

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ**

Tecnologia em Eletrônica Automotiva

Cosme Demilson da Silva

Ivan Heinz Sagmeister

OTIMIZAÇÃO DE SISTEMA DE ÁUDIO OEM

Santo André
2018

**CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ**

Tecnologia em Eletrônica Automotiva

Cosme Demilson da Silva

Ivan Heinz Sagmeister

OTIMIZAÇÃO DE SISTEMA DE ÁUDIO OEM

Trabalho de Conclusão de Curso entregue à Fatec Santo André como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Automotiva.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Delatore

Santo André
2018

LISTA DE PRESENÇA

SANTO ANDRÉ, 10 DE JULHO DE 2018

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA
"OTIMIZAÇÃO DE SISTEMA DE ÁUDIO OEM" DO ALUNO DO 6º
SEMESTRE DESTA U.E.

BANCAPRESIDENTE:
PROF. FABIO DELATORE _____MEMBROS:
PROF. EDSON CAORU KITANI _____

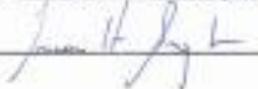
SR. NILTON SHIGUERU KODAMA _____

ALUNO:

COSME DEMILSON DA SILVA _____



IVAN HEINZ SAGMEISTER _____



FICHA CATALOGRÁFICA

S586o

Silva, Cosme Demilson da
Otimização de sistema de áudio OEM / Cosme Demilson da
Silva, Ivan Heinz Sagmeister. - Santo André, 2018. – 80f. il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2018.

Orientador: Prof. Fábio Delatore

1. Eletrônica. 2. Sistema de áudio. 3. Veículos. 4. Acústica.
5. Customização. 6. Equipamentos. 7. Amplificadores. 8.
Processadores de áudio. I. Sagmeister, Ivan Heinz. II.
Otimização de sistema de áudio OEM.

620.23

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos nossos familiares por nos apoiar nesse trabalho. Agradecemos ao professor Fabio Delatore por ser nosso orientador, e o professor Garup. Agradecemos a Coordenação do Curso de Eletrônica Automotiva pelo apoio ao projeto. Agradecemos aos nossos colegas de faculdade por nos ajudar em nossos testes e os funcionários da Faculdade por nos disponibilizar o veículo VW gol para que pudéssemos realizar o nosso projeto. Agradecemos a empresa Harman do Brasil por disponibilizar equipamentos de medições e produtos da linha JBL para montagem no veículo.

RESUMO

O sistema de áudio está se tornando um item importante com a evolução dos reprodutores de mídias, mais conhecido como Central Multimídia. Dentre as opções para o consumidor, existem diversas configurações e equipamentos no mercado automotivo, com a opção mais simples que é a troca dos altos falantes, até o chamado sistema Hi-Fi (High Fidelity ou Alta Definição), sonho de entusiastas, por contar com o que tem de melhor no mercado como amplificadores, processadores de áudio e unidade reprodutora de alta fidelidade. Baseado neste panorama, observamos um amplo mercado de acessório, onde podemos ofertar desde um sistema básico de som e chegar a um sistema customizado, com o objetivo de proporcionar ao motorista um conforto a bordo de seu automóvel para enfrentar os congestionamentos nos grandes centros urbanos ou se divertir em uma viagem. Com esse enfoque nosso trabalho tem o ponto forte de demonstrar quais são as vantagens e desvantagens em cada passo de uma otimização do sistema de áudio automotivo, desde a simples troca dos alto falantes, até um sistema com amplificadores e processamento de áudio, com avaliações através de levantamento de curva de resposta do sistema, e avaliações subjetivas por um grupo de pessoas. Com essas informações, iremos desenvolver um sistema de áudio automotivo que atenda o mercado automobilístico brasileiro, seja ele OEM ou Aftermarket.

Palavra-chave: Áudio, Acústica, Customizado, Equipamentos, Sistema.

ABSTRACT

The audio system is becoming an important item with the evolution of media players, better known as Multimedia Center. Among the options for the consumer, there are several configurations and equipment in the automotive market, with the simplest option being the exchange of loudspeakers, to the so-called Hi-Fi system (High Fidelity or High Definition), enthusiasts dream, to count with the best in the market as amplifiers, audio processors and hi-fidelity reproducing unit. Based on this panorama, we can observe a large accessory market, where we can offer a basic sound system and arrive at a customized system, with the objective of providing the driver with comfort on board of his car to face the congestion in the big urban centers or have fun on a trip. With this focus our work has the strong point of demonstrating what are the advantages and disadvantages at every step of an optimization of the automotive audio system, from the simple exchange of the speakers, to a system with amplifiers and audio processing, with evaluations through of system response curve survey, and subjective assessments by a group of people. With this information, we will develop an automotive audio system that meets the Brazilian automotive market, be it OEM or Aftermarket.

Keyword: Audio, Acoustics, Custom, Equipment, System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Manta Asfáltica na porta	17
Figura 2 - Toca fita	18
Figura 3 - CD player	19
Figura 4 - MP3 Player.....	19
Figura 5 - Centrais Multimídias	20
Figura 6 - Sistema de áudio em um sistema de Áudio Automotivo	21
Figura 7 - Alto Falante Coaxial	23
Figura 8 - Alto Falante Triaxial.....	23
Figura 9 - Kit duas Vias	24
Figura 10 - Subwoofer	24
Figura 11 - Amplificadores	30
Figura 12 - Amplificador mono.....	31
Figura 13 - Amplificador Classe A configuração seguidora de emissor.....	32
Figura 14 - Amplificador Classe B.....	33
Figura 15 - Circuito simplificado do amplificador classe B ideal.	33
Figura 16 - Amplificador Classe AB	35
Figura 17 - Crossover	41
Figura 18 - Placa DSP	46
Figura 19 - Configuração Básica de um Filtro Digital	47
Figura 20 - Software VisualDSP++	48
Figura 21 - Veículo de Teste.....	49
Figura 22 - Sistema de Som Original do VW Gol	50
Figura 23 - Medição de Tensão da Bateria	50
Figura 24 - Processador de Sinal.....	51
Figura 25 - Condicionador de Sinais	51
Figura 26 - Alinhamento dos Bancos Dianteiros	52
Figura 27 - Posicionamento dos Microfones	52
Figura 28 - Correlated Pink Noise OEM.....	54
Figura 29 - Sistema OEM com Pink Noise Uncorrelated.....	55
Figura 30 - Mesa de Som	55
Figura 31 - Headphone para teste da Avaliação Subjetiva	56
Figura 32 - Formulário da Avaliação Subjetiva.....	57
Figura 33 - Resultado da Avaliação Subjetiva	58

Figura 34 - Sistema de Áudio Com DSP.....	59
Figura 35 - Amplificador, Subwoofer e DSP.....	59
Figura 36 - Frequência de Resposta do Canal 1.....	60
Figura 37 - Frequência de Resposta com canal 3.....	61
Figura 38 - Filtro do canal 1	61
Figura 39 - Filtro do canal 3	62
Figura 40 - Filtro do Subwoofer	62
Figura 41 - Arquitetura de configuração do DSP.....	63
Figura 42 - Sistema DSP com Pink Noise Correlated	64
Figura 43 - Sistema DSP com Pink Noise Uncorrelated	64
Figura 44 - Frequências DSP x OEM Pink Noise Correlated	65
Figura 45 - Frequências DSP x OEM Pink Noise Correlated passageiro	66
Figura 46 - Frequências DSP x OEM Pink Noise Uncorrelated.....	67
Figura 47- Curva de Frequência DSP x OEM Pink Noise Uncorrelated Passageiro	68
Figura 48 - Gráfico da Avaliação Subjetiva com DSP	69

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO	12
1.1 Motivação	12
1.2 Objetivos.....	13
1.3 Justificativa	13
1.4 Metodologia	14
2.0 REFERÊNCIAL TEÓRICO	16
2.1 Áudio.....	16
2.1.1 Acústica	17
2.2 Conceitos Básicos	18
2.3 Alto Falantes.....	21
2.4 Caixas Acústicas	24
2.5 Amplificadores	28
2.5.1 Classificações Dos Amplificadores	31
2.5.3 Considerações Sobre Confiabilidade	37
2.5.4 Ruído.....	38
2.5.5 White Noise e PinK Noise.....	40
2.6 Filtros.....	40
2.6.1 Aspectos Básicos do Crossover	41
2.7 Butterworth de Primeira Ordem	42
2.7.1 Butterworth de Segunda Ordem	43
2.7.2 Butterworth de Terceira Ordem	44
2.7.3 Butterworth de Quarta Ordem.....	45
2.7 DSP	46
2.7.1 Aplicações do DSP	46
3.0 PARTE PRÁTICA	49

3.1 Sistema de Som Original	49
3.1.1 Avaliação Subjetiva do sistema original OEM	55
3.2 Sistema de Som com DSP	58
3.2.1 Aplicação de Sine Sweep	59
3.2.1 Simulação de Filtros	61
4.0 RESULTADOS OBTIDOS	65
4.1 Avaliações Subjetiva com sistema DSP	69
5.0 CONCLUSÃO	70
6.0 PROPOSTAS FUTURAS.....	71
7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
APÊNDICE	73

1.0 INTRODUÇÃO

A indústria automotiva está em constante renovação tecnológica lançando novos sistemas de gerenciamento, segurança e conforto.

Com a finalidade de proporcionar ao usuário uma melhor convivência a bordo do veículo foi observado uma forte tendência no mercado mundial em criar um ambiente integrado entre informações, conforto de áudio e visual.

Um dos temas de conforto a bordo do veículo está relacionado ao sistema de áudio embarcado, onde normalmente é composto por uma Central Multimídia e de 4 a 6 alto falantes. Porém dentro do mercado mundial, podemos observar que as montadoras de automóveis estão buscando o desenvolvimento de sistemas Premium de áudio ou parcerias com empresas especializadas para o desenvolvimento de sistemas de áudio com melhor desempenho e qualidade, onde essa linha de produto é denominada “*Branded Audio System*”, pois o sistema de áudio possuem características e assinatura musical de suas marcas, onde podemos observar atuação de empresas como Sony, Bose, JBL, Harman Kardon, Beats, Revel, Mark Levinson entre outras. Sistema de som OEM são peças manufaturadas conforme especificações da montadora, ou seja, são peças originais.

Além dessas opções, no ramo de som automotivo, existe uma grande linha de produtos de *aftermarket* onde você pode adquirir produtos em lojas para fazer upgrades nos sistemas.

1.1 Motivação

A motivação desse projeto é demonstrar quais são as reais melhorias que cada mudança no sistema de áudio automotivo proporciona ao usuário do veículo, ou seja, desmistificar algumas dúvidas do mercado como se a simples troca de dos alto falantes originais realmente proporciona melhora ao sistema.

Outra motivação é o desenvolvimento de um sistema com uso de DSP ao veículo, com o objetivo de conseguir melhorias na frequência de resposta e aplicação de *delays*, com a finalidade de buscar uma melhor performance musical, onde o usuário poderá usufruir um sistema que tenha espacialidade, profundidade e fidelidade de áudio.

1.2 Objetivos

Relatar através dos dados coletados, quais são as reais melhorias proporcionadas pelos principais *upgrades* no sistema de áudio, fazendo um comparativo de custo e benefício. E baseado na informação coletada, desenvolver um sistema de áudio *Premium*, utilizando os alto falantes e amplificadores de baixo custo e buscar um equilíbrio entre custo e performance do sistema, com a possibilidade de ofertar o sistema para montadoras automotivas como um produto OEM ou até como um acessório para as revendas de produtos *aftermarket*.

Fazer um levantamento dos padrões de áudio do sistema OEM e através de aplicações de filtros dinâmicos, realizar a otimização do áudio. Para atingir esse objetivo, iremos utilizar um DSP (processador de sinais Digitais), e amplificadores de áudio. Realizar uma análise comparativa do antes e depois entre os sistemas, básico e o sistema com processamento de sinais.

1.3 Justificativa

Através desse estudo pretendem-se demonstrar ao usuário leigo quais são as vantagens reais e desvantagens dos *upgrades* ofertados no mercado, seja o produto OEM ou *aftermarket*. E com as informações obtidas, desenvolver um sistema de som automotivo com DSP e Amplificador, onde o instalador ou usuário poderá configurar o áudio com o objetivo de buscar um áudio de qualidade e que atenda suas preferências musicais, mesmo utilizando alto falantes de entrada, ou seja, baixo custo.

Dentro desta filosofia de trabalho, demonstrar que é possível montar um sistema de áudio automotivo que possibilite ao usuário a sensação de palco sonoro, fidelidade com produtos de entrada do mercado.

Proporcionar um sistema de áudio com melhor padrão de fidelidade e desempenho, tentando desenvolver um sistema de baixo custo.

Sistemas de baixos custos geralmente tem a impressão de baixa qualidade.

Com esse projeto pretendemos mudar estigma, mostrando resultados realizados a partir de configurações personalizadas para se obter os melhores resultados dos equipamentos utilizados nesse projeto.

1.4 Metodologia

Dentro de cada estágio de melhora no sistema de áudio do veículo, será realizado o levantamento de curva de resposta do sistema com um RTA e conseqüentemente uma análise dos dados adquiridos e comparando com o estágio anterior. Além deste processo, realizaremos uma avaliação subjetiva do sistema, através de trechos de músicas pré-determinadas pelos componentes do grupo de trabalho, iremos utilizar um sistema referenciado para ouvir a playlist e a partir deste sistema, emitir notas sobre o sistema.

Desta forma teremos o seguinte processo de medições e avaliações:

1º passo: Verificar se o Reprodutor de Mídia está com os padrões de ganhos de Frequência em zero e sistema centralizado (*fade zero e balance zero*).

2º passo: Alinhar os Bancos, remover peças soltas no interior para que não provoque vibrações.

3º passo: Medir a tensão da bateria e verificar se a mesma se encontra entre 12V à 13.8V. Para as medições de longa duração, é recomendado a instalação de um carregador de bateria auxiliar.

4º passo: Fazer a Calibração do sistema com microfones, utilizando um gerador de frequência de 1kHz com ganho de 114 dB.

5º passo: Posicionar os suportes dos microfones, com o objetivo de que os 3 pares de microfones representem 3 níveis diferente de estatura dos usuários.

6º passo: Aplicar o *Pink Noise* e através dos dados coletados pelo equipamento, ajustar o nível de pressão sonora da curva de resposta para 80dB aproximadamente.

7º passo: Realizar a coleta das curvas de resposta utilizando *uncorrelated Pink Noise* e *correlated Pink Noise* para análise dos gráficos.

Após os passos anteriores, obter as medições descritas a seguir:

1. Medições do sistema Original
 - 1.1 Medições com RTA;
 - 1.2 Avaliação subjetiva;
2. Instalação de novos alto falantes;
3. Instalação de amplificadores;
4. Instalação de um Subwoofer com caixa a ser definida.

5. Instalação do DSP e medições da curva de resposta;
 - 5.1 Medição com RTA;
 - 5.2 Análise dos resultados e aplicação de filtros para correção de deficiência na curva de resposta;
 - 5.3 Medição da curva de resposta com a parametrização aplicada;
 - 5.4 Ajustes finais ao sistema e novas medições;
 - 5.5 Avaliação subjetiva;
6. Elaboração dos relatórios e gráficos.

1.5 Organizações do Trabalho

Este projeto está dividido em cinco Capítulos.

No 1º Capítulo apresenta uma breve introdução ao tema, com o objetivo e motivações, justificativas e a metodologia sobre a escolha do tema.

2º Capítulo apresenta a base teórica sobre Áudio Automotivo, relatando seu funcionamento, os equipamentos utilizados, tipos e categorias, e principalmente passando informações técnicas para ter um melhor entendimento do que serão divulgados nos capítulos posteriores.

3º Capítulo será o desenvolvimento do trabalho na parte prática, onde serão divulgados os testes, que serão feitos, os equipamentos que serão utilizados nesse projeto e relatando os resultados encontrados, através de tabelas, gráficos e outros métodos que sejam adequados e pertinentes.

4º Capítulo apresenta as conclusões desse projeto, relatando os prós e contras, se o projeto é viável ou não e se atingiu as expectativas esperadas.

5º Capítulo apresenta as referências bibliográficas.

2.0 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo vamos descrever toda a base teórica dos sons e posteriormente descrever os equipamentos, com suas características, funções e sua aplicação, para um melhor entendimento do leitor.

2.1 Áudio

Qual é a natureza física do som? No começo, podemos afirmar que a geração, a propagação e a percepção do som estão ligadas a vibrações mecânicas ou oscilações. Em alguns casos, podemos nos convencer imediatamente deste fato, por exemplo, tocando nossa laringe ao falar ou cantar. Da mesma forma, as vibrações das máquinas produtoras de ruído podem ser sentidas com a mão, se a vibração não pára, nenhum som é ouvido. (KUTTRUFF, 2007.P.2)

As vibrações das cordas de um instrumento musical estão relacionadas ao comprimento das cordas, para sentir as oscilações em alguns casos são utilizados dispositivos de medição especiais.

Muitos sons tem a qualidade tonal brilhante ou abafado, por exemplo, corpus de um instrumento musical de cordas, membrana de um alto falante.

O Volume está relacionado com a amplitude, sons com volumes altos a amplitude sobe e sons com volumes baixos a amplitude desce.

A frequência é uma onda senoidal, sendo um número de vezes onde o sinal repete em uma unidade de tempo, com sua unidade dada em HERTZ.

