



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ANTONIO WERBERTON LOPES DA SILVA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE SIMULAÇÃO ASSISTIDA PARA DIRIMIR
VIBRAÇÃO, RUÍDO E ASPEREZA VEICULAR: NVH DIAGNOSE AUXILIADA
POR COMPUTADOR**

FORTALEZA

2022

ANTONIO WERBERTON LOPES DA SILVA

ESTUDO DA VIABILIDADE DE SIMULAÇÃO ASSISTIDA PARA DIRIMIR
VIBRAÇÃO, RUÍDO E ASPEREZA VEICULAR: NVH DIAGNOSE AUXILIADA POR
COMPUTADOR

Dissertação apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Romulo do Nascimento Rodrigues

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S578e Silva, Antonio Werberton Lopes da.
Estudo da viabilidade de simulação assistida para dirimir vibração, ruído e aspereza veicular : nvh diagnose auxiliada por computador / Antonio Werberton Lopes da Silva. – 2022.
51 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Romulo do Nascimento Rodrigues.
1. Ruído. 2. Aeroacústica veicular. 3. Mecanismos. 4. Softwares. 5. Simulação. I. Título.
CDD 620.1
-

ANTONIO WERBERTON LOPES DA SILVA

ESTUDO DA VIABILIDADE DE SIMULAÇÃO ASSISTIDA PARA DIRIMIR VIBRAÇÃO,
RUÍDO E ASPEREZA VEICULAR: NVH DIAGNOSE AUXILIADA POR COMPUTADOR

Tese ou Dissertação apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovada em: 29/11/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Romulo do Nascimento Rodrigues
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Vanessa Vieira Gonçalves
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Cleiton da Silva Silveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Primeiramente a Deus.

Aos meus familiares

Aos meus amigos.

Aos meus professores.

AGRADECIMENTOS

À frente agradeço a Deus pela dádiva da vida e da existência, assim como a virtude de, mesmo com todas as transudações e sacrifícios durante as longas noites mal dormidas, persisti e anuir-me à tuas vontades e alvitres; por manter-me continuamente insistente nos caminhos do bem e do amor, e em constante, mas profícua sintonia com o macrossomo até esta fração de espaço e tempo, sem avariar a valência e benesses divina.

Agradeço a banca avaliadora formada pelo Prof. Dr. Rômulo Rodrigues do Nascimento, Prof. Dr. Vanessa Vieira Gonçalves, e o Prof. Dr. Cleiton da Silva Silveira, e à todo corpo docente do campus do Pici da Universidade Federal do Ceará, pelo incomputável apoio, orientação e formação ao longo do meu desenvolvimento profissional como Engenheiro, sempre transparecendo, criando e sustentando pontes na tentativa de pluralizar o aprendizado mútuo; além de efetivamente corroborar de forma positiva para a construção de princípios firmados na tríade cidadania, justiça e alteridade.

Agradeço aos meus professores do Ensino Médio e do Ensino Fundamental por serem parte dos principais protagonistas das melhores experiências da minha história de vida, e mais importantemente da construção da minha essência, além de proporcionarem o alicerce cognitivo, e sinalizar a luz verde para meu ingresso no Ensino Superior em 2018, sempre rutilando esperanças insuspeitas no meu potencial, e me suportando em cada degrau que subia na escada da vida.

Agradeço aos meus familiares, especialmente minha mãe, Fátima, causante da minha introdução nessa findável missão terrena ao mundo. Por equipar-me com senões e imperfeições para que pudesse harmonicamente trabalhar com, e encima delas. Para assim, tornar-se alguém melhor, e destilar esses valores de volta para os vínculos sociais pelos quais me encontro imerso.

Por fim, gratulo também a todos meus amigos de todas as pequenas, médias e grandes fases dessa vida, em especial aqueles que não sujeitaram-se a efemeridade de emoções e momentos, e que desde então, encontram-se quase ubíquos, compartilhando suas experiências, risos e memórias nestes duradouros ciclos de companheirismo.

“Não podemos resolver os nossos problemas com a mesma mentalidade de quando os criamos.”

