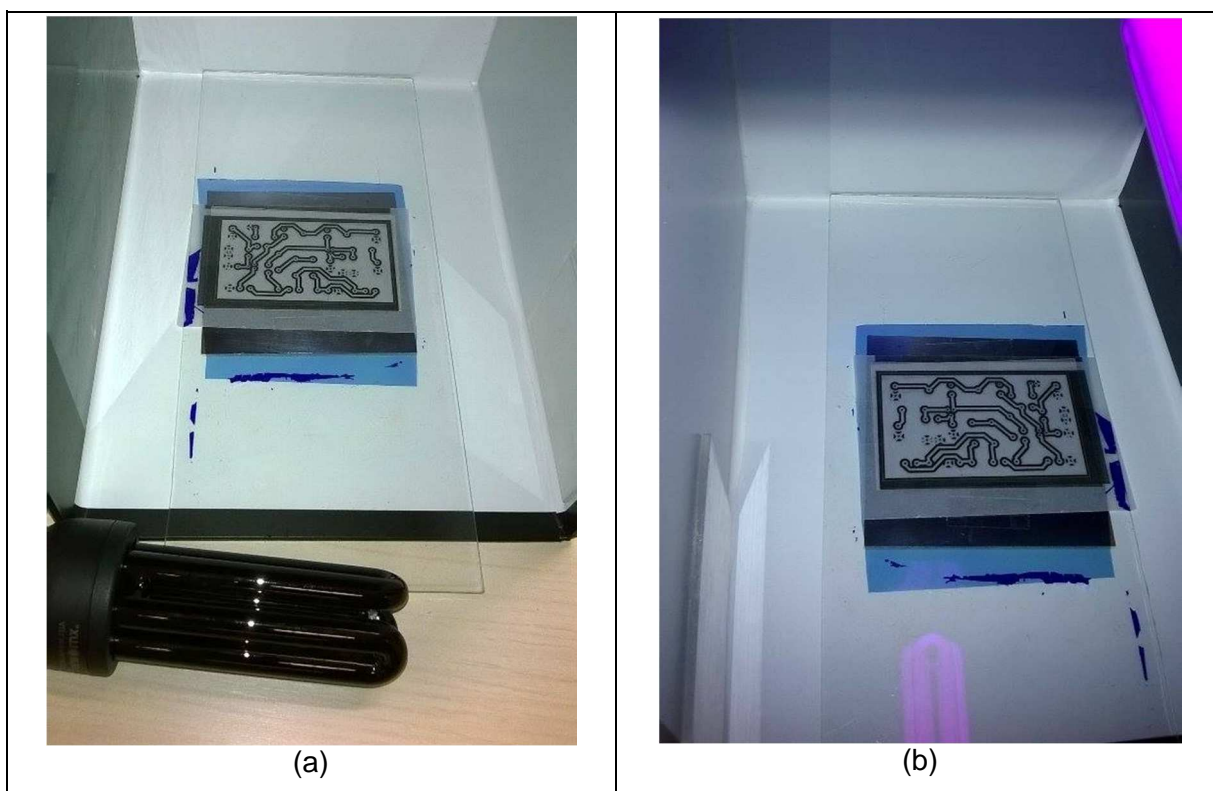


Figura 24 – Placa de circuito com filme fotossensível (a), e placa exposta à luz negra (b)
Fonte: Autoria própria.

4.2.1 Processo de Corrosão

A região do filme fotossensível onde não houve incidência de luz (a parte onde não haverá trilhas) é facilmente removida com uma solução básica feita através de barrilha leve. A placa então é imersa em uma solução ácida de cloreto férrico para a corrosão do cobre exposto. Após a corrosão a placa é imersa em álcool isopropílico para se retirar todo o resíduo do filme fotossensível que estava sobre o cobre das trilhas. Na Figura 25 podem ser observadas as quatro vasilhas com todas as soluções necessárias para a revelação da placa.

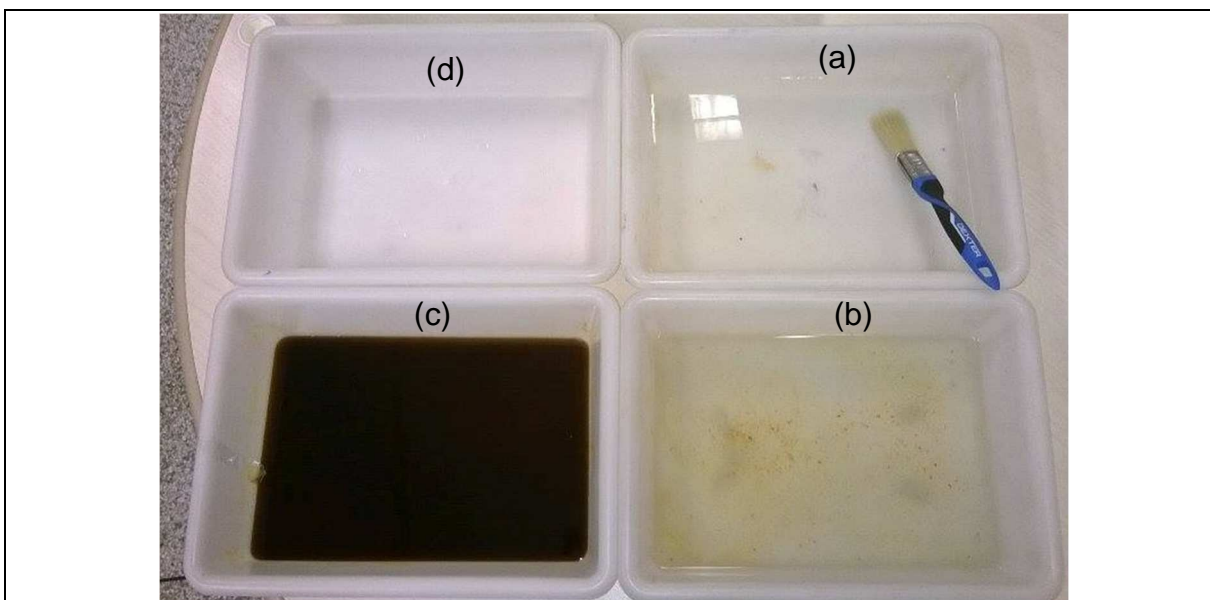


Figura 25 – Vasilha com (a) água, (b) solução básica, (c) cloreto férrico e (d) álcool isopropílico
Fonte: Autoria própria.

A Figura 26 mostra, respectivamente, o desenho da placa, o fotolito gerado e a aparência da placa após a passagem pelo cloreto férrico.