Cada instrumento de som tem sua frequência bem definida, uns tem tons graves, médio e outros tem tons agudos.

- Tons Graves tem frequência entre 20 e 300 Hz.
- Tons Médios tem Frequencia entre 300 e 2000 Hz ou (2 kHz).
- Tons Agudos tem frequência entre 2000 a 20000 HZ ou (20 kHz).

O ouvido humano possui a capacidade de perceber sons graves até os Agudos, na faixa de frequência entre 20 Hz até 20 kHz.

2.1.1 Acústica

“A acústica é a ciência do som e lida com a origem do som e sua propagação, em espaço livre, ou em canos e canais, ou em espaços fechado. É à base de muitos fenômenos fundamentais e também de numerosas aplicações práticas” (KUTTRUFF, 2007, P.4).

A Acústica nos automóveis depende de muitos fatores como o tipo de carro, a localização dos alto falantes, o material utilizado para revestir as caixas acústicas, por exemplo, mas não são somente essas as causas, existem limitações para ter uma reprodução sonora em alta fidelidade, devido às variadas características como intensidade dos ruídos de fundo, quanto á geometria e ao tratamento acústico que será aplicado.

Um automóvel do tipo sedan tem um rendimento inferior a um automóvel do tipo SUV ou perua em frequências graves por causa da localização onde são instalados os Subwoofer.

No entanto, um automóvel normalmente não é concebido com o objetivo de apresentar excelente resposta eletroacústica. Além da geometria desfavorável, paredes quase paralelas com vidros, e excesso de revestimento absorvedor, ainda contribui negativamente o posicionamento dos alto-falantes com relação aos usuários. (HERRERA. 2016, P.66).

Para melhorar a acústica dos automóveis, são utilizados manta asfáltica principalmente nas portas, barrando as vibrações sonoras externas e criando um ambiente interno com uma qualidade acústica excelente, com os vidros fechados.

Figura 1 - Manta Asfáltica na porta



Fonte: Revista Automotivo

2.2 Conceitos Básicos

O mercado de som automotivo é bem diversificado, com várias empresas, e um número enorme de produtos. Uma infinidade de configurações hoje em dia está disponível aos consumidores, desde sistemas básicos, quanto sistemas complexos e com alta fidelidade de som.

Os sistemas de sonorização automotiva se distinguem dos demais sistemas eletrônicos embarcados num veículo de baixo custo tanto pela complexidade de suas funcionalidades quanto pelo seu critério de desempenho, que é a qualidade sonora percebida pelo usuário. (HERRERA, 2016, P.36).

Uma mudança importante foi à transição dos players de Áudio, que por muitos anos foram utilizados o toca fitas, onde era usada fita cassetes. Posteriormente vieram os CD-Players onde eram utilizados CD's de áudio. Antigamente se quisessem ouvir uma grande quantidade de música, era necessário uma disqueteira, um equipamento onde são armazenados até doze cd's de áudio, podendo fazer uma seleção do áudio para ser ouvidas.

Figura 2 - Toca fita



Fonte: <http://www.thevolksshop.com.br>

Sendo o rádio o único componente ativo nos sistemas atuais, cabe a ele implementar a maioria das funcionalidades inerentes ao sistema de sonorização. (HERRERA, 2016, P.40).

Uma evolução dos CD Players foi o lançamento dos MP3 Players onde as músicas eram em formato digitais, onde se compactava esses arquivos de áudio, tendo uma variedade enorme de músicas. Com o lançamento de players de áudio como o Ipod da Apple, esses formatos de áudio se popularizaram, se tornando uma

grande oportunidade de substituir os CD's de áudio nos automóveis, trazendo muito mais praticidade e uma gama infinita de opções.

Figura 3 - CD player



Fonte: www.sony.com

A maioria dos aparelhos de MP3 players automotivos conta com entradas auxiliares onde os aparelhos digitais podem ser conectados para transferir ou ouvir músicas, ou possuem entradas USB onde são utilizados para transferências de músicas por *pendrive* por exemplo.

Figura 4 - MP3 Player



Fonte: www.sony.com

Nos últimos anos centrais multimídia como o *Mylink* utilizados nos automóveis da GM, que pode ter navegador GPS. Esses aparelhos são totalmente digitais baseados em ícones, onde há interação com o Android auto e a Apple Carplay.

“Escutar músicas ou notícias, assistir a filmes, comunicar-se pelo telefone ou com o próprio veículo: essas são algumas das principais atividades de um usuário relacionadas a áudio dentro de um automóvel”. (Herrera, 2016, P.37)

Figura 5 - Centrais Multimídias



Fonte: www.sony.com

Telas em LCD sensíveis ao toque, interação com smartphones e conexão *Bluetooth* para celular são apenas alguns dos recursos desses aparelhos. Não adianta ter um excelente player se os alto falantes não esteja de acordo, podendo assim trazer insatisfação para os ouvintes.

Assim, não deve haver diferença no nível de qualidade sonora entre esses diversos equipamentos e o sistema de áudio automotivo. Além disso, deve existir compatibilidade entre as mídias de armazenamento e também entre os formatos de codificação do sinal de áudio. (HERRERA, 2016, P.38).

Para ter a integração no sistema de som automotivo, novas tecnologias foram criadas, onde antes só poderia ouvir áudio nos veículos, hoje em dia também pode se falar com essas tecnologias para não desviar a atenção do motorista, garantindo mais segurança na condução do veículo. Para que isso seja possível, microfones foram instalados nos veículos, telefone pode ser conectar ao rádio e fazer ligação por voz, mídias digitais como pen drive pode ser usada para reproduzir músicas em rádios.

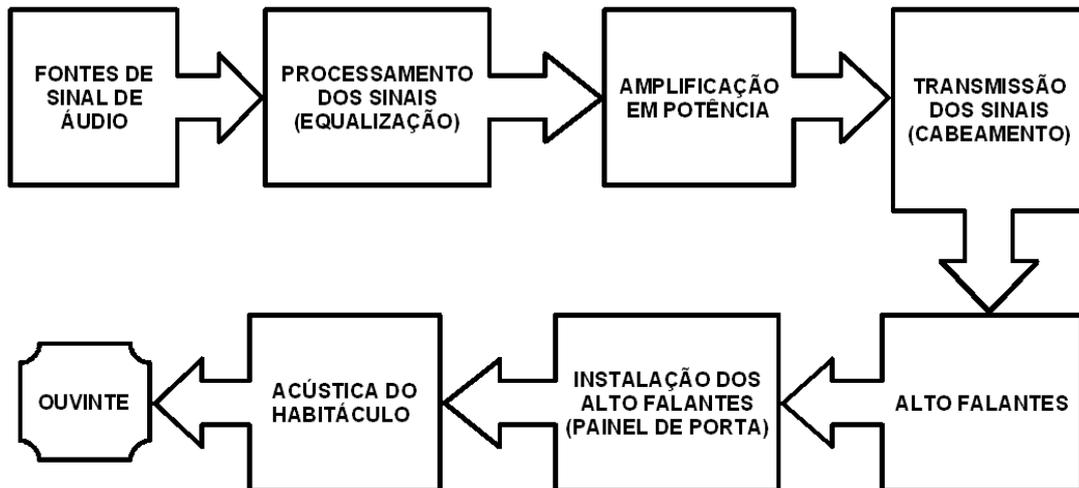
“Antes de serem convertidos em som, os sinais de áudio precisam ser amplificados e transmitidos através de um cabeamento relativamente longo. Isso porque o amplificador de potência é, normalmente, instalado no rádio, enquanto os alto-falantes situam-se nas portas e/ou na tampa do portamalas”. (HERRERA, 2016, P.39).

Os veículos mais simples geralmente saem de fábrica com componentes básicos como um aparelho de rádio, alto falantes ou com preparação para a instalação e os cabos, uma antena receptora que pode ser externa ou interna.

Sinais de áudio são condicionados, decodificados, processados e amplificados pelo rádio assim enviados para os alto-falantes para que se possa ouvir o som no habitáculo do veículo.

A figura abaixo mostra diversas etapas de um sistema automotivo.

Figura 6 - Sistema de áudio em um sistema de Áudio Automotivo



Fonte: Tese de Doutorado Universidade federal de Minas

2.3 Alto Falantes

O alto falante tem a função de converter a energia elétrica em energia acústica, mas cada tipo de alto falante tem suas características, geometrias distintas e dependerá do material utilizado, pois dependendo de onde será instalado deverá suportar a diversas condições ambientais dentro do veículo.

“No projeto de um automóvel, fatores como estética, segurança e desempenho (do veículo) são prioritários e os alto-falantes são desenhados para atender a esses fatores, mesmo que seja em detrimento da sua qualidade de áudio e eficiência”. (HERRERA. 2016, P.48).

Vários tipos de alto falantes são usados nos veículos, mas definir qual é o mais adequado é complicado, pois cada tipo tem uma finalidade específica e características que os diferenciam.

Os principais tipos de alto falantes são o Subwoofer, Woofer, Mid-Bass, Mid-Range e o Tweeter.

Subwoofer são alto falantes projetados para reproduzir baixas frequências entre 20 e 300 Hz. Para obter graves em carros do tipo Hatch são utilizados caixas Dutadas. Já em carros do tipo Sedan a melhor opção são as caixas Band-Pass.

Os tamanhos dos Subwoofer ficam entre 8, 10, 12, 15, e 18 polegadas.

Alguns parâmetros são importantes na utilização dos Subwoofers, para que se obtenha a melhor performance desse alto falante, a seguir a descrição dos principais parâmetros:

Caso for utilizar mais de um Subwoofer, o ideal é fazer associações para que se tenha uma potência adequada. Duas associações são utilizadas, Série e paralela.

- **Série:** Esse tipo de Subwoofer tem duas bobinas, com cada bobina um terminal positivo (conector vermelho) e um terminal negativo (conector preto) possuindo quatro terminais em sua composição. Um polo positivo da primeira bobina é ligado no polo negativo da segunda bobina, com isso sobra um polo positivo da segunda bobina e um polo negativo da primeira bobina. Assim como na ligação em série da bobina simples, soma as impedâncias, para se obter a potência total, soma as potências de cada bobina.
- **Paralelo:** É o inverso da ligação série, liga-se o positivo da primeira bobina com o positivo da segunda bobina e o negativo da primeira bobina com o negativo da segunda bobina, resultando na metade da Impedância das bobinas, mas o Dobro da potência para cada bobina.

O Subwoofer para ter um melhor desempenho é ideal trabalhar em uma caixa acústica e em conjunto com um amplificador, pois somente os players de áudio não possui a capacidade para entregar os parâmetros desejáveis para um som de qualidade.

Mid-Bass reproduz as frequências médio-grave (Bumbo, Tambor), seu tamanho varia de 6 a 8 polegadas.

Mid-Range Reproduz as frequências médias, ou seja, 90% dos sons audíveis (voz e a maioria dos instrumentos). Faixa de frequência de 200Hz a 2,0 kHz. Seu tamanho varia de 4 a 6 polegadas.

Tweeter Alto falante para sons agudos (metais, pratos de baterias). Faixa de frequência de 2kHz a 20kHz. Seu tamanho varia de 0,5 a 3 polegadas. Geralmente, é instalado junto do painel ou das portas dianteiras, pois emite um som direcional.

Para quem procura um som mais básico os Alto falantes mais indicados são os alto falantes coaxiais e os triaxiais, pois já são constituídos de alguns alto falantes citados acima em um mesmo conjunto, trazendo como benefício o preço.

Os **coaxiais** são alto falantes que possuem um Mid-Bass e um Tweeter na mesma carcaça, seu tamanho variam entre 4 e 6 polegadas. Eles reproduzem o som básico com médios e agudos, mas podendo haver pequenas distorção no som por causa da distribuição das frequências.

Figura 7 - Alto Falante Coaxial



Fonte: www.jbl.com.br

Os **Triaxiais** são alto falantes que na mesma carcaça possui um Mid-Bass, um Mid-Range e um Tweeter. Para reproduzir frequências de 50Hz a 20kHz. Seu tamanho varia de 6 a 6x9 polegadas. São os mais utilizados em som de fábrica nos automóveis.

Figura 8 - Alto Falante Triaxial



Fonte: www.jbl.com.br

Para um som com uma melhor qualidade, o ideal é ser utilizado um **Kit Duas Vias**, diferentemente dos altos falantes coaxiais e os Triaxias, o kit Duas Vias é um conjunto que utiliza um crossover que funciona como um divisor de frequência

separando as frequências do Tweeter e do Mid-Bass. Os tamanhos são de 5 ou 6 polegadas. É recomendável ser montado o Kit Duas Vias na parte dianteira do automóvel para que tenha uma sensação acústica mais satisfatória, principalmente o Tweeter que é um alto falante que fica direcionado para os ocupantes, proporcionando uma excelente qualidade sonora. Geralmente sua posição é na coluna A do veículo.

Figura 9 - Kit duas Vias



Fonte: www.jbl.com.br

Mesmo com a qualidade dos sistemas dos kits duas vias, pode haver falta de grave nos veículos. Nesse caso o ideal será utilizar alto falantes Subwoofer, onde as batidas mais longas podem ser ouvidas mais longes, criando uma sensação única para os ouvintes.

Figura 10 - Subwoofer



Fonte: www.jbl.com.br

2.4 Caixas Acústicas

Caixa Acústica deve ser usada sempre que for utilizar principalmente Subwoofer. Mas saber qual tipo usar, é complexo, pois depende de várias

características, como o tipo de automóvel que será utilizado, o espaço físico da porta mala, a potência do Subwoofer entre outros parâmetros. Os principais tipos de caixas acústicas são as Seladas, Dutadas e Band-Pass.

Devido à facilidade de controlar suas respostas transitórias e em amplitude e, devido à relativa simplicidade de se obter os valores corretos para os parâmetros de caixa, o sistema tipo caixa fechada é, provavelmente, a melhor opção para a construção caseira, especialmente para quem for inexperiente. (DICKASON, 2005, p.25)

As caixas seladas são as caixas que obtém as melhores reproduções para quem gosta de MPB, Pop, Rock e dance, por produzirem sons graves puros e profundos por terem uma resposta plana.

De todos os tipos de caixas acústicas é a ideal para quem está começando por sua facilidade na montagem e na parte dos cálculos que devem ser realizados, proporcionando uma ótima qualidade.

As caixas Seladas suportam que alto falantes com potências maiores sejam usados, tendo baixa distorção por causa ao bom controle do cone, apresenta boa resposta a variações rápidas de som e possibilidade de se conseguir respostas planas.

A caixa Dutada tem uma diferença se comparado com a caixa Selada porque utiliza um duto de sintonia, que funciona como um emissor sonoro, trazendo boas respostas em baixas frequências. É uma caixa ideal para batidas Estendidas, como em Axé, Sinfônicas, Jazz. Não é tão fácil de construir como as caixas seladas, pois seus cálculos têm que ter mais cuidado na hora de se projetar as caixas acústicas para obter um som adequado ao que se espera. Esse tipo de caixa apresenta distorções no som. A resposta de graves, SPL são inferiores as das caixas seladas, mas tem uma vantagem sobre as caixas seladas que é sua utilização em ambientes abertos.

As caixas do tipo *Band-Pass* é a que tem sua construção mais detalhada e cálculos mais difíceis, que deve ser minuciosamente elaborados, sendo uma combinação entre a caixa Selada e a caixa Dutada, e seu tamanho maior que os outros tipos de caixa ocupando mais espaço no porta mala dos automóveis, mas apresenta um SPL maior que as caixas Seladas e Dutadas.

Consistem em dois volumes, um selado e o outro com duto sintonizado. O alto falante é posicionado entre os dois recintos acústicos, os quais possuem dimensões críticas, e não fica visível. Fica interno na caixa.

Quando se procura um grave realmente poderoso no interior de ambientes, como automóveis, salas, ou quando ao ar livre, todas estas caixas podem ser protegidas de modo a produzirem um pico na curva de resposta, próximo à frequência de ressonância do local.

Para montar caixas acústicas, muitos cálculos devem ser feitos, diversos fatores podem influenciar no som, na qualidade e na resposta esperada do conjunto caixa acústica e alto-falante.

Hoje em dia essa tarefa é facilitada por programas CAE (*Computer Aided Engineering*), que fazem projetos mais rapidamente e com um nível de precisão incrível. O software LEAP (*Loudspeaker Enclosure Analysis Program*) é um software profissional desenvolvido pela Audio Teknology.

Parâmetros como rendimento, que é uma referência de eficiência, potência acústica de saída são importantíssimos para montagem da caixa acústica.

“O rendimento de referência depende, principalmente, dos parâmetros do alto-falante e não da caixa acústica (sendo essa de radiação direta)”. (DICKASON, 2005, p.34).

Caixas acústicas precisam ter revestimento para que possa ter uma conciliação do volume e qualidade total. Existem alguns parâmetros da caixa:

Aumento da Compliância equivale a um aumento de volume, só por utilizar materiais como lã de vidro, Dacron e lã com longas fibras. Aumento da eficiência. A seleção apropriada da quantidade, tipo de material e local de aplicação dentro da caixa, pode levar a um aumento na eficiência de até 15%.

Alteração da massa, o material de revestimento interno tem a potencialidade de alterar a massa móvel do sistema.

“Par é a maior potência acústica que pode ser fornecida por um alto falante, trabalhando em sua região linear, sem distorção excessiva”. (DICKASON, 2005, p.36).

Perdas de amortecimento, um dos materiais mais utilizados é a lã de vidro, que pode mudar o comportamento da caixa.