Albert Einstein

RESUMO

O século XX acompanhou em seu bojo, a introdução da comercialização de automóveis, além do crescente potencial da engenharia automotiva em projetar meios de transportes que contribuíram positivamente para o desenvolvimento e progresso social. Todavia, na pós-modernidade áreas como a aeroacústica veicular e sônica tem falhado na promoção de mecanismos, sejam eles manuais ou digitais, que controlassem e atenuassem a reincidência de ruídos e vibração estruturais nos automóveis comercializados. Neste trabalho foi realizado uma nova abordagem para diagnose NVH (Noise, Vibration and Harshness) baseada na utilização de softwares para atenuar custos e otimizar o tempo requerido para a execução do diagnóstico NVH. Diferente de outros trabalhos fundamentados nesse campo, uma vez que essa abordagem destaca o estudo da viabilidade da simulação auxiliada por computador na tentativa de garantir um diagnóstico técnico mais acurado e financeiramente acessível pelas indústrias que usufruem dessa tecnologia CAE (Computed-Aided Engineering), além de avaliar as normas legais relacionadas a NVH e suas aplicações na indústria automotiva. A metodologia adotada para realizar o estudo dessa viabilidade consiste em uma análise qualitativa através de uma pesquisa interrogatória de um universo de 200 pessoas, além de uma abordagem quantitativa a partir de uma cotação financeira dos custos operacionais advindos da aquisição dos equipamentos para realizar a simulação NVH. Os resultados mostram que a implementação da simulação assistida por computador corrobora seguramente para o diagnosticar eventuais falhas no tocante a acústica veicular que o automóvel venha apresentar, e que a longo prazo, sob uma perspectiva empresarial, o uso de softwares para auxiliar na diagnose NVH configura-se como uma alternativa para melhorar a experiência do usuário e robustez na engenharia.

Palavras-chave: Ruído; aeroacústica veicular; CAE; mecanismos; Softwares; simulação; Diagnóstico NVH;

ABSTRACT

The 20th century accompanied the introduction of automobile sales, in addition to the growing potential of automotive engineering in designing means of transport that contributed positively to development and social progress. However, in post-modernity, areas such as vehicular aeroacoustics and sonic have failed to promote mechanisms, whether manual or digital, that would control and attenuate the recurrence of structural noise and vibration in commercialized automobiles. In this article we perform a new approach for NVH (Noise, Vibration and Harshness) diagnosis based on the use of software to reduce costs and optimize the time required to perform the NVH diagnosis. Unlike other works based on this field, since this approach highlights the study of the feasibility of computer-aided simulation in an attempt to guarantee a more accurate and financially accessible technical diagnosis by industries that benefit from this CAE (Computed-Aided Engineering) technology, and to evaluate the legal norms related to NVH and its applications in the automotive industry. The methodology adopted to carry out the study of this viability consists of a qualitative analysis through an interrogation survey of a universe of 200 people, in addition to a quantitative approach based on a financial quotation of the operating costs arising from the acquisition of equipment to carry out the NVH simulation. The results show that the implementation of computer-assisted simulation certainly corroborates the diagnosis of possible failures in terms of vehicle acoustics that the car may present, and that in the long term, from a business perspective, the use of software to assist in the NVH diagnosis configures as an alternative to improve the user experience and robustness in engineering.

Keywords: Noise; vehicular aeroacoustics; CAE; mechanisms; Software; simulation; Diagnose NVH;

LISTA DE FIGURAS -IN PROGRESS

<i>Figura 1 – Chassi de Longarina.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 2 – Chassi Monobloco.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 3 – Chassi de túnel centralizado.....;</i>	<i>25</i>
<i>Figura 4 – Chassi Spaceframe.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 5 – Associação de longarina com chassi de modura cruciforme.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 6 – Sistema de Direção.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 7 – Efeitos das irregularidades das estradas no sistema de suspensão.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 8 – Eixo traseiro e conjunto de suspensão.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 9 – Freio a tambor.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 10 – Freio a tambor vs freio a disco.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 11 – Trajeto radial pelas rodas veicular.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 12 – Eixo cardan.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 13 - Equipamentos utilizados na pista de prova de ruídos.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 14 – Circuito primário e secundário de uma bobina.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 15 – Esquema construtivo da pista de prova.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 16 – Equipamentos utilizados na pista de prova de ruídos.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 17 – Equipamentos da simulação acoplados.....</i>	<i>46</i>

LISTA DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1 – Cotação Financeira.....</i>	<i>47</i>
<i>Grafico 2 – Eficácia da simulação CAE.....</i>	<i>48</i>
<i>Grafico 3 – Classificação de vibração.....</i>	<i>48</i>