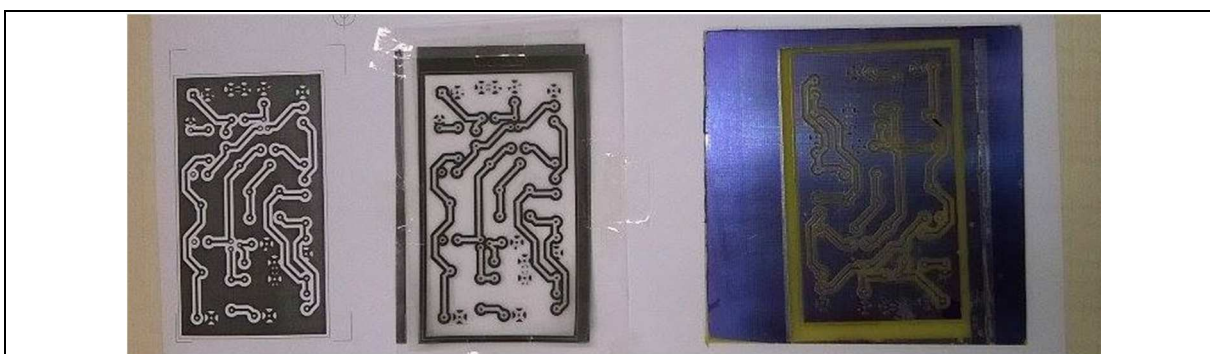


Figura 26 – Desenho da placa, fotolito e placa após a passagem pelo cloreto férrico
Fonte: Autoria própria.

Após a retirada dos resíduos do filme foto sensível, é aplicada uma solução prateadora sobre o cobre das trilhas com o objetivo de impedir a oxidação e aumentar a durabilidade da placa.

Por fim, a placa foi então cortada, perfurada e todos os componentes foram soldados. O resultado final pode ser observado na Figura 27.



Figura 27 – Pré-amplificador transistorizado pronto
Fonte: Autoria própria.

4.3 LAYOUT DO CIRCUITO COM VÁLVULA

Após a pesquisa em fóruns de grupos que constroem seus próprios equipamentos valvulados, foi observada a sugestão da construção do circuito valvulado “ponto a ponto”, isto é, sem a confecção de uma placa com trilhas. Desta forma, a construção do circuito ponto a ponto foi baseada no projeto que pode ser observado na Figura 28.

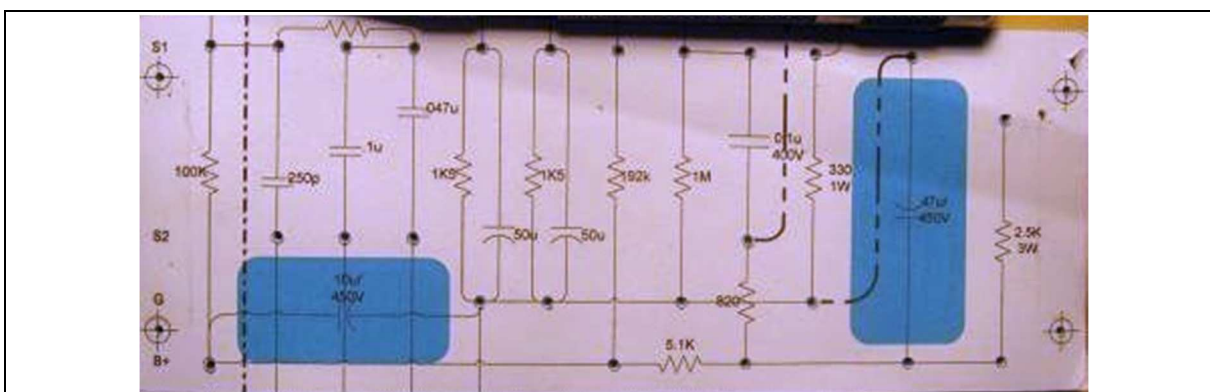


Figura 28 – Esquema de ligação ponto a ponto para o circuito valvulado
Fonte: FRONTIERNET (2016).

4.3.1 Montagem do Circuito Ponto a Ponto

Para a montagem do circuito ponto a ponto foi utilizada uma placa perfurada, onde os terminais dos componentes foram inseridos de acordo com uma disposição adequada para que fosse possível fazer as ligações, e na sequência ocorreu o processo de soldagem. Na Figura 29 pode-se observar a ligação dos componentes com uma vista da parte superior e da parte inferior da placa.

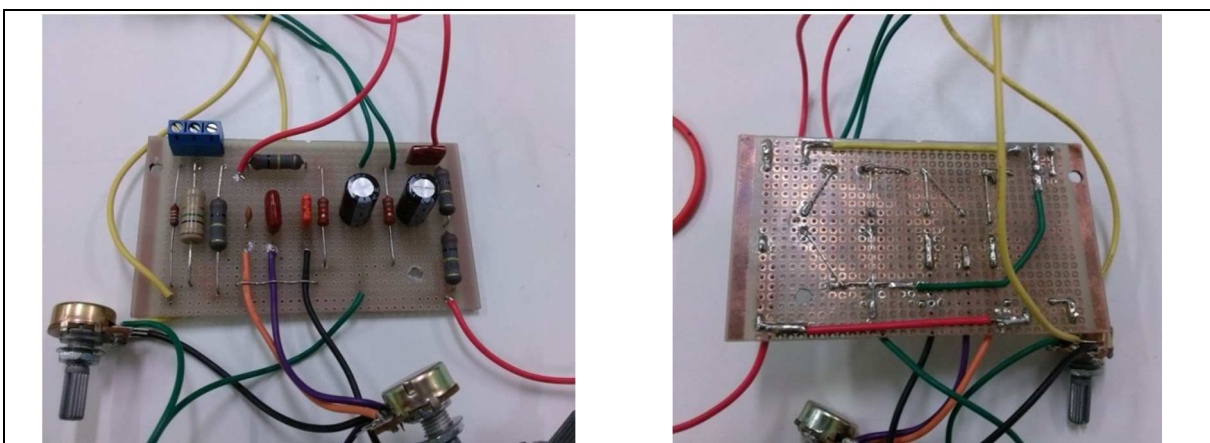


Figura 29 – Placa do pré-amplificador valvulado construído
Fonte: Autoria própria.

Os potenciômetros (para ajustes do grave, médio, agudo e volume) e o soquete para o encaixe da válvula foram conectados à placa com a utilização de condutores, uma vez que serão encaixados em outros suportes.

4.3.2 Lista de Componentes para o Pré-Amplificador Valvulado

Os componentes utilizados para a construção do circuito valvulado são os mesmos do circuito transistorizado. A única alteração, como mostra a Tabela 2, é a compra do soquete e da válvula (modelo 12AX7), que por ser um duplo triodo, substitui os dois transistores J201.