Caixa *Band-Pass* (passa faixa) é um tipo de caixa fechada, com um filtro passa faixa em série com a irradiação frontal do falante. Esse tipo é mais flexível que as caixas seladas na questão da escolha dos falantes.

Aspectos construtivos e mecânicos das caixas dependem de diversos parâmetros, um deles é o tipo de material utilizado por exemplo. A caixa acústica isola as ondas sonoras no interior, mas sua construção tem que ser bem elaborada para que não vibre junto do alto falante. O material utilizado principalmente nas paredes das caixas acústicas é a madeira, sendo o compensado, o aglomerado e o MDF, os principais tipos.

Compensado é muito utilizado por ser um material rígido, muito fácil de ser encontrado.

Aglomerado é um material feito de serragem prensada com cola, não podendo ser exposto a umidade, o que o torna um material frágil porque não aceita usar pregos.

O material mais utilizado é o MDF que significa “fibra de média densidade”, uma madeira rígida e pesada, apresentando boas qualidades de amortecimento, também pode utilizar parafuso, assim como o aglomerado.

A maneira de se montar uma caixa também influi em seu resultado final. Todo corpo possui uma frequência natural de vibração. Isto inclui as paredes da caixa também. Cada parede terá um modo de vibração que vai depender de suas dimensões, massa, etc.

Manta acrílica, lã de vidro ou rocha, pasta de algodão, espuma acústica, são alguns dos materiais utilizados para absorver estas reflexões internas a caixa. Não são muito eficientes se forem coladas nas paredes, a não ser que em camadas.

Um material amortecedor é aplicado, mesmo assim se tiver vibração, aplica-se um material absorvente. A vedação da caixa acústica é muito importante, pois se tiver vazamentos de ar, ocasiona perdas e redução do rendimento. Massa de calafetar, massa plástica, ou até cola misturada com serragem devem ser passadas em todas as junções internas da caixa.

2.5 Amplificadores

O amplificador de áudio tem a função de amplificar um sinal recebido de sintetizadores, toca-fitas, CD players em forma de som pelos alto falantes.

O amplificador não pode alterar a forma de onda original e deve operar sem reproduzir distorções audíveis.

Os amplificadores de potência para sinais de áudio são circuitos especiais que se destinam a acionar alto-falantes com máxima fidelidade sonora. Para tanto, normalmente é empregada realimentação negativa, que também aumenta a rejeição do amplificador a ruídos oriundos da linha de alimentação. (HERRERA. 2016, P.43).

Amplificador de áudio tem a função de elevar um sinal elétrico, o amplificador recebe um sinal elétrico de algum equipamento emissor (CD-Player, DVD-Player) e este sinal depois do amplificador fica mais intenso, ou seja, amplificadores de potência tem a de transformar os níveis de linha em grande sinal de amplitude, onde que na saída destes amplificadores tem constata de impedância, mas elevando os níveis de amplitude causa uma variação de impedância que pode atingir poucos Ohms, e como os alto falantes possui pouca impedância, acaba como consequência da elevação de amplitude um ganho considerável de corrente.

“Amplificadores são projetados para atender a critérios relacionados a distorção, ruído e resposta em frequência. Além disso, devem apresentar imunidade a interferências externas, como ruídos na linha de alimentação”. (HERRERA. 2016, P.45).

No mercado existem laterais pré-moldadas ou pode ser fixado em uma chapa de madeira, geralmente MDF com aproximadamente 20 mm, parafusado atrás do banco traseiro. O material Utilizado para revestir é o Carpete, dando um acabamento bem mais requintado. Mas um cuidado que se deve ter é o seu acesso, caso precise fazer manutenções, e o local deve ser bem ventilado, para que se dissipe o calor gerado, senão poderá danificá-lo.

O amplificador não pode ficar solto no porta mala do automóvel, é preciso fixá-lo utilizando todos os parafusos, conforme os locais de fixação, pois em caso de acidente e ele estiver frouxo, pode se soltar e acertar os ocupantes, caso o

automóvel for do tipo *Hatch*, fora o risco dos fios se soltarem e provocar curto circuito se ele não estiver bem fixado.

Um *relay* é recomendado para acionar equipamentos, para evitar queima da saída da unidade central, por causa da grande demanda de energia no fio de acionamento.

O sistema elétrico do carro muito das vezes não está adequado ao uso de muitos equipamentos como vidros elétricos, ar condicionado e equipamentos de som, porque instalações são feitas sem o devido calculo de consumo energético que o veículo terá, sendo assim o alternador fornecendo energia suficiente. A troca do alternador por um que forneça mais Ampères será o mais adequado nesse caso.

Todo alternador tem uma capacidade de reserva, por volta de 40% da sua capacidade. Se o alternador gera 100 ampères, 40 ampères no máximo devem ser utilizados no sistema de som.

Lembrando que os sistemas elétricos do carro consomem energia do alternador, inclusive a bateria.

Para a utilização correta dos amplificadores, obtendo o melhor desempenho que se espera deles, o importante é ter o casamento ideal das impedâncias, onde a resistência é a dificuldade que uma corrente elétrica contínua tem ao passar por um componente e a impedância é a resistência à corrente variável em frequência, portanto a impedância varia com a frequência também.

Há algumas possibilidades de ligação dos amplificadores, a seguir uma descrição de cada uma:

Agora que já sabemos os tipos de ligações que existem iremos apresentar os tipos de potencias que devemos saber, para eu não haja confusão na hora de utilizar o Subwoofer.

Potência RMS é a potência real que esse amplificador fornece aproximadamente. O som que escutamos é gerado por várias senóides complexas se não tiver distorção o amplificador fornecerá menos que o estabelecido. Agora se o amplificador aumentar a distorção por trabalhar com senóide quadrada ele fornecerá mais que o especificado. Geralmente essa informação vem no manual do produto.

Para medir a potência dos amplificadores, uma norma DIN é utilizada, que no caso é a 45000, pois é preciso ter um valor preciso tanto na entrada do amplificador como na saída.

A potência RMS contínua (*Continuous Power*) é alimentada entre 12,6 e 14,4 V, onde a distorção harmônica (THD) não ultrapasse a 1%.

Para medir o *Peak Power* (Potência RMS de pico) encontram-se valores de potência maiores, mas em tempo reduzido. Para se encontrar a potência RMS Peak Power, basta multiplicar a potência RMS *Continuous Power* pelo fator de 1.1.

Já a denominação PMPO (*Peak Music Power*) indica qual a potência máxima o amplificador pode fornecer, mas não existe uma norma a ser seguida. A potência PMPO varia entre 4 a 15 vezes a potência RMS Contínua. Portanto a potência mais ideal a ser considerada na utilização do amplificador é a potência RMS.

- **Amplificador Estéreo** é amplificador que utilizar dois canais independentes, geralmente o canal *low* é utilizado para sinal graves (Subwoofer e Woofer) e o canal *high* é utilizado para sinais agudos (alto falantes como o tweeter). O amplificador estéreo é um amplificador mais ideal e o mais próximo para que o usuário tenha uma melhor nitidez.

Figura 11 - Amplificadores



Fonte: www.jbl.com.br

- **Amplificador Mono** - Este Amplificador não tem a capacidade de fazer a separação nos canais, ele recebe um sinal e devolve em um único canal, este amplificador faz uma mistura dos sinais.

Figura 12 - Amplificador mono



Fonte: www.jbl.com.br

Distorção é uma deformação no sinal senoidal, um sinal entra no amplificador e em sequência esse sinal é tratado e sai com maior amplitude, mas distorção é causada pelo componente não linear. Idealmente seria um sinal de saída igual com sinal de entrada, mas com sua amplitude elevada.

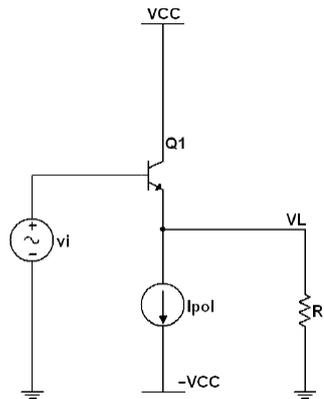
2.5.1 Classificações Dos Amplificadores

- Classe A

Esta classe tem como característica ter baixa distorção, mas como consequência, o sinal de saída é a soma de dois transistores, o máximo de rendimento deste amplificador é de 50% na instalação *push-pull* e em uma instalação simples 25% o resto é perda em calor.

Na de amplificadores classe A, o fluxo de correntes continua em todos os dispositivos de saída durante todo o ciclo do sinal. Em outras palavras, o viés de saída é ajustado de modo que a corrente do sinal através de cada dispositivo de saída flua para 360 graus completos do sinal. (SLONE. 1999, P.160).

Figura 13 - Amplificador Classe A configuração seguidora de emissor



Fonte: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Em termos simples, os amplificadores de classe A não são práticos. Isto é especialmente verdadeiro quando consideramos que o amplificador moderno da classe B pode facilmente alcançar níveis de distorção abaixo de 0,01 por cento ao longo da largura de banda de áudio. (SLONE. 1999, P.160).

Nesta classe de funcionamento está sempre presente uma corrente de polarização a percorrer o andar de saída mesmo que o sinal à entrada seja nulo. Desta forma consegue-se baixa distorção no sinal e maior linearidade quando comparada com as outras classes (B, AB, D).

Para o caso das classes B, AB, D, como funcionam com dispositivos comutados introduzem uma não linearidade na altura da comutação que não existe na classe A.

O rendimento fica por volta de 20%, tendo que utilizar dissipadores para prevenir a dissipação térmica, o que o torna pesado e grande.

- Classe B

Esta possui um rendimento maior do que classe A, mas possui uma distorção. Nesta classe possui 2 transistores que cada um trabalha em um semiciclo do sinal (positivos e negativos). Mas como um dos transistores cada semiciclo na transição entre os transistores acontece uma distorção chamada de *cross-over*.

Cross-Over é uma distorção que ocorre entre a transição entre dois transistores (PNP e NPN), para reduzir um pouco está distorção basta introduzir dois

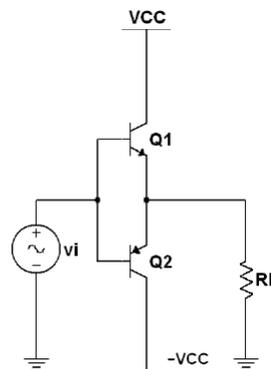
diodos na tensão de entrada. Estes diodos tem a função de adicionar uma tensão de 0,7 volts no sinal senoidal, pois a queda de tensão de V_{be} (Tensão Base Emissor) é justamente 0,7 volts, ou seja, acaba atribuindo uma tensão para que faça uma compensação no V_{be} . Mas para polarização estes diodos necessitam introduzir dois resistores, para saber qual resistor deve ser posto, basta calcular a corrente sobre a tensão de 0,7 volts (que é a corrente de polarização do diodo).

Essa é solução mais simples, porém ainda existe uma pequena distorção causada pela polarização do V_{be} , mas melhor consideravelmente a distorção que passa em um sistema de áudio é muito significativa. Teoricamente esta classe eleva o seu rendimento para cerca de 78,5% e na pratica fica entre 50% e 60%, comparando com o amplificador anterior não aquece tanto.

Para o caso da amplificação classe B já se consegue um rendimento energético máximo de 78.5%, que é obtido quando a tensão de saída tem amplitude máxima igual à tensão de alimentação.

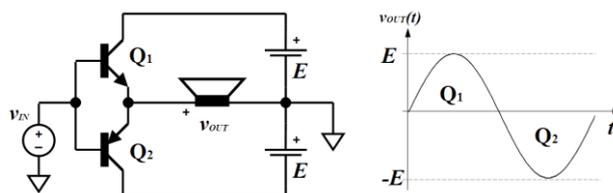
Assim sendo, esta classe de amplificação aumenta o aproveitamento energético, mas aumenta também a distorção na onda de saída.

Figura 14 - Amplificador Classe B



Fonte: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Figura 15 - Circuito simplificado do amplificador classe B ideal.



Fonte: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Em um amplificador de classe B existem três etapas de ganho. A primeira etapa está relacionada ao consumo de energia, a segunda está relacionada ao ganho de tensão e consumindo pouca energia e a terceira é a dissipação de potência.

Na Figura são apresentadas as formas de onda simuladas da tensão e potência de saída (v e p), juntamente com a tensão entre coletor e emissor (v_{ce}) e a potência dissipada (p_{ce}) em um dos transistores de um amplificador classe B ideal. Nessa simulação o amplificador alimenta uma carga resistiva unitária com tensão de pico (v_{pico}) de saída também unitária, assim como a tensão de alimentação. A forma de onda da corrente de saída, então, coincide exatamente com a forma de onda da tensão de saída.

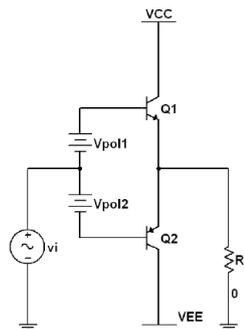
- CLASSE AB

É uma junção entre o amplificador classe A e classe B, ou seja, utiliza a corrente de polarização de transistor de saída, que serve para eliminar a distorção, porém como consequência há uma perda de potência no rendimento. É um amplificador que trabalha a 180 graus do ciclo de sinal.

Ou seja, na região de Crossover, enquanto todos os dispositivos de saída estão conduzindo de forma simulada, seus fatores de ganho atuais estão dobrando (ou seja, somando), criando uma inclinação severa na linearidade.

Tanto a análise de fourier como a análise de distorção demonstram que esse efeito de duplicação faz com que os harmônicos de distorção sejam ruins como se os dispositivos de saída estivessem gravemente prejudicados. O funcionamento da classe AB também provoca uma maior dissipação de energia no amplificador, diminuindo a eficiência e a confiabilidade. Uma vez que o funcionamento da Classe AB não oferece vantagens e serve apenas para degradar a linearidade e criar problemas de calor adicionais, deve ser rejeitado como uma "boa idéia que simplesmente não se separou". (SLONE. 1999, P.163).

Figura 16 - Amplificador Classe AB



Fonte: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Como forma de resolver os problemas das perdas energéticas sem diminuir a “qualidade” do sinal amplificado, juntaram-se as melhores características de cada uma das classes A e B, respectivamente. Juntando o princípio de funcionamento da classe A, que amplifica o sinal sem lhe introduzir não linearidades, e o princípio de funcionamento da classe B, que utiliza dois dispositivos, para amplificarem cada uma das arcadas do sinal de entrada individualmente, obtêm-se a classe AB. Isto é implementado deixando que os dispositivos se encontrem ligados ao mesmo tempo por um curto período.

Assim cada interruptor conduz durante pouco mais de metade de cada ciclo de onda, fazendo com que o sinal amplificado continue a ser linear durante a passagem por zero no sinal de entrada.

Na Figura apresenta-se um amplificador classe AB no qual se ilustra a inclusão de tensões de polarizações, V_{pol1} e V_{pol2} que garantem as tensões mínimas de polarização dos Classes de amplificação transístores Q1 e Q2. Deste modo elimina-se a descontinuidade da tensão de saída existente na classe B.

- CLASSE D

O mercado de som automotivo precisava ter um amplificador que tivesse um melhor aproveitamento energético se comparado com os outros tipos de amplificadores, então apareceu o Amplificador de classe D, que vem se tornando o mais popular.

A amplificação de Classe D é totalmente diferente de qualquer outro agrupamento de classe na medida em que envolve a destruição completa do sinal

analógico original, dois processos de conversão e uma reconstrução final do sinal original. (SLONE. 1999, P.163).

Amplificador que fazem chaveamento, através de uma comutação de tensão de alimentação, seu rendimento é elevado, porém com uma distorção de menor qualidade do amplificador classe A e amplificador classe B. Uma explicação simplificada do processo é algo assim.

O sinal de nível de linha analógico original é amplificado por tensão e convertido em uma onda quadrada de alta frequência, com o sinal analógico modulado no ciclo de trabalho da onda quadrada. (SLONE. 1999, P.163).

O amplificador classe D utiliza interruptores de potência totalmente controlados, que são comandados, por uma modulação de largura de impulso (PWM) resultante da comparação do sinal de entrada com uma onda moduladora triangular. (PIRES, 2010, P.44).

A fidelidade do sinal amplificado à saída de um amplificador classe D depende, principalmente, do circuito modulador e do filtro de saída.

A qualidade da energia de alimentação do amplificador também pode comprometer a fidelidade, principalmente quando opera em malha aberta. Há sempre um compromisso entre custo, volume físico, peso, eficiência, complexidade do circuito e a qualidade de áudio no projeto de um amplificador classe D. O amplificador Classe D tem uma eficiência de energia por volta de 90%.

2.5.2 Potência de Saída e Eficiência

Existe uma relação entre quatro grandes características do sistema de som automotivo que deve ser levada em conta quando se trabalha com amplificadores de áudio. A potência que é medida em Watts RMS, a Sonoridade medida em sones, o nível de Pressão medido em Decibéis e a Frequência medida em Hertz.

Como regras de polegares, a maioria dos audiófilos assume que a potência de saída deve ser quadruplicada para dobrar o nível de pressão sonora (ou seja, um aumento de +6 dB). Esta tem sido uma tradição de longa data. A duplicação do volume subjetivo, no lado da ordem, pode exigir um aumento substancialmente maior que + 6dB e é dependente da frequência. Em termos de potência, isso significa que um amplificador de potência de áudio pode ter que produzir um aumento de dez vezes na potência para duplicar o volume subjetivo em certas frequências. (SLONE, 1999, P.67).