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites máximos de ruído emitidos por veículos automotores na condição de estado estacionário.....	40
Tabela 2 – Limites máximos de ruído emitidos por veículos automotores na condição de estado acelerado.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
PUCPR	Pontifícia Universidade Católica do Paraná
SIBI	Sistema Integrado de Bibliotecas
NVH	Noise, Vibration and Hashness
CAE	Computer-Aided Engineering
trad.	Tradutor
NBR	Norma Brasileira
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
UNECE	Comissão Económica das Nações Unidas para a Europa

LISTA DE SÍMBOLOS

\$	Dólar
%	Porcentagem
£	Libra
¥	Iene
€	Euro
§	Seção
©	Copyright
®	Marca Registrada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Visão geral	18
1.2	Motivação e Justificativa.....	20
1.2	Objetivos.....	21
1.2.1	Objetivos Gerais.....	21
1.2.2	Objetivos Específico.....	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
2.1	Chassi.....	22
2.1.1	Chassi do tipo Escada.....	23
2.1.2	Chassi Monobloco.....	24
2.1.3	Chassi de Túnel Centralizado.....	24
2.1.4	Chassi Spaceframe.....	22
2.1.5	Chassi de Moldura Cruciforme.....	22
2.2	Sistema de Direção.....	27
2.2.1	Direção hidráulica.....	27
2.2.2	Direção mecânica.....	27
2.2.3	Direção elétrica.....	27
2.2.4	Direção eletrohidráulica.....	28
2.2.5	Componentes do sistema de direção.....	28
2.3	Sistema de Suspensão.....	30
2.3.1	Tipos de suspensão.....	30
2.3.2	Componentes do sistema de suspensão.....	31
2.4	Sistema de Frenagem	32
2.4.1	Componentes do sistema de Frenagem.....	32
2.4.2	Tipos de frenagem.....	29
2.5	Sistema de Transmissão.....	32
2.5.1	Componentes do sistema de Transmissão.....	32
2.5.2	Tipos de Transmissão Automotiva.....	36
2.5.2.1	Transmissão Continuamente Variável.....	36
2.5.2.2	Transmissão Dupla Embregem.....	36
2.5.2.3	Transmissão Manual Automatizada.....	36

2.5.2.4	<i>Transmissão Eletricamente Variável.....</i>	37
2.6	<i>Sistema de Ignição.....</i>	37
2.6.1	<i>Componentes do sistema de ignição.....</i>	37
2.6.2	<i>Tipos de Ignição.....</i>	38
2.6.2.1	<i>Ignição convencionais.....</i>	38
2.6.2.2	<i>Ignição eletrônica.....</i>	38
2.6.2.3	<i>Ignição sem distribuidor.....</i>	38
2.7	<i>Legislação.....</i>	39
2.8	<i>Análise técnica e financeiras.....</i>	42
3	<i>MATÉRIAS E MÉTODOS.....</i>	44
4	<i>RESULTADOS E DISCUSSÃO</i>	45
4.1	<i>Cotação.....</i>	45
4.2	<i>Viabilidade técnica.....</i>	47
5	<i>CONCLUSÃO</i>	49
5.1	<i>Sugestões para trabalhos futuros.....</i>	49
6	<i>BIBLIOGRAFIA.....</i>	50
7	<i>APÊNDICE A – INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS</i>	53

1 INTRODUÇÃO

1.1 Visão geral

Em virtude da tentativa de alcançar as expectativas estabelecidas pelo público da indústria automotiva atualmente, a manufatura veicular tem apresentado novos desafios no mercado mundial, principalmente relacionados a promoção de veículos majoritariamente livres de ruídos gerados pela aerodinâmica e vibrações estruturais quando no seu ciclo de uso. De modo geral, devido à interdependênciamercadológica gerada pelo processo de globalização entre os países, o oferecimento de carros sem qualquer interferência acústica para o consumidor tem se tornado uma das prioridades cardeais no processo de desenvolvimento do produto na esfera empresarial. Acrescenta-se também que, uma grande parcela desses problemas devem-se à módulos de falhas associadas ao projeto final do automóvel ainda na fase inicial, imediatamente refletindo em uma escala maior de gastos operacionais pela companhia para resolvê-los em uma fase de desenvolvimento de produto mais avançada, requerendo, portanto, tempo e recursos adicionais não previstos para a conclusão do ciclo do bem, de acordo com fluxograma de desenvolvimento do produto.