Tabela 2 – Componentes para o pré-amp valvulado

Item	Descrição	Quantidade	Preço
Soquete	9 pinos	1	R\$ 3,95
Válvula Duplo Triodo	12AX7	1	R\$ 96,75

Fonte: Autoria própria.

4.4 GABINETE PARA O PRÉ-AMPLIFICADOR VALVULADO

Para o circuito valvulado foi construído um gabinete metálico com duas chapas de ferro galvanizado de 1,0 mm de espessura, e como base do gabinete, foi utilizada uma tábua de madeira de lei de 19,0 mm de espessura.

Com a utilização dos equipamentos disponíveis no Laboratório de Processos Mecânicos J-25 da UTFPR Medianeira, as duas chapas de ferro (da frente e de trás) foram cortadas, dobradas e perfuradas de acordo com as dimensões necessárias e em seguida parafusadas à base de madeira.

Por fim, os potenciômetros foram fixados no painel frontal e o soquete da válvula foi instalado num suporte de alumínio, que também foi confeccionado no Laboratório J-25. O resultado final pode ser observado na Figura 30.

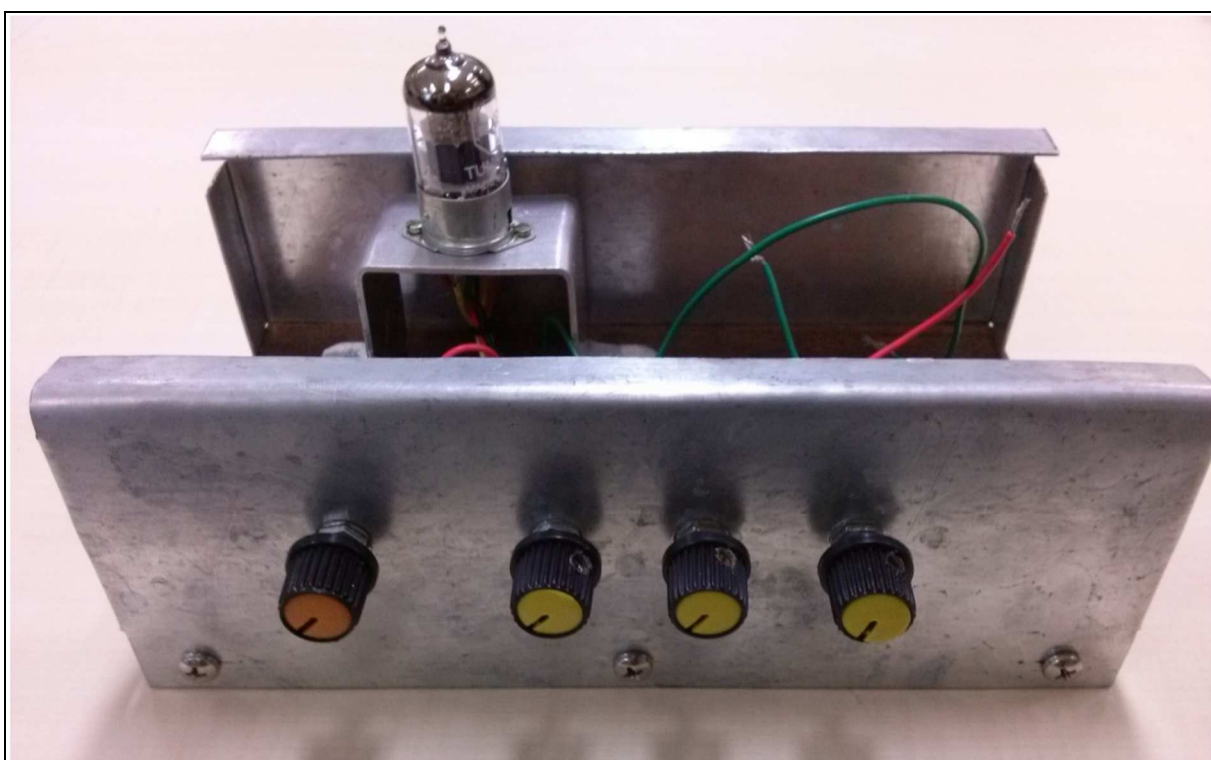


Figura 30 – Pré-amplificador valvulado pronto
Fonte: Autoria própria.

5 TESTES

Os testes foram realizados na bancada do laboratório de eletrônica J41 da UTFPR câmpus Medianeira. Foram utilizadas fontes CC, um gerador de sinais e um osciloscópio da marca Tektronix.

5.1 TESTES PARA O PREAMP COM TRANSISTOR

Após a realização de todas as simulações, o circuito do pré-amplificador transistorizado foi montado em um *protoboard* para que fosse possível a verificação de seu funcionamento, como pode ser visto na Figura 31(a).

Inicialmente foram feitos testes utilizando um gerador de sinais. Na sequência, foi utilizado um notebook para enviar o sinal de áudio de uma música para o pré-amplificador, e na saída foram conectadas duas caixas de som utilizadas em microcomputadores. Este teste pode ser observado na Figura 31(b) que mostra as caixas de som e o osciloscópio apresentando parte da forma de onda da música.