Uma questão que gera discussão é sobre sonoridade, pois um amplificador de áudio de 60 watts RMS não apresenta uma sonoridade maior que um amplificador RMS de 50 Watts, e aumentando o volume vai exigir um aumento da capacidade de potência de saída do amplificador.

2.5.3 Considerações Sobre Confiabilidade

Dispositivos semicondutores podem sofrer alterações de seu estado físico quando submetidos com variações de temperaturas, apesar de que os dispositivos de potencia ser construídos de diversos materiais.

Mesmo que a distorção da temperatura seja extremamente pequena, elas levarão à fadiga do material de maneira previsível. As especificações dos fabricantes de semicondutores para a taxa de tempo médio entre falhas (MTBF) em função da dissipação de energia (energia térmica) e dos ciclos térmicos são chamadas de curvas térmicas cíclicas. Em termos simples, essas curvas preveem o tempo esperado de uma falha de semicondutor com base na potência máxima que ele precisa dissipar e no número de vezes que ele passa da potência total para a dissipação de energia zero. (Slone, 1999, p.73)

O efeito Ciclo térmico está relacionado o quanto o MTFB do semicondutor aumenta em relação com a dissipação de temperatura. Com uma dissipação de aumentando o ciclo térmico diminui, no entanto se essa dissipação cair pela metade o MTBF aumentará por volta de 100 vezes.

Portanto, torna-se evidente como a confiabilidade previsível pode ser melhorada drasticamente, diminuindo a dissipação necessária de dispositivos semicondutores de energia.

Muitos métodos foram criados para melhorar a dissipação de calor em dispositivos, como dissipadores de calor maiores, mas não sendo totalmente eficiente, pois a distorção térmica que ocorre nos dispositivos semicondutores é interna na área da junção. Para que se tenha sucesso é importante dissipar não só externamente o calor mais também internamente para assim garantir uma maior confiabilidade.

Os fabricantes de amplificadores de potência de áudio, presos na disputa entre custo e desempenho, tentarão espremer cada watt possível a partir de um único par complementar de BJT. Essa atitude de projeto resulta em comprometimentos substanciais com características de confiabilidade previsíveis. No entanto, se as curvas térmicas cíclicas indicarem que os dispositivos de saída durarão além do período de garantia, o amplificador é frequentemente comercializado. (Slone, 1999, p.74).

Por isso muitos audiófilos hoje em dia preferem construir seus próprios amplificadores de áudio porque conseguem ter uma economia de dinheiro se comparado aos vendidos comercialmente investindo em estágios adicionais de transistores, melhorando a construção e garantindo uma confiabilidade maior, pois os materiais utilizados podem ser escolhidos de forma personalizados conforme as suas necessidades.

Grande parte da sociedade de áudio esotérica tem um desprezo infundado por incorporar métodos de proteção contra curto-circuito em amplificadores de potência de áudio. No entanto, um bom sistema de proteção contra curto-circuito não irá degradar a qualidade sonora de um amplificador de potência de áudio, e recusar-se a usar um é simplesmente pedir sérios problemas de confiabilidade. (SLONE, 1999, p.74)

Em instalações de sistemas de áudio automotivos, acidentes podem acontecer, como quebras de cabos, ligações erradas, por isso o uso de proteções contra curto-circuito são importantíssimo para que haja um sistema construído com segurança e confiável.

2.5.4 Ruído

O ruído é um som indesejado em qualquer sistema de alto-falante. Em um sistema de áudio de qualidade uma das características que se busca é a eliminação ou minimização desse som, para obter um som mais limpo. Fontes de ruído podem ser classificadas como zumbidos, baques, chiados crepitações e pops intermitentes.

“A lista completa de parâmetros e / ou mecanismos de distorção (isto é, distorção harmônica, distorção de cruzamento, distorção de intermodulação, distorção de corte, etc.) é por vezes erroneamente agrupada sob a classificação de ruído”. (Slone, 1999, P.66).

Em linguagem mais prática e mais simples, o ruído é gerado no estágio de entrada do amplificador de potência de áudio e consistem principalmente em ruído recombinação (gerado a partir de dispositivos ativos) e ruído Johnson (gerado a partir de dispositivos passivos, principalmente resistores).

A geração do ruído se dá na entrada do amplificador de potência de áudio onde pode ser gerado a partir de dispositivos ativos e passivos. Uma técnica de se analisar se um sistema de áudio apresenta ruído é conectar um amplificador a um sistema de áudio, diminuir a conexão de entrada e aumentar o volume (0 dBr), se ouvir um barulho no alto-falante poderá classificar de barulho.

Um zumbido em baixas frequências a cerca de 60 a 120 Hz estiver acontecendo, pode-se caracterizar com um problema no amplificador.

“Os amplificadores de potência modernos nunca devem exibir um nível de ruído superior aos níveis de ruído. O zumbido é tipicamente considerado parte dos espectros de ruído no teste de avaliação da maioria dos amplificadores de potência de áudio”. (SLONE, 1999, P.66).

A relação sinal- ruído (SNR abreviado ou S / N), tem seu valor expresso no valor médio de RMS e designada em níveis de negativo em relação a 0 dBr.

A medição de ruído na entrada dos amplificadores é normalmente um curto. Se medidos o ruído com auxílio de filtros, especificamos como ruído “não ponderada”, agora se filtros forem utilizadas, onde limitará a largura de banda de ruído durante o teste, é especificada como “ponderada” onde se emprega uma letra para definir o filtro que está sendo utilizado, por exemplo Ponderação A, sendo o mais comum.

A justificativa para ponderar uma especificação de ruído é relevante para os espectros do ruído gerado - o argumento mostra que é irrelevante medir os sinais de ruído que estão além das capacidades auditivas humanas. Na maior parte, o uso de filtros para avaliação de ruído é um método conjectural usado por alguns fabricantes para fazer com que suas especificações de produto pareçam melhores em folhetos de vendas. (SLONE, 1999, P.66).

Um ruído com 70 a 80 dB é considerado considerado excelente.

2.5.5 White Noise e Pink Noise

Há dois tipos principais de sinais utilizados sendo o *White Noise* (ruído branco) e o *Pink Noise* (ruído rosa).

No *White Noise* (ruído branco) um sinal é gerado por processos inteiramente aleatórios. Quando olhamos mais de perto para um sinal de ruído branco, notamos que a sua aleatoriedade é infinitamente, não importa quão pequeno ou grande seja o espaço de tempo observado, o sinal sempre parece o mesmo.

Isso significa que o ruído branco é um fractal onde cada ponto não pode ser definido com precisão.

Pink Noise ou ruído rosa é um tipo específico de ruído aleatório onde a densidade espectral de potência é inversamente proporcional à frequência.

É um sinal de Amplitude e faixa de 20 Hz a 20 kHz.

O nome para este tipo de ruído vem do fato de que a luz visível com este espectro de energia vai aparecer na cor rosa. É também por isso que os sinais com um na densidade espectral plana são chamados de ruído branco. (DANIEL, 2015, p.4).

2.6 Filtros

Para se obter um som de qualidade é de extrema importância extrair o máximo de eficiência dos equipamentos. Um *crossover* é um dispositivo que ajuda a melhorar a distribuição de frequências. Com ele é possível ter um ganho muito expressivo em qualidade sonora.

Para que cada componente de som opere na frequência correta é preciso um equipamento deste que faça a divisão das mesmas para que elas não operem em todas na mesma frequência.

Com isso, evita aquelas distorções nos alto falantes, perda de autonomia e até a ocasional queima do alto falante. Problemas comuns por que não utiliza o *crossover*.

Com o equipamento devidamente configurado cada item do som opera dentro da sua frequência melhorando a potência e a qualidade de som.

Figura 17 - Crossover



Fonte: Site JBL

2.6.1 Aspectos Básicos do Crossover

Os circuitos crossover podem ser do tipo série ou paralelo. Dos dois o paralelo é o preferido pela indústria e tem a vantagem de permitir cada transdutor, em um sistema multi-vias, seja tratado independentemente. Utilizando uma rede série, qualquer variação nos componentes de uma via afetará o falante da outra.

Devido ao fato de serem os circuitos em paralelos mais flexíveis e melhor adequados para aplicações.

As redes divisoras de frequência são construídas a partir de filtros com seções L/C (indutância e capacitância). Três respostas básicas, na configuração paralela.

1. **Passa-baixas** que atenuam as altas frequências e são utilizadas com os falantes de graves.
2. **Passa-alta**, que atenuam as baixas frequências e são utilizados com os tweeters.
3. **Passa-faixa** que atenuam o extremo inferior e o superior do espectro de frequência e são utilizadas com os falantes de médios.

Filtros L/C, configurados como crossovers, são basicamente circuitos atenuadores, dependentes da frequência, que depende do comportamento reativo de indutores e capacitores. (DICKASON, 2005, P.128).

A reatância capacitiva é inversamente proporcional à frequência enquanto a indutância reativa é diretamente proporcional.

A atenuação dos Filtros é expressa em dB/oitava, sendo 6 dB/oitava para filtros de primeira ordem, 12 dB/oitava para filtros de segunda ordem, 18dB/oitava para filtros de terceira ordem e 24 dB/oitava para filtros de quarta ordem.

Outra característica são as frequências de ressonância, onde é a frequência que a reatância dos componentes se iguala, correspondendo a frequência de cruzamento.

O fator de qualidade Q de um filtro é definido da mesma forma que se aplica ao falante e à caixa acústica, isoladamente ou em conjunto.

O produto L e C determina o valor da frequência de ressonância o que significa que alterando ambos, de modo de manter constante o produto, a frequência de ressonância não sofreria modificação.

No caso de um filtro de segunda ordem, o valor de Q e o forma da curva de resposta são controlados pelo cociente entre L e C. os diferentes valores de Q implicam diferentes características, e foram batizados com o nome do engenheiro que primeiro descreveu a respectiva resposta, tendo acontecido isso com o Butterworth (Q=0.707).

2.7 Butterworth de Primeira Ordem

Segundo “DICKASON (2005), o crossover de Butterworth de primeira ordem tem uma resposta mínimo sendo um circuito passa tudo”.

As saídas desse crossover produzem uma resultante plana, com a frequência de cruzamento correspondendo a – 3 dB na amplitude.

A diferença entre as fases de cada uma das vias será de 90°, em todas as frequências e a superposição dos sinais será perfeitamente plana.

Devido a diferença de fase de 90°, uma inclinação de –15° ocorrerá verticalmente na resposta polar estando os falantes de graves e agudos separados por uma distância correspondente a um comprimento de onda da frequência de cruzamento (+ 15° para os falantes ligados invertidos entre si).

Essa ligação invertida exhibe características de fase do tipo passa-tudo, não apresentando característica de fase mínima, com a ligação normal.

A característica de fase mínima dos filtros Butterworth de primeira ordem existe somente em uma faixa estreita, o que requer um alinhamento quase exato dos falantes.

A resposta em amplitude, a de fase e o retardo de grupo, corresponde a um deslocamento de 1.27 cm. A fase e o retardo de grupo não mais correspondem a uma rede de fase mínima, e a resposta de frequência apresenta uma larga depressão de aproximadamente 2.5 dB.

As respostas para deslocamento de 2.5 e 5 cm indicam variações na resposta de até 10 dB, ao longo de mais do que seis oitavas. Assim vemos que o filtro Butterworth de primeira ordem é muito sensível ao alinhamento dos falantes.

Além disso, também é muito influenciado pela frequência de ressonância do falante, quando dentro da região de atenuação do filtro. Esse fato, somado à atenuação insuficiente para impedir a distorção e a inclinação da resposta polar dependente da frequência, aparentemente fazem desse circuito simples uma péssima escolha para utilização em caixas acústicas. No entanto, alcançou grande popularidade e é alvo de uma espécie de culto em certos círculos de “audiofilos”.

Uma vez que essa preferência não foi universalmente aceita, e a superioridade auditiva das redes de fase mínima não foi ainda comprovada, a escolha contínua subjetiva, sendo parte do que podemos considerar a “arte” do projeto de caixa acústicas.

2.7.1 Butterworth de Segunda Ordem

Essa configuração foi, por certo tempo, a preferida dos fabricantes, sendo abandonada em favor das redes passa-tudo, sem deslocamento entre os falantes. A fase para a ligação normal é de 180° , o que causa um ponto de nulo na resposta, enquanto a resposta com inversão de polaridade nos falantes apresenta um pico de + 3 dB.

Muitos recomendam essa ligação invertida, mas o sucesso disso vai depender do alinhamento dos falantes. O Q do filtro vale 0,707 e o retardo do grupo global mostra um pequeno aumento logo abaixo da frequência de cruzamento (o retardo de grupo é o mesmo para as respostas PA e PB, e a superposição de ambas, com polaridade normal e invertida).

Todos os filtros de segunda ordem são menos sujeitos ao efeito de deslocamento horizontal dos falantes que os de primeira ordem. Com 2.5 cm praticamente não há alteração, e mesmo com 5 cm o efeito não é acentuado. Caso o deslocamento fosse de meio comprimento de onda na frequência de cruzamento,

que vale 17 cm em 1 KHz, a fase sofreria uma inversão e a ligação normal produziria um resultado em fase, ao invés do esperado cancelamento, enquanto a ligação invertida provocaria, nesse caso, o cancelamento desejado.

Outra observação importante é que o efeito do deslocamento dos falantes na resposta de frequência pode, de certa forma, ser compensado alterando-se o valor das frequências de cruzamento do PA e PB, como assim, de modo que o Butterworth de segunda ordem apresente uma resposta plana. Enquanto o uso desse procedimento normalmente não irá produzir resposta completamente planas, é outro recurso para se lidar com as alterações na resposta provocadas pelo deslocamento dos falantes, sem a utilização de retardos obtidos de modo físico ou elétrico.

2.7.2 Butterworth de Terceira Ordem

Segundo o autor “DICKASON (2005), o filtro Butterworth de primeira ordem, os de terceira ordem apresentarão uma resposta plana caso as correspondentes PA e PB estejam a -3 dB na resposta de cruzamento e são do tipo passa-tudo. As respostas resultantes é plana, para ambas as polaridades, mas o retardo de grupo é plano e de menos magnitude para a ligação invertida dos falantes, apresentando um joelho acentuado e maior amplitude para a ligação normal. A ligação invertida é geralmente preferida devida ao melhor retardo de grupo. Tal como no caso da primeira ordem, o Butterworth de terceira ordem apresenta uma inclinação de 15° na resposta polar vertical, devido à diferença de fase de 90° entre as seções PA e PB. A inclinação de $+ 15^\circ$ para a ligação normal, e de $- 15^\circ$ para a ligação invertida”.

OS filtros Butterworth de terceira ordem também apresenta baixa sensibilidade ao deslocamento dos falantes para 2,5 e 5 cm de deslocamento.

O filtro Butterworth de terceira ordem ganhou popularidade devido ao seu uso na configuração M T M (Médio Tweeter Médio) descrita por D’Appolito.

Essa combinação do filtro de terceira ordem com a geometria na instalação dos falantes levou uma resposta polar vertical com poucas irregularidades. A ideia original era eliminar o erro produzido pelos lóbulos relativamente inofensivos para a audição e projetos posteriores de D’Appolito usaram a mesma configuração de falantes, mas com crossover de quarta ordem do tipo L R acústico 19. A maior atenuação tem suas vantagens e a disposição M T M evita a inclinação do eixo

devido ao deslocamento horizontal dos falantes. Nesse caso, os falantes não precisam ter deslocamento nulo para o diagrama polar ficar a 0° com o eixo central e uma resposta plana pode ser obtida através da otimização das frequências de cruzamento. O alinhamento dos falantes é menos importante para a qualidade do som que uma resposta plana e um bom comportamento na resposta polar. No máximo, o alinhamento em tempo dos falantes obrigará a uma resposta polar previsível e facilitará a obtenção de uma resposta plana. A principal vantagem da configuração M T M é o controle que dá ao projetista sobre a resposta polar vertical.

2.7.3 Butterworth de Quarta Ordem

Os filtros de quarta ordem são construídos pela associação em cascata de dois filtros de segunda ordem. Como o fator de qualidade de cada seção do Butterworth de quarta ordem é 0,841, o Q total vale 0,707. Tal como aconteceu com o Butterworth de segunda ordem, quando as fases coincidiram, as respostas PA e PB, a -3 dB, vão produzir uma resultante com um pico de 3 dB na frequência de cruzamento, mas com os falantes ligados em fases, ao invés de invertidos. O cancelamento com o filtro de quarta ordem ocorre com a inversão da polaridade. O retardo de grupo total apresenta um joelho ou pico logo abaixo da frequência de cruzamento.

Os filtros de quarta ordem apresentam a maioria das características dos filtros de segunda ordem, exceto a maior atenuação, o que reduz a distorção. Uma menor superposição das vias adjacentes significa que quaisquer efeitos negativos da radiação mútua ocorrerão apenas em uma faixa estreita. A única desvantagem é a possível perda por inserção causada pelas resistências dos dois indutores no filtro.

Devido à reduzida sobreposição entre as vias, os filtros de quarta ordem são mais sensíveis aos efeitos de deslocamento que os de segunda ordem.

O Crossover Butterworth de quarta ordem dará uma resposta plana quando as seções PA e PB estiverem a -6 dB no ponto de cruzamento, o que pode ser conseguido através de um fator de 1,13.