Outrossim, o custo operacional para manufaturar carros no Brasil ainda é astronômico. A exemplo disso, pode-se citar o Gol como um dos modelos mais comercializados da Volkswagen desde as últimas duas décadas do século XX no território nacional, sendo, por sua vez, responsável por ultrapassar 6 milhões de unidades vendidas nesse intervalo de tempo. A crescente produção em massa desse e outros automóveis populares é também marcada pelo contínuo investimento em melhorar atributos avaliados como cruciais pela clientela alvo, entregando assim, uma proposta com melhor dirigibilidade e desempenho característico, design e acabamento, comodidade e segurança, além de autonomia e consumo quando falando de veículos elétricos. Tal perspectiva, por sua vez, reflete em um maior endereçamento de investimento financeiro por parte da companhia em razão do comprometimento do fabricante para com o cliente na promoção e alcance de todos os parâmetros esperados por eles.

Ademais, é importante frisar que o tempo requerido para completamente finalizar um projeto veicular é globalmente da ordem de anos e batsnate dinheiro é requerido para realizar esse projeto. Nesse intervalo de tempo, as fases do projetos são estratificadas desde o desenvolvimento do design conceitual do veículo, até o momento em que o automóvel é entregue ao consumidor. Em consequência disso, quando um dos estágios do desenvolvimento do produto é comprometido, todo o ciclo é afetado, levando a companhia a arcar com gastos

não considerados. Como a complexidade do projeto comporta-se de maneira crescente ao longo da variável tempo, ou seja, contornar uma falha durante o período de testes estáticos e dinâmicos com protótipos é exponencialmente mais caro quando comparado a resolver uma módulo de falha na fase inicial. (HARISSON, 2004)

Entretanto, o avanço tecnológico ao longo das últimas décadas tem corroborado decisivamente na atenuação do tempo e gastos adicionais pelas indústrias de automóveis. A utilização de simulação assistida por computador é atualmente um dos recursos mais procurados e implementados no desenvolvimento de projetos veiculares em razão das vantagens oferecidas a curto, médio e longo prazo. Campos da engenharia como análise dinâmica, estática e cinemática de mecanismos, sistema de controle, estudo térmico e de fluido, além de análise acústica são beneficiados por essa tecnologia.

Portanto, é indubitável que a qualidade do projeto veicular final é resultado da combinação de parâmetros almejados pelos clientes. Dentre tais, o comportamento vibro-acústico é, sem dúvidas, fundamental no atendimento das expectativas do usuário. Nesse viés, urge-se por parte dos fabricantes buscar formas alternativas a fim de dirimir os efeitos negativos gerados para os consumidores devido a condição acústica do produto, considerando, então, uma análise Noise, Vibration e Harshness (NVH) ao desenvolver inicialmente o conceito.

O progresso da tecnologia no universo automobilístico, mais especificamente na acústica veicular, foi acompanhado também pela criação de leis universais de trânsito que frisasse a questão da intensidade sonora gerada pelo veículo, atribuindo uma série de parâmetros compreendidos como legalmente operáveis quando trafegando.

Nesse sentido, a obtenção de níveis de ruídos condizentes com as expectativas estabelecidas pelo consumidor a fim de não comprometer a qualidade sonora, passa a ser um obstáculo uma vez que o automóvel detém um certo grau de complexidade considerável. Tal fato, justifica-se, pois, boa parte do ruído audível pelos passageiros, assim como por partes externas do veículo, é fomentada tanto por fatores aerodinâmicos, como estruturais.

Além disso, o incômodo gerado pela existência de ruídos e vibrações no automóvel é frequentemente associado a uma série de causas correlacionadas com os mais diferentes sistemas veiculares, como o de chassi, direção, frenagem, suspensão, e principalmente transmissão. Por exemplo, o sistema de transmissão é composto pelo eixo cardã e traseiro, embreagem, motor, e câmbio. A nível de motor, a existência de uma tensão insuficiente na correia de distribuição, cuja função exercida no veículo é assegurar que a abertura das válvulas aconteça de forma síncrona, é um fator potencial para fomentar a existência de falhas acústicas. Dessa forma, a correia dentada acaba assumindo uma função de proteger não apenas as válvulas

localizadas no interior dos cilindros e o motor por manter o sincronismo, mas também auxiliar na redução de eventuais ruídos.