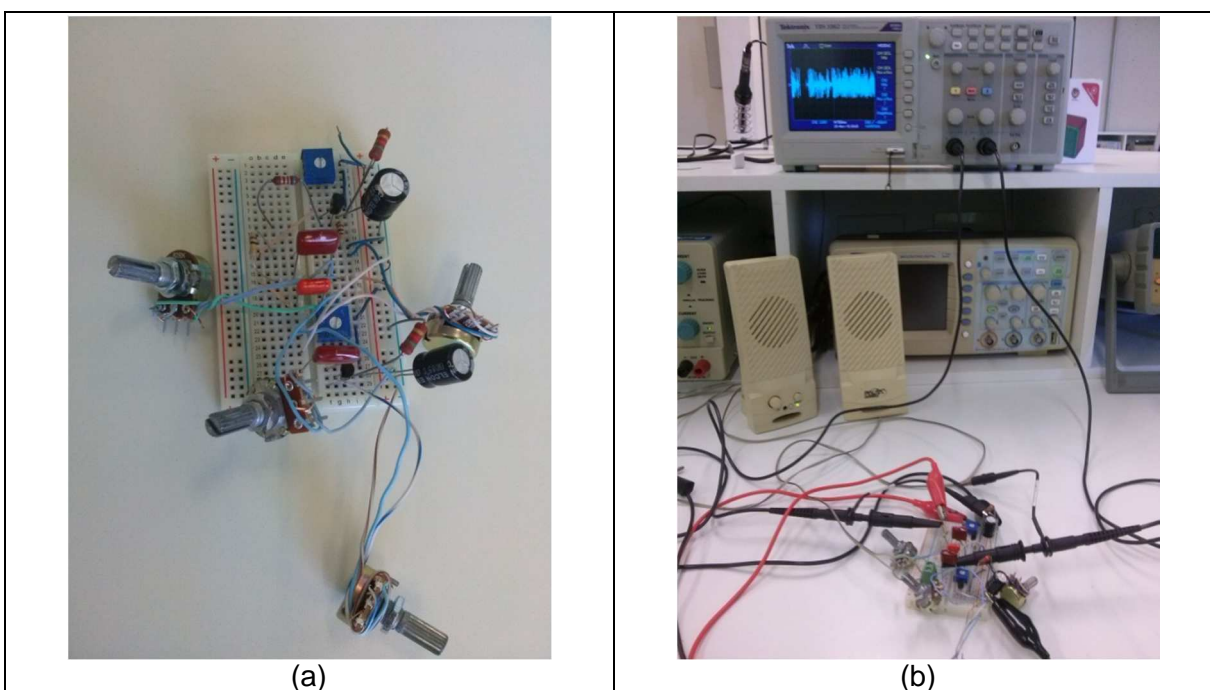


Figura 31 – Pré-amp. transistorizado, (a) montado em protoboard, e (b) teste com música
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 32 pode ser observado o teste realizado com a placa desenvolvida, com a utilização de um gerador de sinais. Na tela do osciloscópio é mostrado o sinal de entrada (forma de onda menor, em amarelo) e o sinal de saída do pré-amplificador (forma de onda maior, em azul).

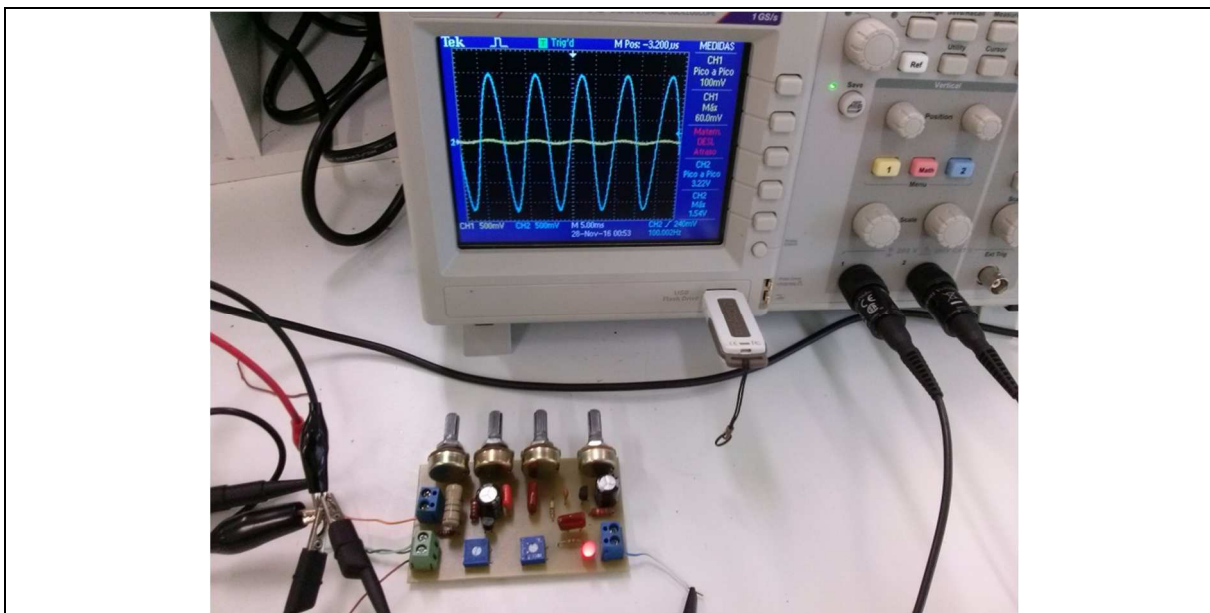


Figura 32 – Primeiro teste para o pré-amplificador transistorizado
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 33(a) pode ser observada a captura da tela do osciloscópio do sinal de entrada e o sinal amplificado pelo primeiro JFET, que possui um offset de 4,5V. Na Figura 33(b) o sinal de entrada e o sinal amplificado sem a componente contínua, ou seja, depois de passar pelos capacitores do filtro.

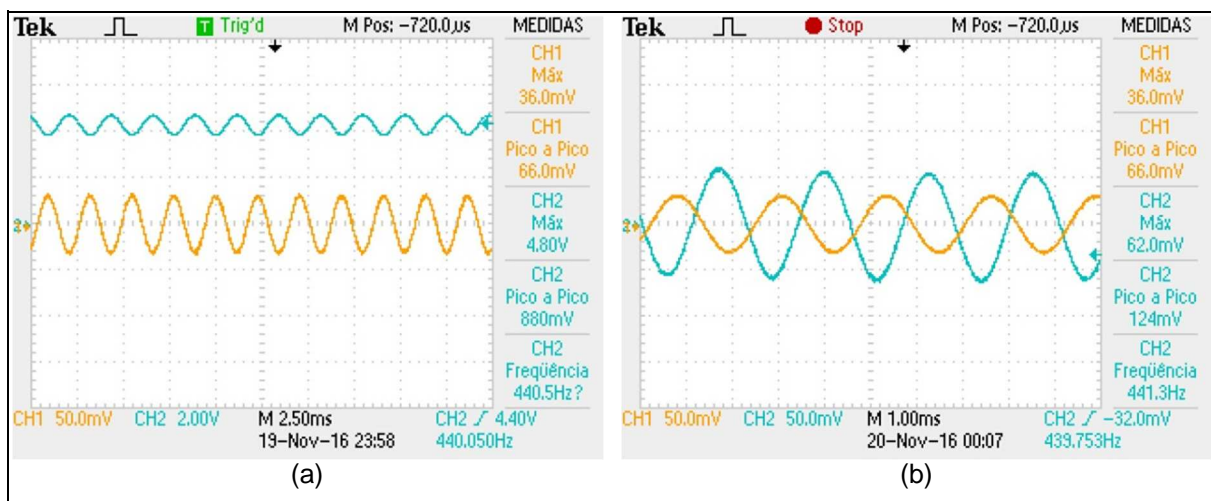


Figura 33 – Imagens para a amplificação do primeiro JFET antes (a) e depois (b) do filtro
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 34(a) pode ser observada a captura da tela do osciloscópio que mostra o sinal de entrada e o sinal amplificado pelo segundo JFET, que também possui um offset de 4,5V.