Se o deslocamento entre os falantes for levado em conta, o fator de correção pode ser modificado para que uma resposta plana também seja conseguida.

2.7 DSP

O DSP nada mais é que um Processador de sinais digitais, que também pode ser usado para fazer o processamento de sinais digitais.

O processamento de sinais digitais analisa e transformam sinais representados por sequência de números, onde são utilizados conversores analógico-digitais (ADC), para que esses números sejam transformados em códigos binários (0 e 1).

O ADC Recebe o sinal de voz vinda do microfone e realiza a conversão para transformá-la em um sinal digital, podendo assim ser analisada pelo DSP. Após a análise pelo processador, ocorre a análise inversa, onde o DAC recebe o sinal e o converte para a forma analógica, enviado o sinal para os alto-falantes. (NUNES, 2006, p.6)

2.7.1 Aplicações do DSP

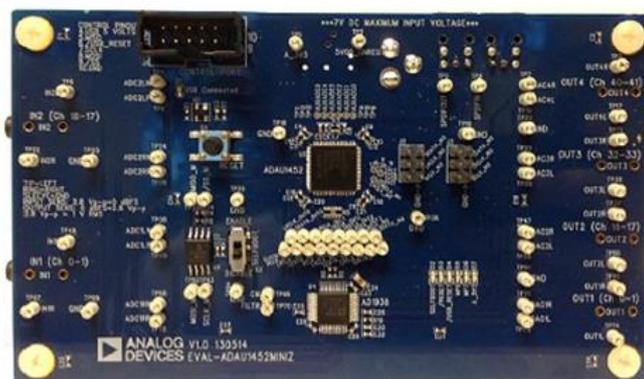
Muitos pensam que o DSP é exclusivo da área automotiva, mas ele pode ser utilizado em diversas áreas, por exemplo, na área militar, médica e científica, por ser um dispositivo onde atraso não é tolerável, não havendo corte de sinal em nenhum momento.

O DSP é muito utilizado na compressão e Descompressão de sinais.

Nos sistemas de áudio onde há CD player, o DSP detecta e corrige o “*raw data*” (registro sem informação), diretamente a partir da leitura do disco.

Dentre as diversas aplicações do DSP, ele pode ser utilizado como filtro de sinais, onde extrai partes do sinal a ser utilizado e na remoção de ruídos.

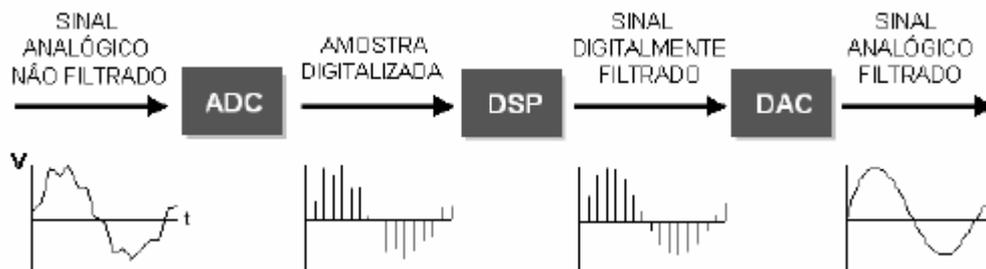
Figura 18 - Placa DSP



Fonte: site analog.com

Através de um sinal analógico, um conversor analógico-digital (ADC), há uma conversão, e só assim o sinal pode ser lido pelo DSP.

Figura 19 - Configuração Básica de um Filtro Digital



Fonte: Artigo da universidade Federal do Paraná

Os filtros digitais têm inúmeras melhorias em comparação com os filtros analógicos, onde as filtrações analógicas são feitas através de amplificadores operacionais, capacitores e resistores.

Hoje em dia para que possa ter uma melhor precisão, os filtros digitais são mais recomendáveis, pois podem ser programados, e se adaptam facilmente a característica dos sinais.

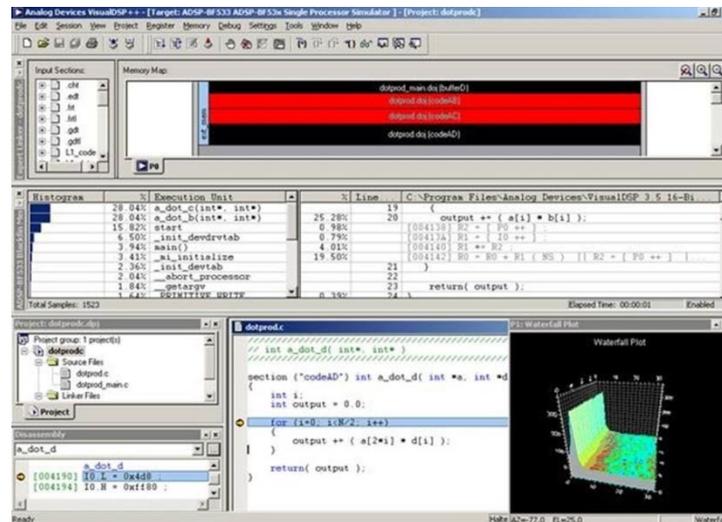
Segundo NUNES (2006), nos automóveis atualmente o processamento digital de sinais já são amplamente utilizados em diversas aplicações como em geração de mapas e rotas, através de sinal de GPS, analisando o consumo médio de combustível, gerenciando as estações de rádio digital, entre diversas outras aplicações.

Para desenvolver projetos com o DSP, São necessários as IDE, que são programas de desenvolvimento, onde se compilam, para que faça toda a simulação, execução e depuração do código, utilizando linguagens de programação.

O DSP acima de tudo é um dispositivo programável, que detém seu próprio código de instruções. Cada empresa que cria o seu processador cria também o seu ambiente de desenvolvimento (IDE) próprio para aquele tipo de chip, tornando dessa forma a manipulação do microprocessador muito mais fácil e rápida. (NUNES, 2006, p.6)

As linguagens de programação principais são o Assembly, C e C++, amplamente usadas até os dias de hoje. Os principais IDE do mercado são o Code Composer Studio (CCP) e o VisualDsp++, a IDE da Analog Device.

Figura 20 - Software VisualDSP++



Fonte: <http://www.analog.com>

Algumas informações são necessárias para eu haja uma boa instalação, com segurança tendo o melhor desempenho possível. A leitura do manual de instruções antes do início da instalação é de suma importância.

Cabos não devem ser emendados, principalmente os RCA. Os cabos RCA devem ser passados pelo meio do Carro, longe do cabo de energia e dos cabos paralelos.

Se tiver que cruzar o RCA com o cabo de energia deixe-os em ângulos de 90° para evitar problemas com indução de ruídos.

Um cuidado que se deve ter é na furação da lataria para passar fios, pois pode danificar conduítes de combustíveis, freios, sendo recomendável olhar antes o que existe por trás da lataria. Fusível deve ser usado próximo à bateria no máximo 30 cm, ou antes, de passar cabo por metais.

Nos cabos de aterramento é ideal utilizar a mesma bitola do cabo positivo, fixando em local sem tinta, ou seja, em contato direto da lataria.

Em caso de utilizar mais de um amplificador, cada um terá que ser terrado em um local diferente.

3.0 PARTE PRÁTICA

Após o trabalho do referencial teórico, começaram os testes práticos para detectar como se encontra o sistema original do veículo através de medições das curvas de respostas e através de mudanças feitas como as trocas de equipamentos e configurações adequadas.

Avaliações subjetivas foram feitas para que se obtenham opiniões de ouvintes e se possa ter uma base de dados para quantificar e qualificar o trabalho desenvolvido.

O Estudo é dividido em sistema de Áudio original OEM e sistema de áudio com o DSP.

3.1 Sistema de Som Original

A primeira etapa do projeto foi à escolha do veículo utilizado.

Após análise dos veículos da Fatec Santo André, o veículo que apresentou os requisitos mínimos para o desenvolvimento do projeto foi o Volkswagen Gol Geração 5.

Figura 21 - Veículo de Teste



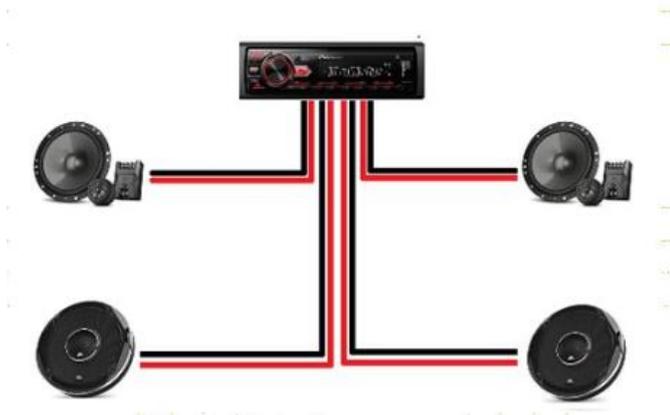
Fonte: A autoria dos Alunos

Com o veículo definido, foi verificado o sistema original do veículo.

O sistema de áudio é constituído de uma fonte de Áudio (Rádio), na parte dianteira há um kit duas vias e na parte traseira um par de alto falantes *full ranges*.

A seguir o diagrama do sistema original do veículo.

Figura 22 - Sistema de Som Original do VW Gol



Fonte: Autoria dos Alunos

Com o veículo definido começaram os preparativos para o início dos testes.

O primeiro passo realizado foi à verificação da voltagem da bateria, para garantir que os testes sejam executados de forma adequados conforme as especificações estabelecidas.

Figura 23 - Medição de Tensão da Bateria



Fonte: Autoria dos Alunos

Utilizou-se ao longo deste projeto *Hardware* e *Software* para auxiliar nas medições e nos testes para que se possa ter um resultado confiável.

Para dar início às medições das frequências de resposta alguns equipamentos foram utilizados, sendo eles: o processador de sinal, condicionador de sinais e os microfones necessários para se obter as medições.

Foi utilizado um processador de sinais que contém quatro entradas e saídas analógicas e quatro entrada e saída digitais. O LCD do painel frontal fornece informações de *status* e relatórios de falha.

Figura 24 - Processador de Sinal



Fonte: <https://bssaudio.com/en/products/blu-32>

Condicionar um sinal é convertê-lo de forma adequada para ser conectados com outros elementos. No caso deste trabalho, ele trabalha junto com o processador de sinais digitais. Os sinais analógicos têm de ser previamente condicionados a fim de estarem em condições adequadas, passando por várias etapas como amplificar, filtrar e equalizar o sinal para que este ganhe níveis de tensão adequados, com boa relação sinal/ruído e distorção harmônica mínima. A aquisição do sinal analógico culmina na sua amostragem e posterior conversão analógica digital (A/D).

Figura 25 - Condicionador de Sinais



Fonte: <http://www.pcb.com/>

Com os *Hardware*s configurados e prontos para começar os testes, começamos a utilizar o veículo para dar início aos diversos testes será exigido para que possamos coletar dados necessários. Primeiramente posicionamos e alinhamos os bancos dianteiros na mesma posição, e certificamos que não tenha nenhum objeto solto dentro do habitáculo, pois poderiam causar uma interferência na medição.

Figura 26 - Alinhamento dos Bancos Dianteiros



Fonte: A autoria dos Alunos

Com os bancos alinhados e posicionados corretamente, os microfones foram posicionados e alinhados na posição longitudinal em um determinado ângulo, em uma altura simulando um ocupante para que fique relativamente a uma altura semelhante ao ouvido humano. Inicialmente, no lado do motorista na parte dianteira onde coletamos dados das frequências de respostas e posteriormente no lado do passageiro na parte dianteira, sendo o teste feito com o veículo fechado, para não ocorrer ruído externo, comprometendo a medição.

Figura 27 - Posicionamento dos Microfones



Fonte: A autoria dos Alunos

Por fim, começaram os testes com os equipamentos medindo diversos parâmetros, com diversas configurações como Balanço, *Fader* e diversos volumes

para se obter dados para ser analisados, relatando o resultado de como se encontra o sistema original de áudio através dos alto falantes.

O *software* utilizado foi de um fabricante de sistemas de áudio, e o sinal aplicado para medição da frequência de resposta é o *Pink Noise* para verificar como o sistema de áudio original de encontra.

O gráfico determina uma relação entre pressão sonora (dB) e frequências, onde se toda sua faixa há variações de valores. Para que o som esteja em sua plenitude não é desejável que se tenha picos e vales comprometendo a qualidade do som.

Picos muitos elevados faz com que o alto falante soe muito forte em determinadas frequências sobrepondo o som de alguns equipamentos sobre outros.

Já em vales o alto falante ocorre à incapacidade do alto falante toca a música corretamente em determinadas frequências, o que prejudica a reprodução de alguns equipamentos durante a execução da música.

Medição das curvas de resposta do sistema Original OEM

O sistema original OEM utilizando o sinal *Pink Noise Correlated*, apresenta as seguintes características:

- Linha do sinal do sistema Original do alto falante do motorista (CPN DRIVE OEM) é representada pela linha na cor vermelha.
- Linha do sinal do sistema com o DSP do alto falante do motorista (CPN PASSENGER OEM) é representada pela linha na cor preta.

Utilizando o *Pink Noise Correlated* no sistema OEM com uma medição do alto falante no lado do passageiro, verificou-se um pico de pressão sonora com valor de 70 dB na frequência baixa por volta 100 HZ.

Outro pico foi observado na frequência de 1 kHz apresentando 65 dB de pressão sonora.

Um vale em uma frequência média de 600 HZ, apresentou 54 dB de pressão sonora. Em uma frequência de 4kHz um vale apresentou um valor abaixo de 50 dB, o que prejudica muito a reprodução dos sons agudos.

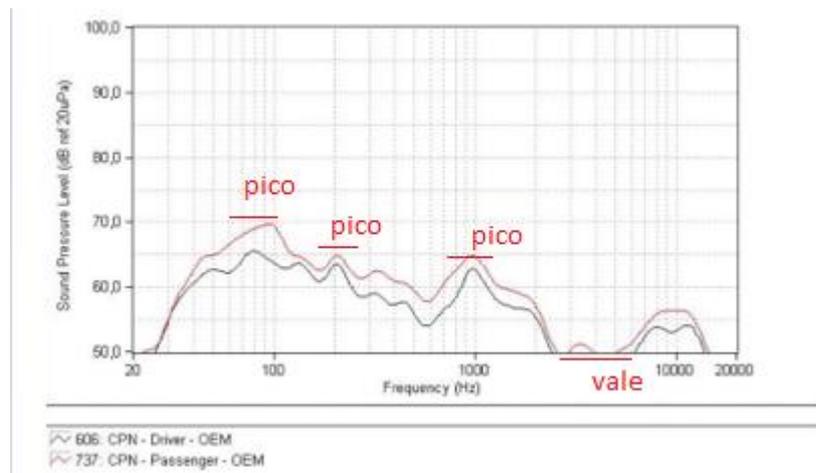
Na medição do alto falante do lado do motorista verificou-se que em baixa frequência com 80 Hz, apresentou um pico com 65 dB de pressão sonora.

Na frequência média com 1 kHz o sistema apresentou um pico com valor de 63 dB de pressão sonora.

Em 600 Hz de frequência um vale apresentou um vale de 54 dB de pressão sonora, havendo uma grande variação nessa faixa de frequência.

Nas frequências médias e agudas entre 2 kHz e 6 kHz há uma grande perda de pressão sonora fica abaixo dos 50 dB.

Figura 28 - Correlated Pink Noise OEM



Fonte: Autoria dos Alunos

O sistema original OEM utilizando o sinal *Pink Noise Uncorrelated*, apresenta as seguintes características:

- Linha do sinal do sistema Original OEM do alto falante do motorista (UPN DRIVE OEM) é representada pela linha na cor vermelha.
- Linha do sinal do sistema Original OEM do alto falante do passageiro (UPN PASSENGER OEM) é representada pela linha na cor preta.

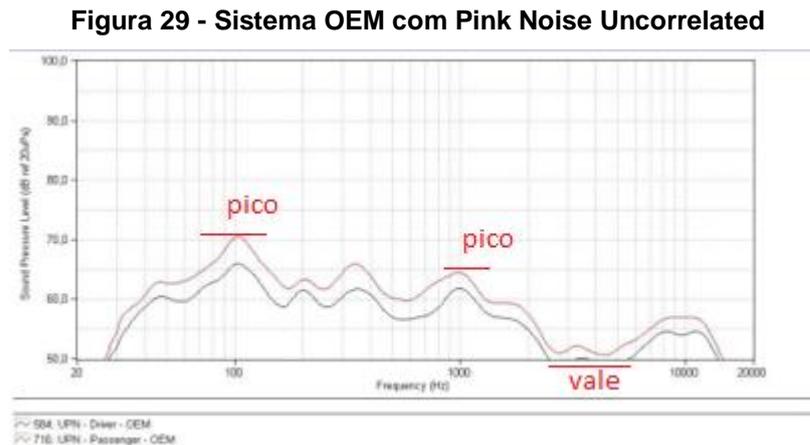
Em frequências graves um pico no sinal com 100 HZ, apresentou 66 dB de pressão sonora.

Com uma frequência média com 1 KHZ apresentou 62 dB de pressão sonora. E um vale em 4 KHZ na frequência médio agudo, apresentou um vale com um valor abaixo de 50 dB.

No sistema original OEM com a aplicação do sinal *Pink Noise Uncorrelated* no alto falante do lado do passageiro com uma frequência na faixa dos graves em 100 Hz apresentou um valor de 70 dB de pressão sonora.