Ao que tange à esfera da legislação de trânsito de veículos, ruídos, vibrações e aspereza também são indicadores legalmente considerados nas entrelinhas do Código de Trânsito Brasileiro (CTB), mais especificamente no artigo 230 acerca da condução de veículos, diz-se: “Em mau estado de conservação, comprometendo a segurança, ou reprovado na avaliação de inspeção de segurança e de emissão de poluentes e ruído”. Como visto, discerne-se que o sistema de powertrain caracteriza-se por contribuir para a formação de desconfortos acústicos, especialmente o motor. Hodiernamente, é notificado no CTB, o quadro cabível de ruídos por esse componente para veículos automotores em aceleração, com fulcro na resolução 272/00 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 14/09/2000.

A esse ponto, para entender as causas raiz associadas com problemas vibro-acústicos, faz-se necessário, primeiramente, compreender a natureza do ruído e como esse fator interfere na experiência do usuário, além de analisar como ruído está intrinsecamente ligado aos sistemas, sub-sistemas e componentes veicular, explorando, portando, como esse desconforto acústico é produzido para o consumidor, e como contornar esse problema com o uso de simulação CAE.

1.2 Motivação e justificativa

A ciência e o exercício da engenharia tem corroborado significativamente na promoção de avanços na tecnologia, principalmente no setor automotivo, além de conseguir otimizar processos operacionais com eficácia e eficiência ao longo do desenvolvimento do produto. Pode-se afirmar que ambos têm sido também fatores decisivos no desenvolvimento social, ambiental e econômico no Brasil, uma vez que, a médio prazo, estimulou a consolidação de investimentos locais, e reestruturação mercadológica devido ao contínuo dinamismo engendrado.

Paralelamente ao crescimento demográfico no território nacional, a necessidade do veículo privado foi acompanhada pela necessidade de amenizar problemas vibro-acústicos entre as principais montadoras modernas. Para tanto, testes físicos e análises virtuais através de simulação, prototipagem rápida, e modelagem assumiram um papel fundamental para obter-se êxito nessa nova realidade compartilhada.

Com fulcro no que foi apresentado, este trabalho tem como motivação o estudo da viabilidade do emprego softwares de simulação assistida para atenuar ocorrências acústica

reportadas pelos consumidores, e assim, entregar um conceito mais robusto e com qualidade ímpar.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do ofício é investigar a viabilidade do uso de simulação assistida de NVH para otimizar recursos e tempo durante os processos operacionais a nível conceitual, no qual é possível por intermédio da execução de diagnósticos veicular em bancada.

1.3.2 Objetivo Específico

Os objetivos específicos do trabalho consistem nas resultâncias encontradas a partir dos objetivos gerais, podendo então diferenciar-se em:

- Avaliar viabilidade técnica através de simulação CAE de NVH;
- Analisar a viabilidade financeira da implementação da simulação CAE;
- Avaliar normas legais NVH e suas aplicações na indústria automotiva;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No presente capítulo será dissertado o referencial teórico em que esse trabalho teve embasamento. Será definido os correlacionamentos basilares que favorecem a formação de ruídos veiculares, tal como vibrações indesejadas, onde será concomitantemente apresentado os sistemas veiculares automotivos. Em seguida, serão abordadas normas e aplicações na indústria automotiva, discorrendo, portanto, sobre o atual cenário em que o mercado automotivo se encontra no tocante a implementação de metodologias alternativas para minimizar objeções de teor acústico.

2.1 CHASSI

O sistema Chassi caracteriza-se por conferir suporte para estrutura veicular, além de exercer um papel indispensável no conforto do usuário com relação à disposição dos assentos. Este, é por conseguinte, um sistema da estrutura veicular bastante importante, uma vez que, todos os outros estão diretamente interligados e acoplados, além de suportar as cargas exercidas por eles, como o sistema de suspensão. Em outras palavras, pode-se afirmar que este sistema é fundamental no suporte de torções, e de frequente cargas que o veículo venha ter no decorrer do seu período de vida. Portanto, o chassi projetado deve ser flexível para não apresentar uma eventual danificação estrutural devido a torções exorbitantes durante seu ciclo de uso.