Na Figura 34(b) observa-se o sinal de entrada e o sinal de saída. Deve-se destacar que a escala do sinal de entrada é de 50mV por divisão e do sinal de saída é de 500mV por divisão. O valor máximo do sinal de entrada é de 33mV e da saída é de 940mV, o que representa um ganho de aproximadamente 30 vezes.

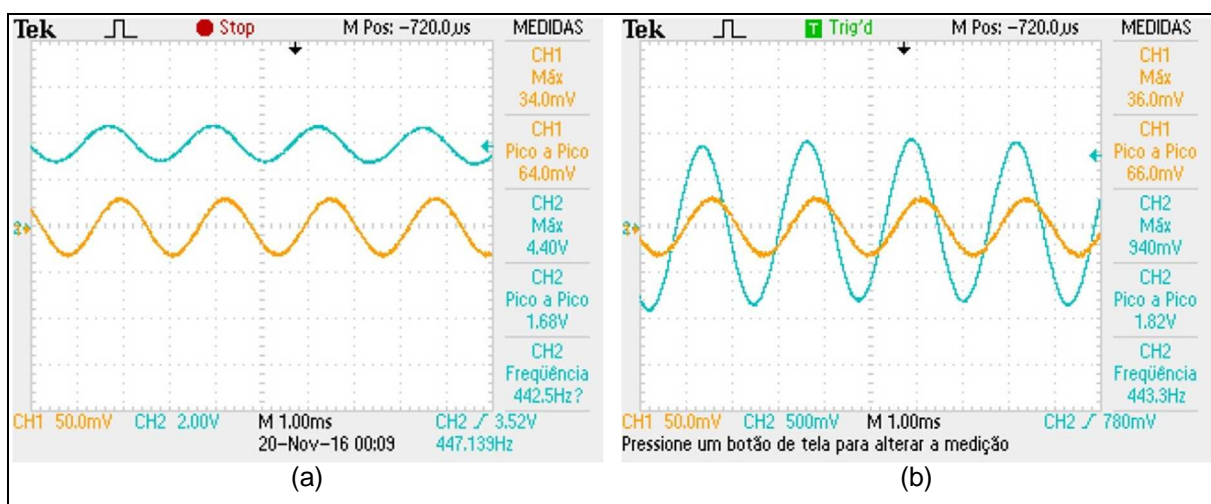


Figura 34 – Amplificação no segundo JFET (a), e sinais de entrada e saída do pré-amp. (b)
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 35 podem ser observadas as capturas de tela do osciloscópio para o mesmo trecho de uma música, em (a) com a utilização do filtro passa-baixas e em (b) com o filtro passa-altas, ambas com escala de tempo de 10ms/div.

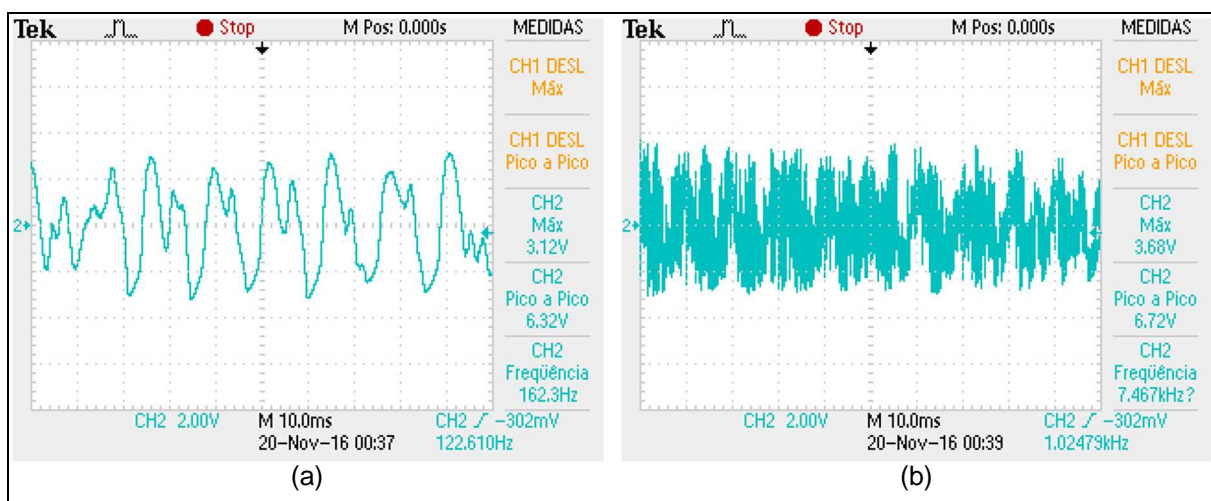


Figura 35 – Saída do pré-amp. com JFET com, (a) filtro passa-baixas e, (b) filtro passa-altas
Fonte: Autoria própria.

5.2 TESTES PARA O PREAMP COM VÁLVULA

De acordo com o *datasheet* da válvula 12AX7 a tensão de placa deve ser entre 100 V e 250 V. Neste trabalho foi utilizada a tensão de 132 V, obtida através da ligação em série de 4 canais de 2 fontes CC do laboratório J41, como pode ser observado na Figura 36.

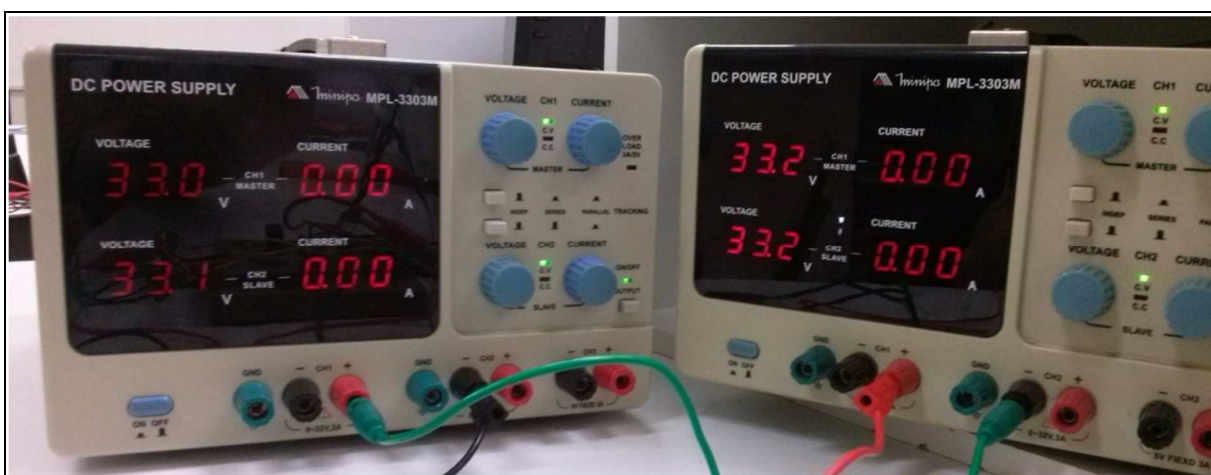


Figura 36 – Fontes CC ligadas em série para obter 132 V de tensão na placa
Fonte: Autoria própria.