Outro pico foi observado em uma frequência média em 1kHz apresentando um valor de 65 dB de pressão sonora.

Com um vale na frequência médio agudo em 4kHz o valor de pressão sonora foi de 52 dB.



Fonte: A autoria dos Alunos

3.1.1 Avaliação Subjetiva do sistema original OEM

Para a realização de uma avaliação, foi utilizado um teste de mesa utilizando uma mesa de áudio digital com equalizador para criar uma referência auditiva, e para a reprodução do áudio foi utilizado um fone de ouvido de estúdio com frequência de resposta de 15 Hz a 33 kHz, para o ouvinte escutar uma música de referência.

Figura 30 - Mesa de Som



Fonte: A autoria dos Alunos

Foram escolhidas dez pessoas aleatoriamente que aceitaram participar do teste. Depois de ouvir a música de referência, o ouvinte foi encaminhado para o veículo para a audição da mesma música, onde ele avaliará alguns parâmetros durante a execução da música e ao término da audição no veículo, o ouvinte preenche um formulário no Excel dando notas fazendo a correlação da música ouvida no headphone e posteriormente no veículo.

A música escolhida para esse teste escolhida foi Billy Jeans e Thriller do Michael Jackson, por ter diversas variações de instrumentos, sons e fala.

Figura 31 - Headphone para teste da Avaliação Subjetiva



Fonte: A autoria dos Alunos

O formulário apresenta um campo para preencher o nome, a data, com o nome da música que foi ouvida.

Os campos dos parâmetros no lado direito têm a classificação por notas, onde o seis é a percepção muito boa do que foi analisada entre a música referência ouvida e a música ouvida no veículo, de forma decrescente até a nota um, sendo a avaliação muito ruim, significando que o som do veículo está muito abaixo da referência. No lado esquerdo contém os campos de comentários para que possa justificar sua nota, caso a ouvinte queira fazê-lo.

No parâmetro da impressão espacial é avaliada a sensação de palco sonoro, ou seja, se o usuário tem a sensação de estar em *show* ao vivo, ou ouvindo áudio em um sistema de 5.1 canais. Com a percepção de vozes ao centro do veículo e instrumentos devidamente distribuído.

A impressão estérea é a percepção de como o áudio distribuído, ou seja, se há um equilíbrio entre o canal esquerdo e direito do sistema, proporcionando uma sensação de envolvimento musical.

Transparência é a avaliação se é perceptível ruídos provenientes do áudio, como ruídos elétricos, chiados, porém desconsiderando ruídos provenientes de vibrações do acabamento do veículo.

Timbre são relacionados a percepção e naturalidade de como vozes e instrumentos estão sendo reproduzido de forma natural.

A pergunta Livre de ruído se dá pela observação de ruídos proveniente do acabamento do veículo, vibrações indesejadas.

Figura 32 - Formulário da Avaliação Subjetiva

Nome	Data						
		Muito Ruim	Ruim	Pobre	Bom	muito bom	Excelente
Comentários		1	2	3	4	5	6
	Parâmetros						
	Impressão Espacial						
	Impressão estereo						
	Transparencia						
	Timbre						
	Livre de ruido						
	Mais impressões						

Fonte: Aatoria dos Alunos

Com os dados das dez avaliações tabulamos esses dados no Excel e criamos um gráfico para se obter de forma clara qual foi a avaliação do sistema original do veículo.

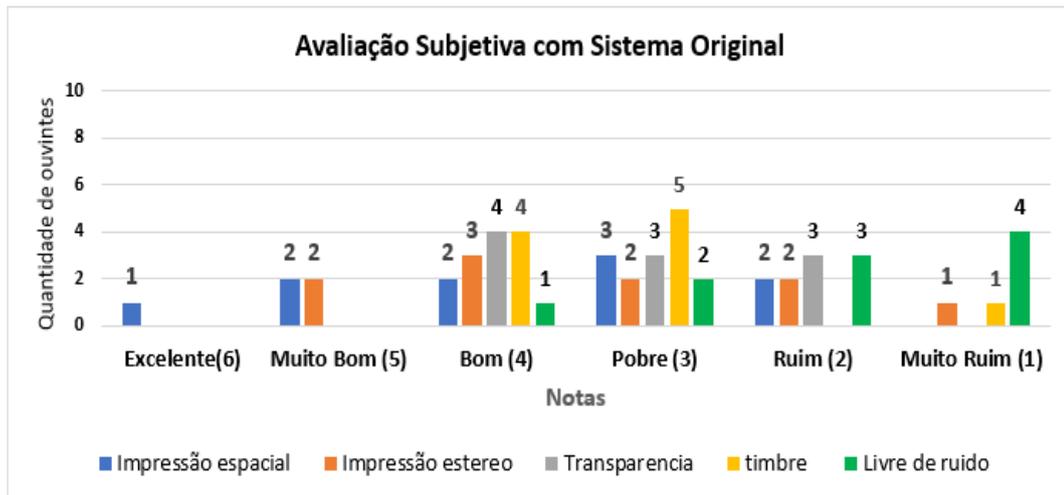
A avaliação da impressão espacial teve a maioria das pessoas dizendo que está pobre.

A impressão estérea teve 3 votos considerados bons, mas a também tiveram a mesma quantidade como pobre, ruim ou muito bom. Transparência do som teve somente votos como Bom que obteve 4 votações, e 3 votos como pobre e ruim cada.

Timbre teve uma avaliação com a maioria votando em pobre com 5 votos ou bom com 4 votos. E a última opção livre de ruídos o item muito ruim teve a maioria com 4 votos, seguindo de 3 votos como ruins.

Os dados das avaliações Subjetivas com o sistema OEM podem ser encontrados no Anexo C.

Figura 33 - Resultado da Avaliação Subjetiva



Fonte: Aatoria dos Alunos

Conclusão do sistema de áudio original foi que o sistema não está de acordo com o que se espera de um som de qualidade, tendo a maioria das notas como boas ou pobres com catorze itens cada.

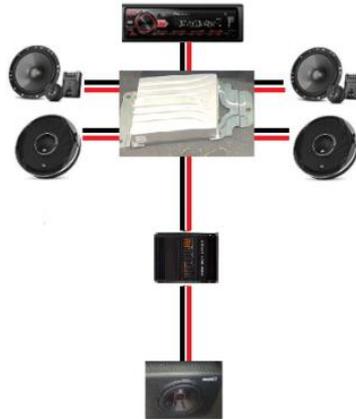
Estando longe do que se espera de um som *Premium*, mostrando que o sistema será que ser otimizado para obter melhores avaliações sobre sua qualidade.

3.2 Sistema de Som com DSP

Após as medições e avaliações do sistema de Áudio original, começa a segunda parte que consiste na substituição dos alto falantes kits duas vias na parte dianteira, *full range* na parte traseira e na adição de um DSP (processador de sinais Digitais), um Amplificador e um Subwoofer em uma caixa selada.

A seguir a representação do sistema modificado com DSP.

Figura 34 - Sistema de Áudio Com DSP



Fonte: Aatoria dos Alunos

O sistema com as alterações conta com equipamentos como o Amplificador mono Classe D, Subwoofer de 10 polegadas e principalmente o DSP (processador de sinais Digitais).

Os dados do Subwoofer podem ser encontrados no Anexo A.

Figura 35 - Amplificador, Subwoofer e DSP.



Fonte: Aatoria dos Alunos

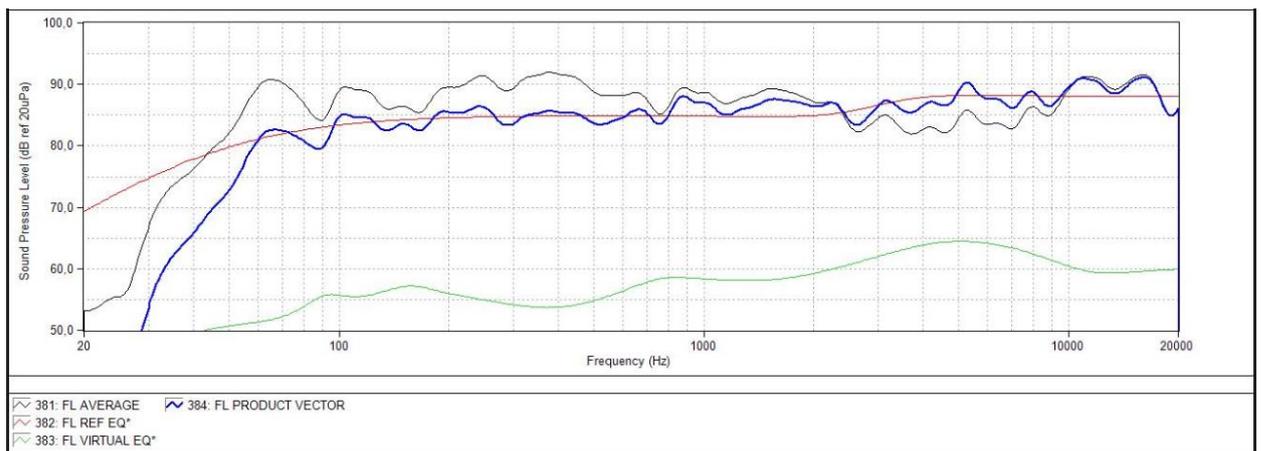
3.2.1 Aplicação de Sine Sweep

Com os equipamentos totalmente instalados, foi aplicado um *Sine Sweep* de 15Hz a 22kHz diretamente na entrada de áudio do Processador de áudio, de forma a ter resposta acústica do veículo. Através do *software*, é possível simular a ação dos filtros e serem aplicados.

Para obter essa a frequência de resposta utilizando o *Sine Sweep* quatro sinais foram medidos.

- Sinal FL AVERAGE mede o sinal do canal 1 na posição do motorista e passageiro sem filtro, representado pela linha preta.
- SINAL FL REF EQ é a curva de referência, representada pela linha vermelha.
- Sinal FL VIRTUAL EQ mostra o sinal com o filtro aplicado, representado pela linha verde.
- Sinal FL PRODUCT VECTOR mostra a simulação do filtro representado pela linha Azul.

Figura 36 - Frequência de Resposta do Canal 1



Fonte: Autoria dos Alunos.

Na figura 31 foi aplicado um *Sine Sweep* de 15Hz a 22kHz diretamente na entrada de áudio do Processador de áudio, de forma a ter resposta acústica do veículo.

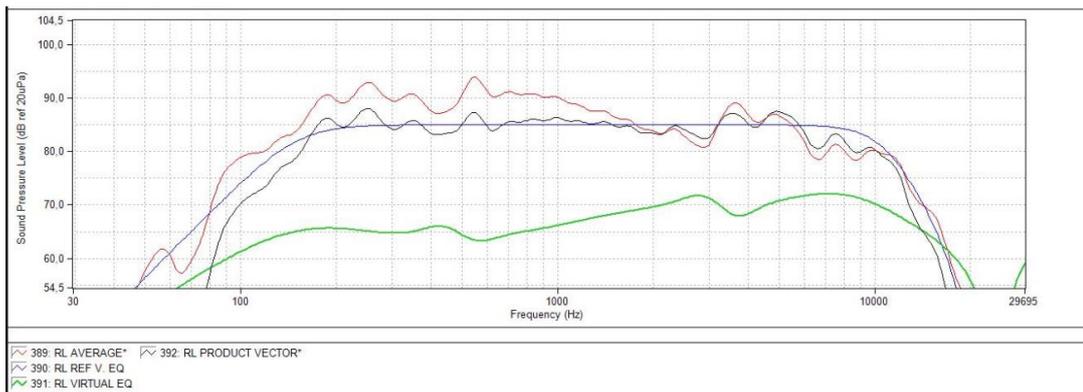
O sinal RL AVERAGE mede o sinal do canal 3 na posição do motorista e passageiro sem filtro, representado pela linha vermelha.

O Sinal RL REF EQ é a curva de referência, representada pela linha azul.

O Sinal RL VIRTUAL EQ mostra o sinal com o filtro aplicado, representado pela linha verde.

O Sinal RL PRODUCT VECTOR mostra a simulação do filtro representado pela linha preta.

Figura 37 - Frequência de Resposta com canal 3



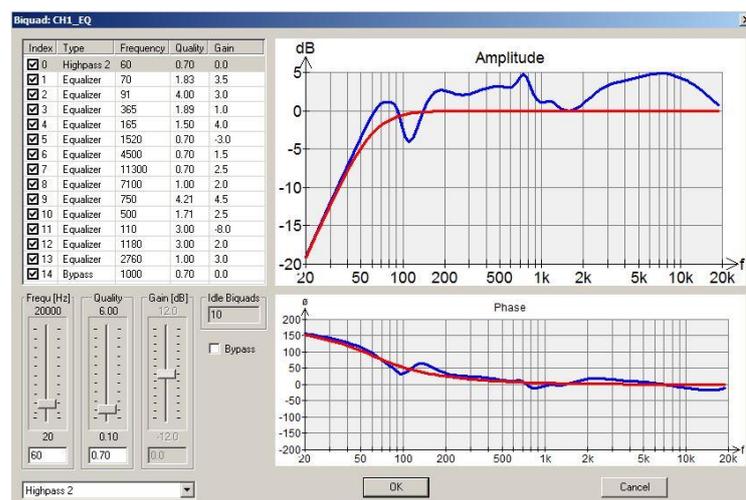
Fonte: A autoria dos Alunos.

3.2.1 Simulação de Filtros

Na figura 38 há uma simulação da aplicação do filtro no canal 1, onde se observa dois sinais.

O sinal com a linha vermelha seria o ideal e o sinal com a linha azul com a aplicação do filtro.

Figura 38 - Filtro do canal 1

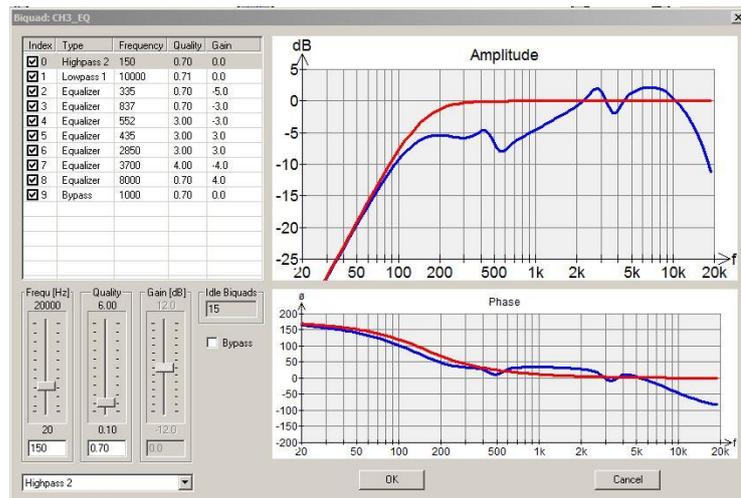


Fonte: A autoria dos Alunos

Na figura 39 há uma simulação da aplicação do filtro no canal 3, onde se observa dois sinais.

O sinal com a linha vermelha seria o ideal e o sinal com a linha azul com a aplicação do filtro.

Figura 39 - Filtro do canal 3

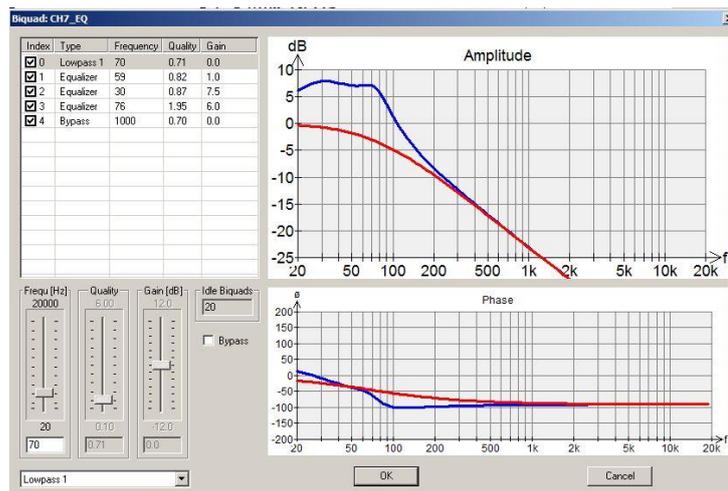


Fonte: Autoria dos Alunos

Na figura 40 há uma simulação da aplicação do filtro no subwoofer, onde se observa dois sinais.

O sinal com a linha vermelha seria o ideal e o sinal com a linha azul com a aplicação do filtro.

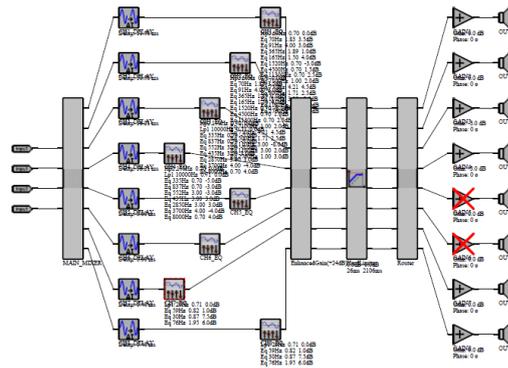
Figura 40 - Filtro do Subwoofer



Fonte: Autoria dos Alunos

Na Figura 41 mostra a arquitetura de configuração do DSP com os alto falantes ativos.

Figura 41 - Arquitetura de configuração do DSP



Fonte: Autoria dos Alunos

3.2.3 Curvas de resposta com sistema DSP

Com o sistema DSP utilizou-se o *Pink Noise Correlated* para obter a curva de resposta dos alto-falantes do lado do motorista e passageiro.

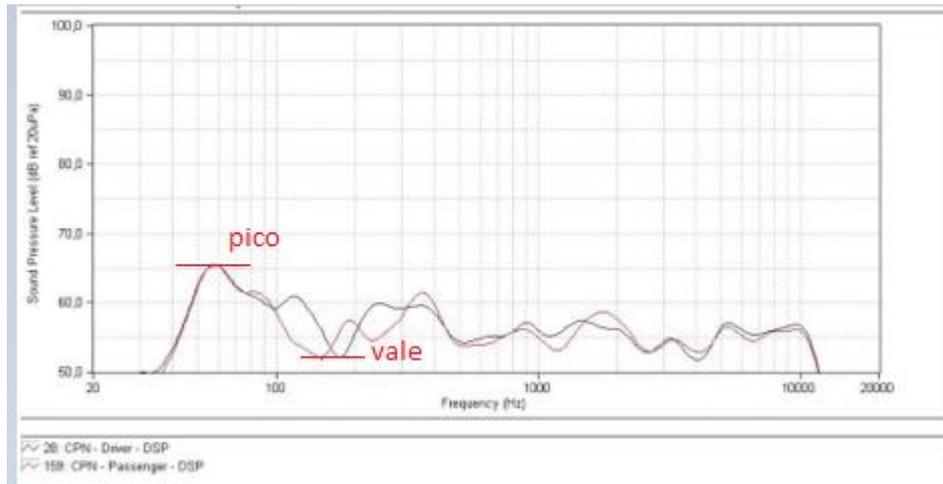
- Linha correspondente ao sinal do alto falante do motorista (CPN DRIVE) é representada na cor preta.
- Linha correspondente ao sinal do alto falante do passageiro (CPN PASSENGER) é representada na cor vermelha.

Através da medição foi observado em uma frequência de 65 HZ, apresenta um valor de pico com 65 dB de pressão sonora e frequência de 400 HZ, apresenta um valor de pico com 62 dB de pressão sonora no alto falante do lado do passageiro.

Um vale nas frequências de grave aproximadamente 150 HZ, apresentou um valor de pressão sonora de 53 dB.

Em frequência baixa com 183 HZ, apresentou um vale com 63 dB pressão sonora no sistema DSP com o alto falante do lado do motorista, estando os picos dentro da faixa de tolerância de 3 dB em relação ao alto falante do lado do passageiro.

Figura 42 - Sistema DSP com Pink Noise Correlated



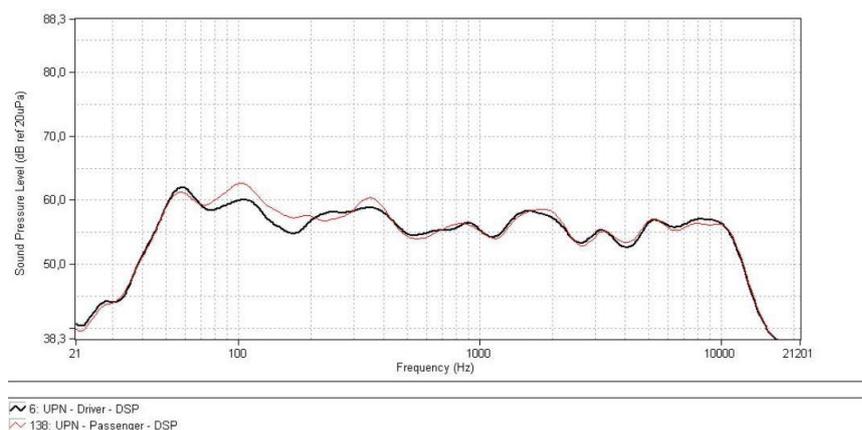
Fonte: Aatoria dos Alunos

Com o sistema DSP utilizando o *Pink Noise Uncorrelated* o sistema está com uma curva de resposta mais linear.

- Linha correspondente ao sinal do alto falante do motorista (UPN DRIVE) é representada na cor preta.
- Linha correspondente ao sinal do alto falante do passageiro (UPN PASSENGER) é representada na cor vermelha.

OS altos falantes estão dentro da faixa de tolerância de 3 dB, não havendo grandes distorções, com um sinal praticamente linear.

Figura 43 - Sistema DSP com Pink Noise Uncorrelated



Fonte: Aatoria dos Alunos

4.0 RESULTADOS OBTIDOS

Na comparação entre o sistema original OEM e o sistema com DSP Frequências utilizando o sinal *Pink Noise Correlated*, as seguintes características são:

- Linha do sinal do sistema Original do alto falante do motorista (CPN DRIVE OEM) é representada pela linha na cor vermelha.
- Linha do sinal do sistema com o DSP do alto falante do motorista (CPN DRIVE DSP) é representada pela linha na cor preta.

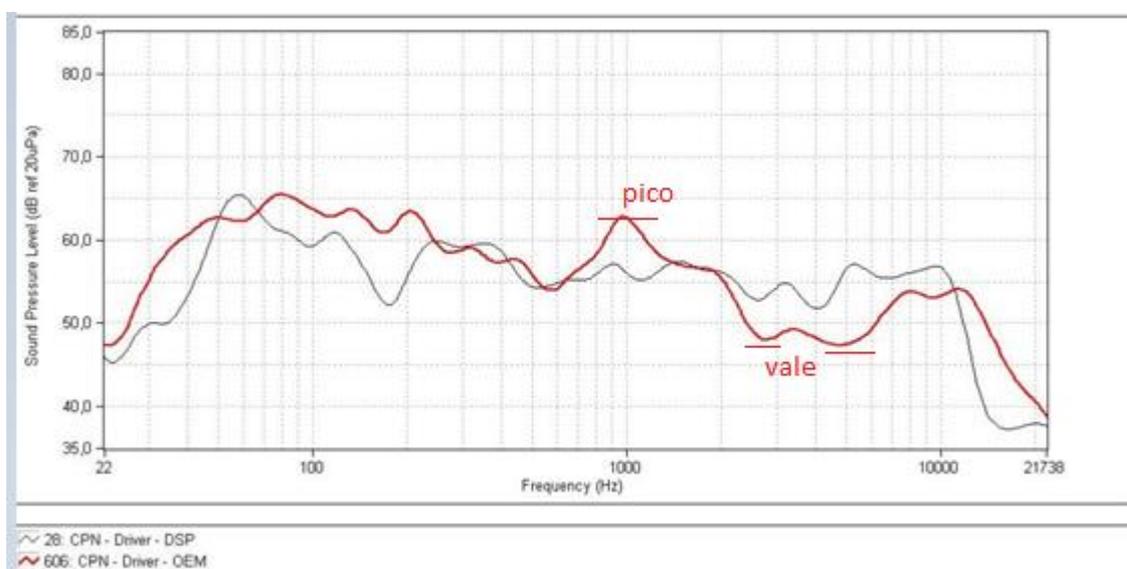
A curva de resposta apresentou um pico na faixa de frequências média do alto falante no lado do motorista em 1kHz, apresentando um valor de 63,0 dB no sistema original OEM.

Nesta mesma condição em 1kHz de frequência, houve uma atenuação no sinal com do sistema DSP para 56,0 dB, tornando mais linear.

Há um vale nas frequências médio agudas entre as frequências 2,7kHz a 5kHz apresentando uma pressão sonora por volta de 47,0 dB.

Com o sistema DSP houve um ganho de 6dB com uma diminuição do vale para aproximadamente 53 dB tornando o sinal com uma variação menor.

Figura 44 - Frequências DSP x OEM Pink Noise Correlated



Fonte: Aatoria dos Alunos

Na comparação entre o sistema original OEM e o sistema com DSP Frequências utilizando o sinal *Pink Noise Correlated*, as seguintes características são:

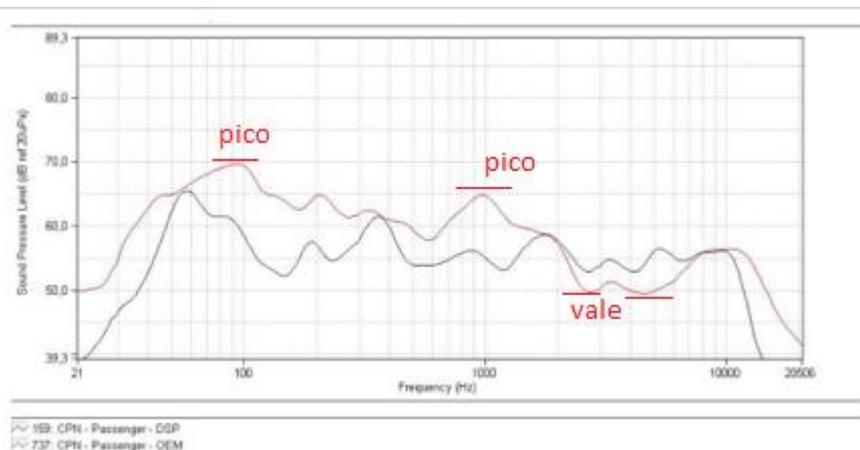
- Linha do sinal do sistema Original do alto falante do passageiro (CPN PASSENGER OEM) é representada pela linha na cor vermelha.
- Linha do sinal do sistema com o DSP do alto falante do passageiro (CPN PASSENGER DSP) é representada pela linha na cor preta.

No sistema OEM um pico na frequência de 100 HZ apresentando uma pressão sonora com valor de 70 dB

Com o DSP há uma diminuição obtendo na frequência de 50 HZ um valor de 65 dB de pressão sonora.

Há um vale entre as frequências médio agudo com 2,7 kHz e 5kHz apresentou um valor de 50 dB de pressão sonora no sistema OEM, com a aplicação do sistema DSP o vale fica nessa mesma faixa de frequência houve um ganho apresentando um valor de pressão sonora entre 52,0 a 53,0 dB de pressão, tornando a variação muito mais linear.

Figura 45 - Frequências DSP x OEM Pink Noise Correlated passageiro



Fonte: Autoria dos Alunos

Na comparação entre o sistema original OEM e o sistema com DSP Frequências utilizando o sinal *Pink Noise Uncorrelated*, as seguintes características são:

- Linha do sinal do sistema Original do alto falante do motorista (CPN DRIVE OEM) é representada pela linha na cor vermelha.
- Linha do sinal do sistema com o DSP do alto falante do motorista (CPN DRIVE DSP) é representada pela linha na cor preta.

Nas frequências graves por volta de 100 Hz apresentou um pico com 66 dB de pressão sonora no sistema OEM.

Com o sistema DSP houve uma atenuação do sinal em 6 dB baixando para 60 dB de pressão sonora.

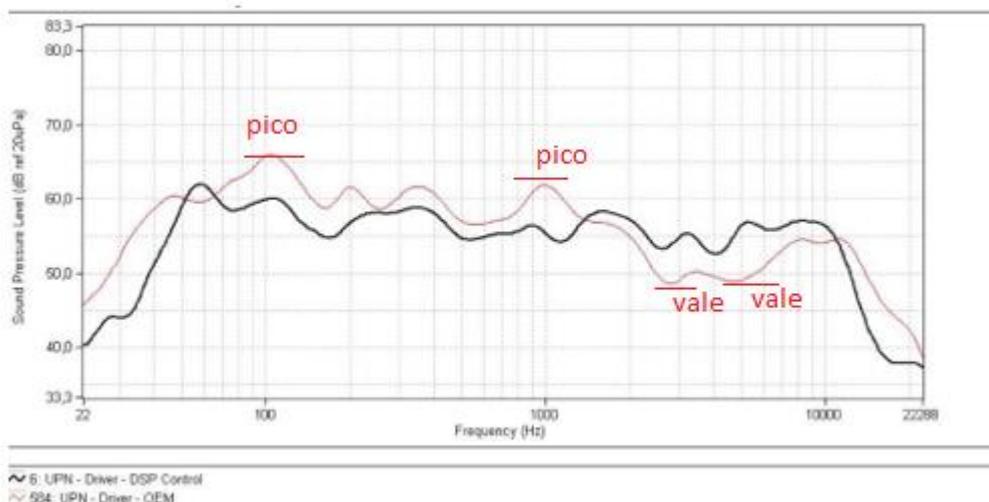
Na faixa do falante de média frequência com 1 kHz apresentou um valor de 63,0 dB de pressão sonora no sistema original OEM.

Com a aplicação do sistema DSP ouve uma atenuação no sinal baixando para aproximadamente 55 dB de pressão sonora, ou seja, uma atuação de 8 dB se comparado com o Sistema Original OEM.

Na frequência médio agudo com 2,8 kHz apresentou um vale com 48 dB de pressão sonora.

O sistema com DSP em 180 Hz de frequência apresentou um pequeno vale com 55 dB de pressão sonora, mas o sinal há uma variação muito menor que o sistema OEM, durante praticamente toda as faixas de frequência.

Figura 46 - Frequências DSP x OEM Pink Noise Uncorrelated



Fonte: Autoria dos Alunos

Na comparação entre o sistema original OEM e o sistema com DSP Frequências utilizando o sinal *Pink Noise Uncorrelated*, as seguintes características são:

- Linha do sinal do sistema Original do alto falante do passageiro (CPN PASSENGER OEM) é representada pela linha na cor vermelha.
- Linha do sinal do sistema com o DSP do alto falante do passageiro (CPN PASSENGER DSP) é representada pela linha na cor preta.

Na faixa da frequência grave com aproximadamente 100 HZ, apresentou um pico com 70 dB de pressão sonora no sistema original OEM.

Com o sistema com DSP na mesma faixa de frequência com 100 HZ, no pico houve uma atenuação no sinal baixando para 62 dB de pressão sonora.

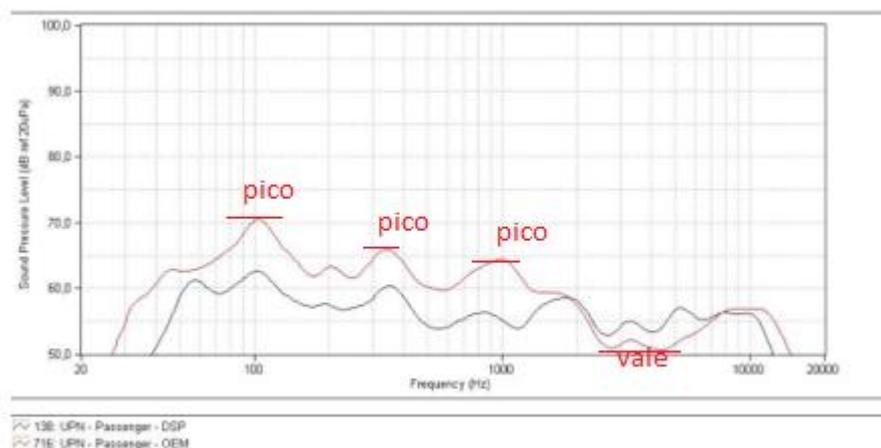
Com 350 Hz de frequência há outro pico no sistema original OEM apresentando 66 dB de pressão sonora.

Com o sistema DSP o pico foi atenuado para 60 dB de pressão sonora na mesma frequência de 350 HZ, o tornando o sinal mais linear.

Há um vale entre as frequências 2.7 kHz a 4.5 kHz no sistema Original OEM com um valor de pressão sonora por volta de 52 dB.

Com o sistema DSP houve um ganho de pressão sonora entre 53 a 57 dB nas mesmas Frequências tornando o sinal muito mais linear comparado com o sistema original OEM.

Figura 47 - Curva de Frequência DSP x OEM Pink Noise Uncorrelated Passageiro



Fonte: Autoria dos Alunos

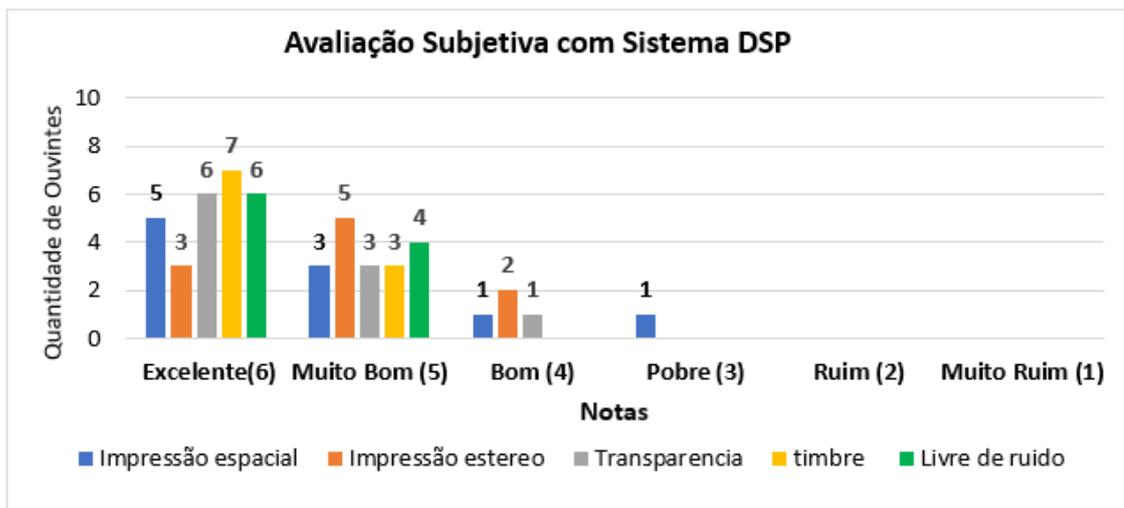
4.1 Avaliações Subjetiva com sistema DSP

Novamente realizamos uma avaliação subjetiva com dez ouvintes, mas agora com o com os novos equipamentos de Áudio instalados, sendo os novos Alto Falantes, o amplificador mono, Subwoofer e o DSP.