Para a alimentação do filamento da válvula, foi verificado no *datasheet* a necessidade de 6,3 V com 0,3 A (aproximadamente). Desta forma foi utilizada outra fonte CC, como pode ser observado na Figura 37.

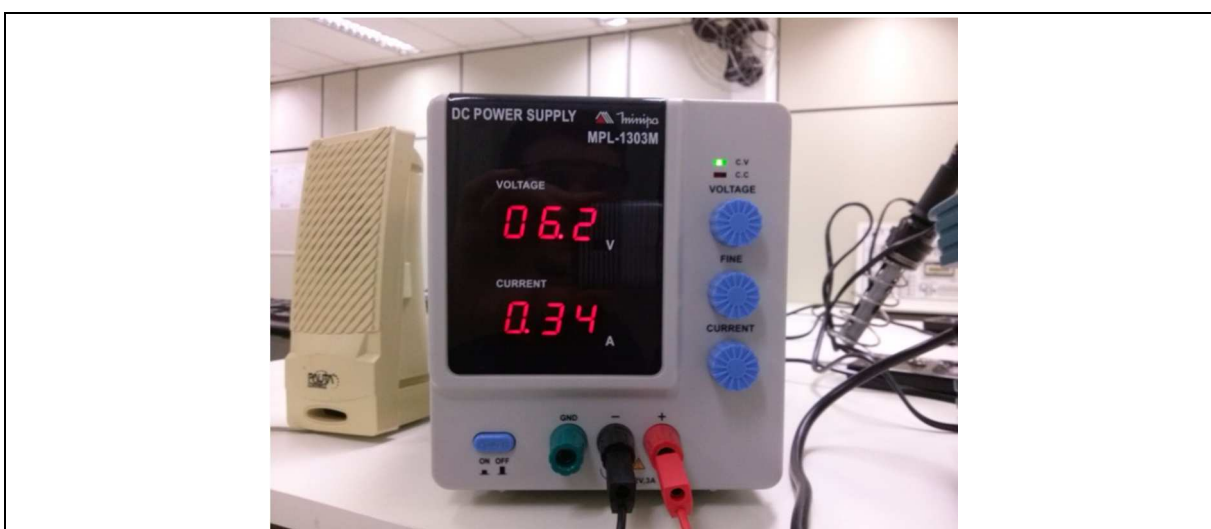


Figura 37 – Circuito simulado com válvula
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 38 pode ser observado o primeiro teste realizado com o pré-amplificador valvulado, com a utilização de um gerador de sinais. Na tela do osciloscópio é mostrado o sinal de entrada (forma de onda menor, em amarelo) e o sinal de saída do pré-amplificador (forma de onda maior, em azul).

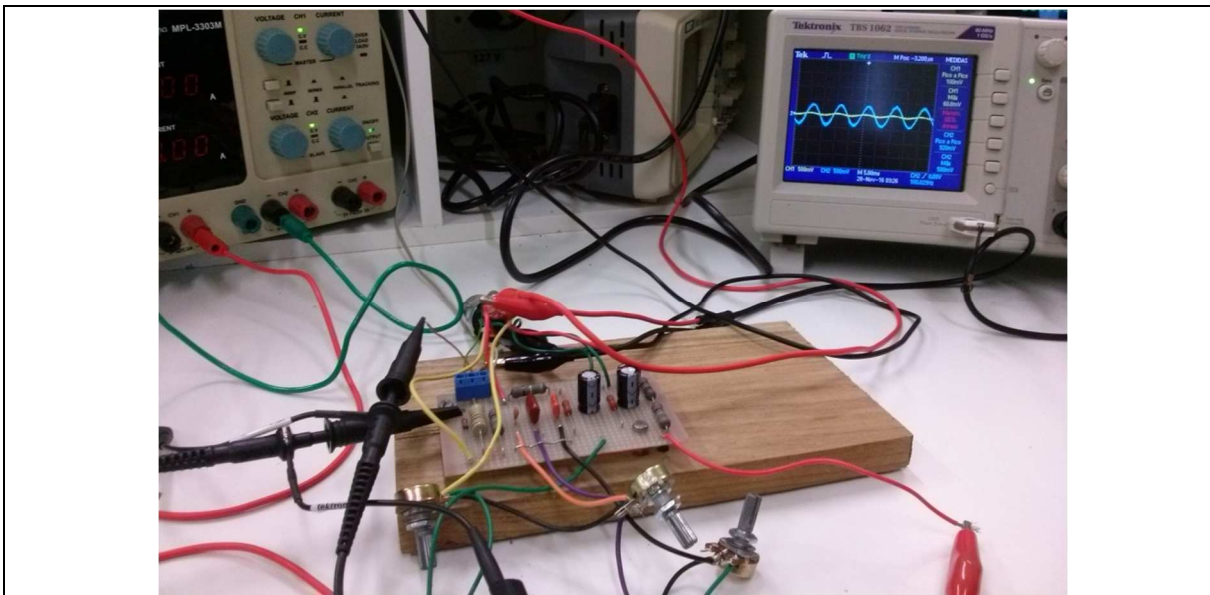


Figura 38 – Primeiro teste para o pré-amplificador valvulado
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 39 observa-se o sinal de entrada (escala 500mV/div) e o sinal de saída (1V/div). O valor máximo do sinal de entrada é de 60mV e da saída é de 2,24V, o que representa um ganho de aproximadamente 40 vezes.