A música que foi escolhida para esse teste foi Thriller do cantor Michael Jackson, diferente da primeira avaliação com o sistema original OEM, para que ouvintes que fizeram a primeira avaliação não se influencie com as notas dadas anteriormente.

Os dados das avaliações subjetivas podem ser encontrados no Anexo D.

Figura 48 - Gráfico da Avaliação Subjetiva com DSP



Fonte: Fatec Santo André

A conclusão da Avaliação Subjetiva com o sistema DSP mostra uma melhora significativa com as notas concentradas como excelente e muito bom.

5.0 CONCLUSÃO

Durante as medições, foi constatado que a fonte de áudio original do veículo possui limitações técnicas, apresentando uma faixa de frequência de trabalho entre 60Hz à 11kHz. Em relação ao sistema de áudio do veículo, foram encontrados vales e picos, o que debilita a performance do conjunto e causa depreciação das reproduções de vozes e instrumento.

O sistema OEM também não apresenta palco sonoro e deficiência no sistema de estéreo. Porém segundo alguns ouvintes durante a avaliação subjetiva informaram que o sistema de áudio atendia perfeitamente a sua necessidade. O conjunto OEM também apresentava fortes ruídos proveniente do acabamento em plástico de baixo custo das portas, assim como dos componentes presentes no seu Interior.

Porém, mesmo com as limitações da fonte de áudio e da qualidade do acabamento do veículo, utilizando o processador de áudio, foi possível alterar os cortes de frequência permitindo uma redução significativa da vibração de portas, além das reduções do vales e picos na resposta de frequência. Também foram ajustados os tempos de atraso da atuação de cada alto falante de forma a proporcionar uma percepção espacial do áudio.

O sistema também apresentou melhoras significativas na percepção das vozes e instrumentos, com um melhor equilíbrio do estéreo. Como a fonte de áudio não fornece frequências acima de 11 kHz há uma forte atenuação dos agudos do sistema, onde o brilho do sistema de áudio ficou prejudicado.

As avaliações subjetivas aplicadas nos permitiram uma análise crítica do público de uma forma abrangente, onde foi possível em algumas situações, coincidir o avaliador com sistema OEM e o otimizado, no qual os avaliadores relataram surpresa na diferença de percepção da música.

6.0 PROPOSTAS FUTURAS

- Realizar a instalação de materiais que proporcione melhorias acústicas sem descaracterizar o veículo.
- Implementar uma nova fonte de áudio(rádio) que tenha um espectro de frequência entre 20 Hz a 25 KHz com a finalidade de implantar uma nova equalização no veículo.

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Dickason, V. (2005). **CAIXAS ACÚSTICAS E ALTO FALANTES**. Rio de Janeiro: H.SHELDON.

Kuttruff, H. (2007). **ACOUSTICS AN INTRODUCTION** . New York: Taylor & Francis.

Moscal, T. (2001). **O BÁSICO DE SOM E SISTEMAS DE SONORIZAÇÃO** . Rio de Janeiro: H. sheldon.

Slone, G. (1999). **HIGH-POWER AUDIO AMPLIFIER CONSTRUCTION MANUAL**. New York: Mc Grall Hill.

Smith, S. W. (1999). **DIGITAL SIGNAL PROCESSING**. San Diego: California Technical Publishing.

V.oppenheim, A. (1999). **DISCRETE TIME SIGNAL PROCESSING**. Ney jersey : prentice hall.

Herrera, Christian Gonçalves, ***Um Estudo De Aspectos Elétricos E Acústicos Da Sonorização Automotiva E Proposta De Uma Arquitetura Integrando Transdução E Amplificação***, 2016. 201f. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

Pires, Francisco José Amorim, ***Amplificador de Áudio Classe D***. 2010. 131f. Dissertação de mestrado – Universidade portuguesa, Porto, 2010.

Alexander, Daniel, ***Pink Noise in Physics and Music***. 2015. 40f. Universidade inglesa, Nottingham, 2015

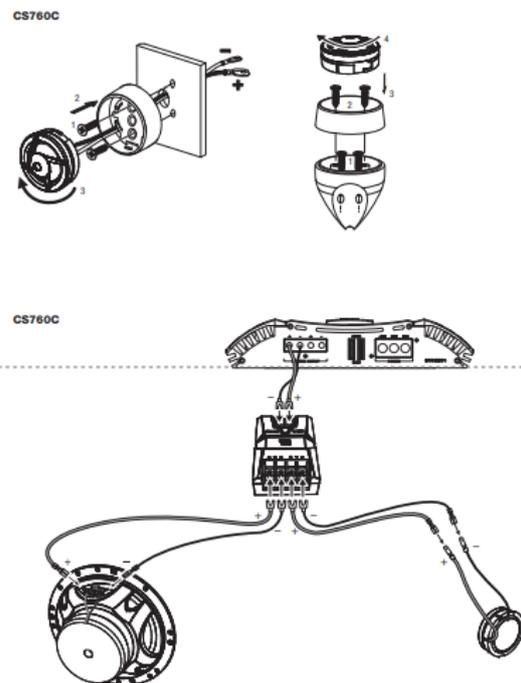
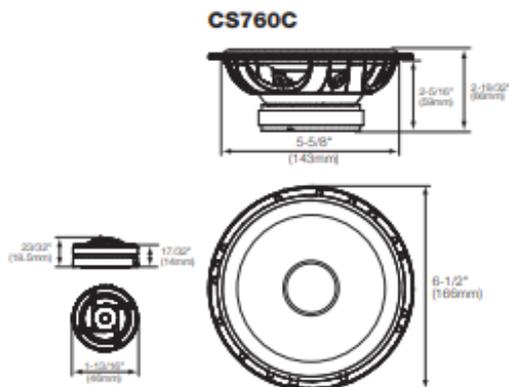
APÊNDICE

Apêndice A – DADOS DO SUBWOOFER JBL SÉRIE 2

ESPECIFICAÇÕES GERAIS	
Dimensões (A x L x C):	270 x 270 x 160 mm
Pesos	3,8
Sensibilidade	92 dB
ESPECIFICAÇÕES DE ÁUDIO	
Números de Canais	Tipo: série 2
Resposta de Frequência do Sistema	30-175 Hz
Impedância Nominal	2 a 4 Ohms SSI
Atributos	Especificações Técnicas: Diâmetro Nominal: 250 mm ou 10. Diâmetro da Bobina: 75 mm
ESPECIFICAÇÃO DO SPEAKER	
Potencia RMS	250 RMS

Apêndice B - KIT DUAS VIAS JBL CS760C

ESPECIFICAÇÕES	CS760C
TIPO	6-1/2" Componente Sistema de duas vias
Potência Contínua em Funcionamento	50 W
Pico de Potencia em Funcionamento	150 W
Frequência de Resposta	55Hz – 20kHz
Impedância nominal	4 ohms
Sensibilidade	92dB
Diâmetro exterior	6-1/2" (166mm)
Diâmetro de corte de Montagem	5-5/8" (143mm)
Profundidade Total	2-19/32" (66mm)
Profundidade de Montagem	2-5/16" (59mm)



Apêndice C – AVALIAÇÕES SUBJETIVAS DO SISTEMA ORIGINAL OEM

AVALIAÇÃO SUBJETIVA COM SISTEMA OEM 1

Música	Michael Jackson - Billie Jean		Muito Ruim	Ruim	Pobre	Bom	Muito Bom	Excelente
	Comentários	Parametros	1	2	3	4	5	6
		Impressão Espacial					X	
		Impressão estereo					X	
		Transparencia				X		
		Timbre				X		
		Livre de ruído				X		

AVALIAÇÃO SUBJETIVA COM SISTEMA OEM 2

Música	Michael Jackson - Billie Jean		Muito Ruim	Ruim	Pobre	Bom	muito bom	Excelente
	Comentários	Parametros	1	2	3	4	5	6
	Basicamente não é possível detectar a origem / "profundidade" dos sons no ambiente	Impressão Espacial		X				
	Não houve impressão devido a precariedade do sistema	Impressão estereo	X					
	Não é possível perceber com clareza os sons dos instrumentos e efeitos	Transparencia		X				
	Som "abafado"	Timbre	X					
	Propagação de ruídos pelos forros das portas	Livre de ruído	X					

AVALIAÇÃO SUBJETIVA COM SISTEMA OEM 3

Música	Michael Jackson - Billie Jean		Muito Ruim	Ruim	Pobre	Bom	muito bom	Excelente
	Comentários	Parametros	1	2	3	4	5	6
	Em alguns momentos da música não dava pra perceber a presença das vozes secundárias	Impressão Espacial			X			
	Tive a impressão que o som era mais forte do lado esquerdo do veículo	Impressão estereo		X				
		Transparencia				X		
	Em alguns momentos da música não consegui ouvir o som das guitarras e percussão.	Timbre			X			
	Nos trechos com tons mais graves ,ouvi alguns "estouros" e vibrações	Livre de ruído	X					

AVALIAÇÃO SUBJETIVA COM SISTEMA OEM 4

Música	Michael Jackson - Billie jean		Muito Ruim	Ruim	Pobre	Bom	muito bom	Excelente
			1	2	3	4	5	6
	Comentários	Parametros						
	impressão agradável	Impressão Espacial						X
	equilibrado	Impressão estereo				X		
	não se notou transparência total no som devido algumas vibrações	Transparencia				X		
	em alguns instantes da música se notou diferença do timbre em relação a referência	Timbre				X		
	Em parte da música ,ficou muito perceptível a presença de ruídos e vibrações nas partes plásticas do carro	Livre de ruído			X			

AVALIAÇÃO SUBJETIVA COM SISTEMA OEM 5

Música	Michael Jackson - Billie jean		Muito Ruim	Ruim	Pobre	Bom	muito bom	Excelente
			1	2	3	4	5	6
	Comentários	Parametros						
	Muito pouca relacionada aos fones	Impressão Espacial			X			
	Idem anterior	Impressão estereo		X				
	A música pareceu distante, como se fosse meio "opaca", sem brilho	Transparencia			X			
	Pouco perceptível	Timbre			X			
	Muito ruído acústico em reação aos graves	Livre de ruído		X				

AVALIAÇÃO SUBJETIVA COM SISTEMA OEM 6

Música	Michael Jackson - Billie jean		Muito Ruim	Ruim	Pobre	Bom	muito bom	Excelente
			1	2	3	4	5	6
	Comentários	Parametros						
	Mal distribuído o som no interior do veículo dando aparentando que só os alto falantes da frente funciona.	Impressão Espacial		X				
	O estéreo aparece bem pouco.	Impressão estereo			X			
	Tem vezes que há uma distorção na música.	Transparencia			X			
	E possível escutar bem a voz do cantor, mais e sai agudo.	Timbre			X			
	Contém alguns ruídos das portas, não havendo um som com transparência.	Livre de ruído	X					

AVALIAÇÃO SUBJETIVA COM SISTEMA OEM 7

Música	Michael Jackson - Billie jean		Muito Ruim	Ruim	Pobre	Bom	muito bom	Excelente
			1	2	3	4	5	6
	Comentários	Parametros						
	Impressão Espacial não é tão ruim, chega a ser satisfatório	Impressão Espacial			X			
	Impressão Estereo não é tão ruim, chega a ser satisfatório	Impressão estereo			X			
	A transparência é ruim	Transparencia		X				
	O timbre do som é satisfatório	Timbre				X		
	Ruído atrapalha um pouco o som	Livre de ruído		X				

AVALIAÇÃO SUBJETIVA COM SISTEMA OEM 8

Música	Michael Jackson - Billie jean		Muito Ruim	Ruim	Pobre	Bom	muito bom	Excelente
	Comentários	Parametros	1	2	3	4	5	6
	Satisfatorio	Impressão Espacial				X		
	Satisfatorio	Impressão estereo				X		
	Um pouco chiado (talvez por causa do volume)	Transparencia		X				
	Um pouco agudo demais	Timbre			X			
	Ruido ouvido a todo momento (vibrações)	Livre de ruido	X					

AVALIAÇÃO SUBJETIVA COM SISTEMA OEM 9

Música	Michael Jackson - Billie jean		Muito Ruim	Ruim	Pobre	Bom	muito bom	Excelente
	Comentários	Parametros	1	2	3	4	5	6
	AMBIENTE BOM	Impressão Espacial				X		
	SINCRONIZADO	Impressão estereo				X		
	COM RUIDO	Transparencia			X			
	VARIAÇÃO DE TIMBRE	Timbre			X			
	COM RUIDO NA PORTA	Livre de ruido		X				

AVALIAÇÃO SUBJETIVA COM SISTEMA OEM 10

Música	Michael Jackson - Billie jean		Muito Ruim	Ruim	Pobre	Bom	muito bom	Excelente
	Comentários	Parametros	1	2	3	4	5	6
	SOM IMERSIVO	Impressão Espacial					X	
	BOM EQUILIBRIO ENTRE OS CANAIS	Impressão estereo					X	
	TRANSPARENCIA MEDIANA	Transparencia				X		
	TIMBRE UM POUCO DISTORCIDO	Timbre				X		
	UMA CERTA VIBRAÇÃO NO VEICULO	Livre de ruido			X			

Apêndice D – AVALIAÇÕES SUBJETIVAS DO SISTEMA COM DSP

AVALIAÇÃO SUBJETIVA COM SISTEMA DSP 1

Música	Thriller (Michael Jackson)	Muito Ruim	Ruim	Pobre	Bom	muito bom	Excelente
		1	2	3	4	5	6
Comentários		Parametros					
	Impressão Espacial						X
	Impressão estereo					X	
	Transparencia						X
	Timbre						X
	Livre de ruído						X

AVALIAÇÃO SUBJETIVA COM SISTEMA DSP 2

Música	Triller (michael jackson)	Muito Ruim	Ruim	Pobre	Bom	muito bom	Excelente
		1	2	3	4	5	6
Comentários		Parametros					
	Impressão Espacial					X	
	Impressão estereo						X
	Transparencia					X	
	Timbre					X	
	Livre de ruído						X

AVALIAÇÃO SUBJETIVA COM SISTEMA DSP 3

Música	Triller (michael jackson)	Muito Ruim	Ruim	Pobre	Bom	muito bom	Excelente
		1	2	3	4	5	6
Comentários		Parametros					
	Impressão Espacial					X	
	Impressão estereo					X	
	Transparencia						X
	Timbre						X
	Livre de ruído						X

AVALIAÇÃO SUBJETIVA COM SISTEMA DSP 4

Música	Triller (michael jackson)	Muito Ruim	Ruim	Pobre	Bom	muito bom	Excelente
		1	2	3	4	5	6
Comentários		Parametros					
	Impressão Espacial					X	
	Impressão estereo						X
	Transparencia					X	
	Timbre						X
	Livre de ruído						X

AVALIAÇÃO SUBJETIVA COM SISTEMA DSP 5

Música	Triller (Michael Jackson)		Muito Ruim	Ruim	Pobre	Bom	muito bom	Excelente
	Comentários	Parâmetros	1	2	3	4	5	6
		Impressão Espacial			X			
		Impressão estereo				X		
		Transparencia				X		
		Timbre					X	
		Livre de ruído					X	

AVALIAÇÃO SUBJETIVA COM SISTEMA DSP 6

Música	Triller (Michael Jackson)		Muito Ruim	Ruim	Pobre	Bom	muito bom	Excelente
	Comentários	Parâmetros	1	2	3	4	5	6
		Impressão Espacial				X		
		Impressão estereo				X		
		Transparencia					X	
		Timbre					X	
		Livre de ruído					X	

AVALIAÇÃO SUBJETIVA COM SISTEMA DSP 7

Música	Triller (Michael Jackson)		Muito Ruim	Ruim	Pobre	Bom	muito bom	Excelente
	Comentários	Parâmetros	1	2	3	4	5	6
		Impressão Espacial						X
		Impressão estereo					X	
		Transparencia						X
		Timbre						X
		Livre de ruído					X	

AVALIAÇÃO SUBJETIVA COM SISTEMA DSP 8

Música	Triller (Michael Jackson)		Muito Ruim	Ruim	Pobre	Bom	muito bom	Excelente
	Comentários	Parâmetros	1	2	3	4	5	6
		Impressão Espacial						X
		Impressão estereo					X	
		Transparencia						X
		Timbre					X	
		Livre de ruído						X
		Mais impressões						X

AVALIAÇÃO SUBJETIVA COM SISTEMA DSP 9

Música	Triller (Michael Jackson)		Muito Ruim	Ruim	Pobre	Bom	muito bom	Excelente
	Comentários	Parametros	1	2	3	4	5	6
		Impressão Espacial						X
		Impressão estereo					X	
		Transparencia						X
	Qualidade de audio no geral impressionante para som automotivo.	Timbre						X
	Equilibrio entre os canais, pouca percepção de vibração.	Livre de ruido					X	

AVALIAÇÃO SUBJETIVA COM SISTEMA DSP 10

Música	Triller (Michael Jackson)		Muito Ruim	Ruim	Pobre	Bom	muito bom	Excelente
	Comentários	Parametros	1	2	3	4	5	6
		Impressão Espacial						X
		Impressão estereo						X
		Transparencia						X
		Timbre						X
		Livre de ruido						X