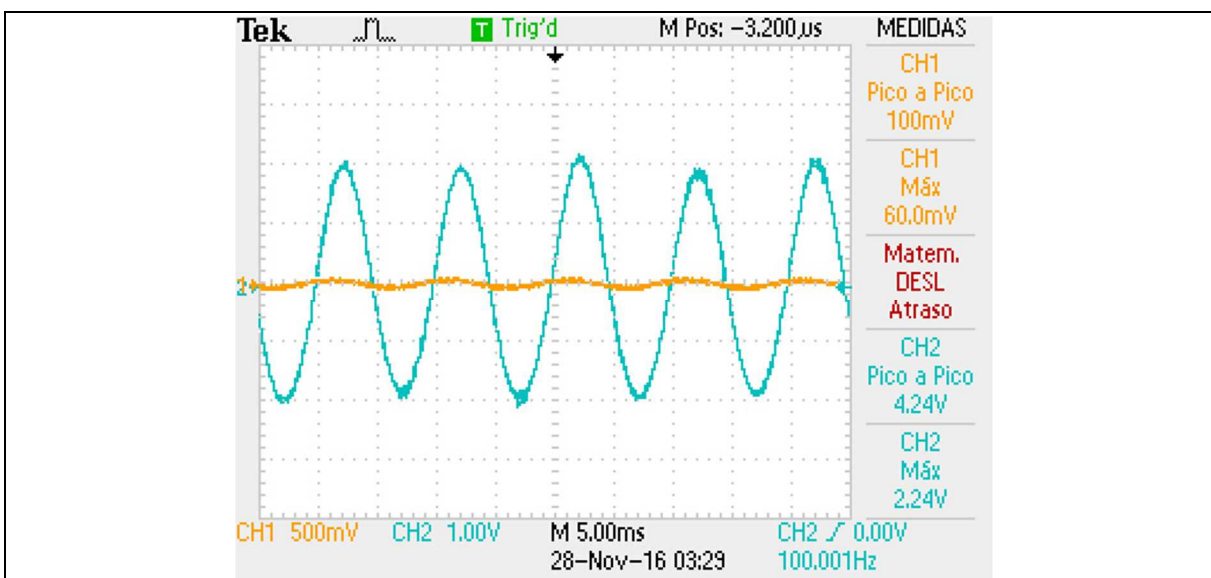


Figura 39 – Circuito simulado com transistor
Fonte: Autoria própria.

Foi utilizado um netbook para enviar uma música para o pré-amplificador e a sua saída foi conectada em uma caixa de som para microcomputadores.

Na Figura 40 pode ser observada a bancada do laboratório com as 3 fontes necessárias (a), a caixa de som (b), o netbook (c), o osciloscópio mostrando a forma de onda da saída (d), e o pré-amplificador valvulado (e).

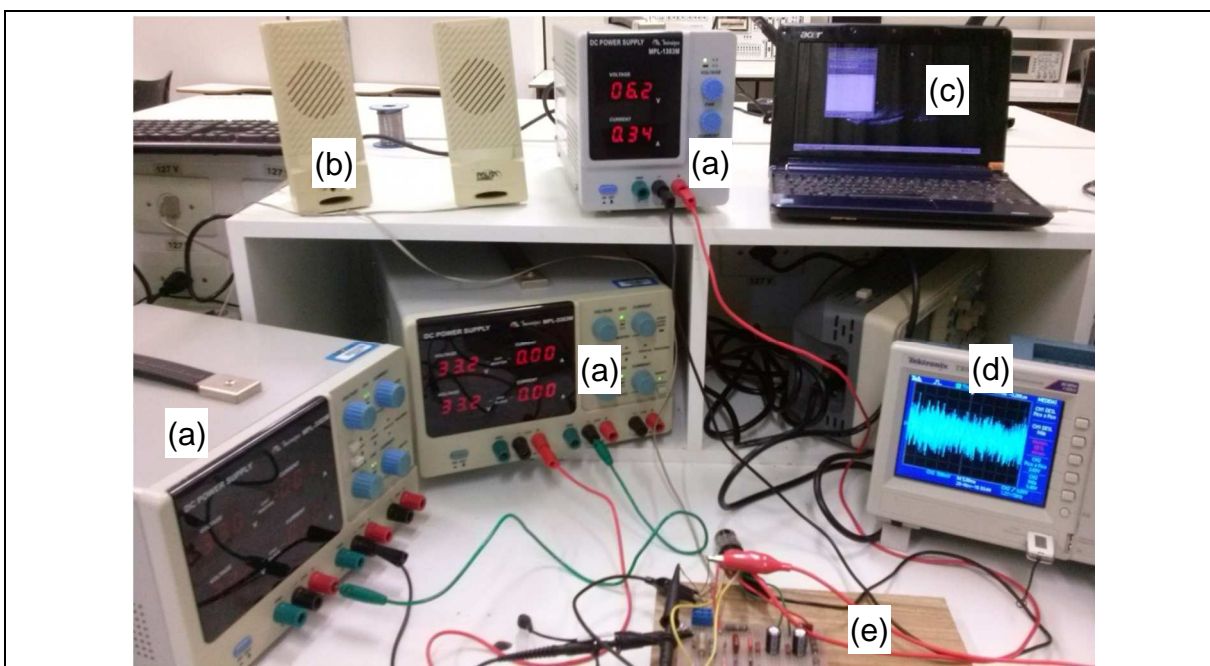


Figura 40 – Vista da bancada para os testes do preamp valvulado
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 41 pode ser observada a captura de tela do osciloscópio da saída do pré-amplificador para a reprodução de uma música.

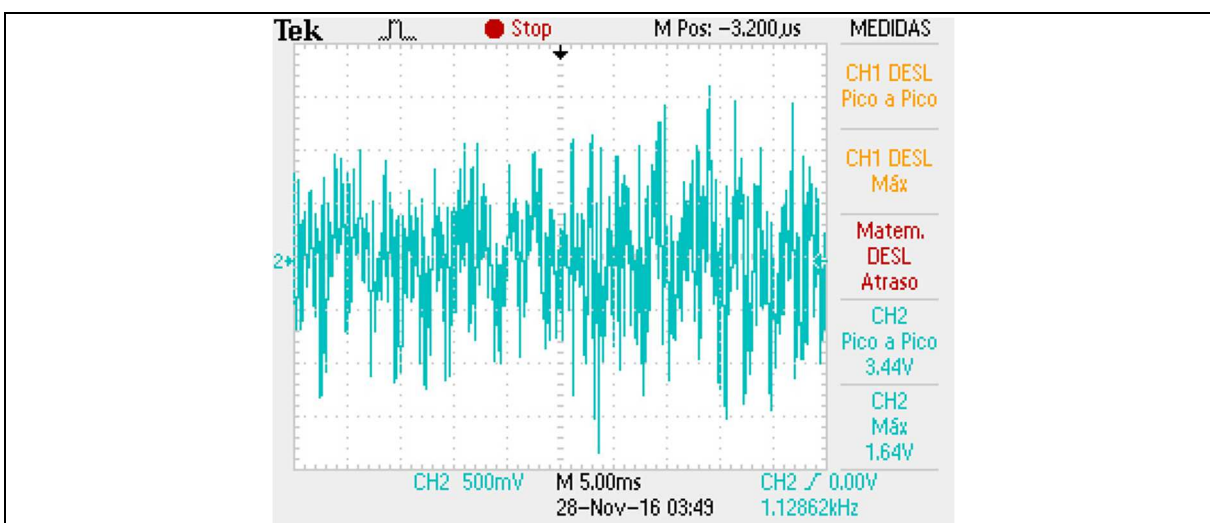


Figura 41 – Circuito simulado com válvula
Fonte: Autoria própria.

6 CONCLUSÃO

É inegável que a sonoridade obtida com amplificadores valvulados seja considerada a ideal pela grande maioria dos músicos e audiófilos, este fato justifica o culto que envolve estes aparelhos e conseqüentemente o alto valor a eles agregado.

Embarcando na crescente onda “*vintage*”, vários fabricantes de equipamentos voltaram a produzir amplificadores clássicos desenvolvidos ao longo das décadas de 1950, 1960 e 1970, em todo o mundo inúmeros fabricantes artesanais reproduzem estes clássicos customizando-os para atender o seu gosto pessoal e o de seus clientes, outra parcela dos admiradores do timbre das válvulas se envolve na construção de seus equipamentos utilizando o conhecimento disponível em diversos fóruns de eletrônica e DIY, “*do it yourself*”, esta prática possibilita que vários adeptos das válvulas tenham acesso a estes equipamentos em virtude da significativa economia que se faz quando a pessoa constrói o seu próprio aparelho.

Neste trabalho foram realizadas várias simulações para ambos os circuitos, a fim de compreender com mais clareza o seu funcionamento e a influência que cada elemento apresentava no resultado final, foi muito interessante quando usamos o Bode Plotter disponível no software de simulação para observar a resposta que obtínhamos quando era feita a troca de valores de componentes do filtro de frequências.

Para a construção dos circuitos foram encontradas poucas dificuldades, vale ressaltar que a montagem e a operação do circuito transistorizado mostraram-se mais acessíveis que a do circuito valvulado, em razão da baixa tensão, 9V, que este circuito necessita para seu funcionamento e por todos os componentes do circuito estarem fixados diretamente na placa.

O circuito valvulado necessita de uma tensão muito maior, foi utilizado no projeto 132V, e, para que a válvula funcione, é necessário também que se alimente o seu filamento com uma tensão menor, foi utilizado 6,3V no projeto. Acatando a sugestão encontrada em vários fóruns da internet e também em conversas com profissionais da área de eletrônica, a montagem foi feita ponto a ponto, para evitar ruído e interferências na saída do pré-amplificador.

Os protótipos construídos apresentaram as características esperadas desde o início da execução do projeto, o que foi muito gratificante, tendo em vista que ambos, professor e aluno, nunca tinham feito uma montagem com válvula antes. O sucesso do projeto é um estímulo fundamental para que o aluno continue as suas atividades neste ramo, agora contando com um considerável enriquecimento técnico e prático, dar os próximos passos neste caminho será muito mais fácil, para algum dia quem sabe, construir o seu, tão enaltecido neste trabalho, próprio modelo de amplificador valvulado.

REFERÊNCIAS

ALEMBIC. **Alembic Club**. Disponível em: < <http://alembic.com/club/messages/395/98914.html?1300512336>> Acessado em novembro de 2016.

ANZENHOFER, Karl. **Eletrotécnica para escolas profissionais**. 3. Ed. São Paulo: Mestre Jou, 1980.

AUDIO NOTE KITS. **Audio note kits Amplificatori – Amplifiers**. Disponível em <<http://www.audiokit.it/ITAENG/KitElettr/AudionoteKit/AudioNoteIndex.htm>> Acessado em junho de 2016.

BOOGIESTAN. **Mesa Boogie Roadster**. Disponível em <<http://www.boogiestan.com/mesa-boogie-roadster/>> Acessado em junho de 2016.

BOYLESTAD, Robert L.; NASHELKY, Louis. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. 11. Ed. Rio de Janeiro: LTC, c2013 xii. 766 p.

CARVALHO, Regina Pinto de. **Temas Atuais de Física: Micro-ondas**. Sociedade Brasileira de Física, 1ed. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

DENCKER, Osni. **Amplificadores Valvulados**. Disponível em: <<http://www.mundofisico.joinville.udesc.br/index.php?idSecao=1&idSubSecao=&idTexto=4>>. Acessado em junho de 2016.

DIYSTOMPBOXES. **Which diy bass preamp?**. Disponível em: < <http://www.diystompboxes.com/smfforum/index.php?PHPSESSID=842ee1ddd41a2ae9f2d061eed5c773c1&topic=101898.20>> Acessado em novembro de 2016.

EBAY. **1967 Fender Twin Reverb Blackface Vintage Tube Amplifier 2x12 AB763 Circuit**. Disponível em:< <http://www.ebay.ca/itm/1967-Fender-Twin-Reverb-Blackface-Vintage-Tube-Amplifier-2x12-AB763-Circuit-/172392908792?hash=item28236b07f8:g:dLQAAOSwclXyFqqC>> Acessado em novembro de 2016.

FRONTIERNET. **Dual channel bass/guitar blackface-style 1U preamp with transformer balanced low impedance outputs**. Disponível em: < <http://www.frontiernet.net/~jff/SonOfAlembic/SonOfAlembicF2B.html>> Acessado em novembro de 2016.

GEOFEX. **Alembic Tube Preamp F-2B**. Disponível em: <http://www.geofex.com/FX_images/alembpre.gif> Acessado em novembro de 2016.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. **Conhecendo a válvula magnetron**. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/conhecendo-v%C3%A1lvula-magnetron-luiz-mazzucca>> Acessado em junho de 2016.

INTEGRANDO CONHECIMENTO. **Engenharia na história: Válvulas, em caso de um apocalipse nuclear, você precisará delas**. Disponível em: <<http://www.integrandoconhecimento.com/#!Engenharia-na-hist%C3%B3ria-V%C3%A1lvulas-em-caso-de-um-Apocalipse-Nuclear-voc%C3%AA-precisar%C3%A1-delas/c193z/56a91c610cf22a61ccd4176d>>. Acessado em junho de 2016.

MAZZUCCA, Luiz. **Conhecendo a válvula magnetron**. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/conhecendo-v%C3%A1lvula-magnetron-luiz-mazzucca>> Acessado em junho de 2016.

OLX. **Amplificador Cabeçote Valvulado Giannini Tremendão T-3**. Disponível em: <<http://sp.olx.com.br/regiao-de-presidente-prudente/instrumentos-musicais/amplificador-cabecote-valvulado-giannini-tremendao-t-3-104278824>> Acessado em novembro de 2016.

SACCO, Francesco. **A história do primeiro transistor**. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/a-historia-do-primeiro-transistor/>> Acessado em novembro de 2016.

STORCH, Rudolf A. **Fundamentos de telefonia**. 7. Ed. São Paulo, Edgard Blücher, Siemens AG, 1976.