No tocante a colisões, chassis exercem uma função de absorver o impacto causado por choques para os passageiros. Para isso, atualmente um número expressivo de montadoras estão continuamente investindo em novos conceitos por meio de simulação assistida por computador, para minimizar o efeito dessas colisões para os ocupantes, dentre elas, as chamadas células de sobrevivência tem sido uma tendência no campo. Estas células consistem basicamente em pontos alternativos localizados na cabine que durante o impacto, sofrem uma deformação para reduzir seus efeitos, e fazer com que ocupantes do banco traseiro e dianteiros não venham a ter um embate.

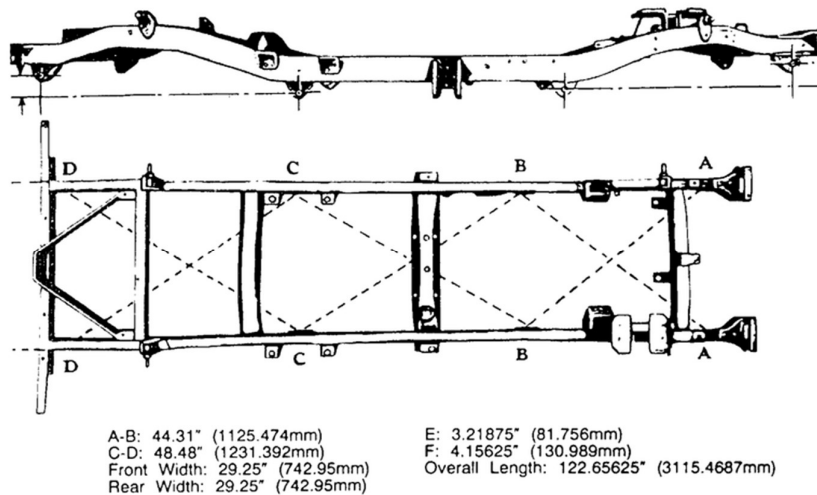
Essas estruturas, por sua vez, podem ser classificados em diferentes tipos, como o chassi tipo escada, monobloco, túnel central, coluna vertebral, spaceframe, subchassis, etc.

2.1.1 – Chassi do tipo Escada

Segundo Castro (2008), esta subcategoria de chassi apresenta um perfil em U, e é caracterizada por não conter acoplamento juntivo entre o chassi e a carroceria. Também nomeado de chassi de longarinas, ou ainda “ladder frames” devido seu arranjo ser formado por duas longarinas conectadas por faixas transversais, sua aplicação era amplamente direcionada para automóveis locais de passeio em virtude da configuração estrutural ser relativamente simples, o que anos mais tarde possibilitou sua implementação em veículos mais densos e grande porte. Os primeiros chassis de escadas utilizados eram completamente feitos de madeira, e a carroceria manufaturada de aço e algumas partes derivadas de materiais arboríferos, onde eram acopladas com o auxílio de parafusos, a exemplo disso, tem-se as carruagens. Além disso, os primeiros projetos não apresentavam uma capota rígida, resultando em uma crescente manifestação negativa desse modelo por questões climáticas pelos consumidores da época.

Acrescenta-se ainda que esse arranjo apresentou-se como uma excelente alternativa no tocante a adaptação e versatilidade dessa estrutura pelo público, isto é, em razão da diferença corporal e física entre os usuários, este tipo de chassi proporcionava comodidade e o sentimento de pertencimento.

Figura 1 – Chassi de Longarina



Fonte: Carros infoco, 2018.

Atualmente, chassis de longarinas ainda possuem uma grande aplicação em veículos de carga pesada, como caminhões e ônibus, pois apresentam vantagens quanto ao aumento da rigidez dos esforços torcionais.

2.1.2 – Chassi Monobloco

Este grupo caracteriza-se por apresentar um único bloco, onde outras estruturas, como capô e assoalho, são acoplados. Nos dias atuais, é a categoria mais empregada em veículo de passeio, e isso deve-se ao fato da carroceria e o chassi estarem juntamente integrados em um único arranjo. Além disso, existem alguns parâmetros que concedem vantagens ao amplo uso desse arranjo no mercado automotivo atual, dentre elas, pode-se mencionar a garantia de uma melhor eficiência do combustível devido sua leveza quando comparado com o chassi do tipo spaceframe.

No tocante a condução dinâmica, os chassis monoblocos também proporcionam benefícios, pois podem apresentar melhor desempenho na realização de curvas se equiparado aos chassis de longarina. Todavia, devido aos altos custos operacionais de fabricação, o número de unidades manufaturadas ao longo do ano é controlado.

Figura 2: Chassi Monobloco



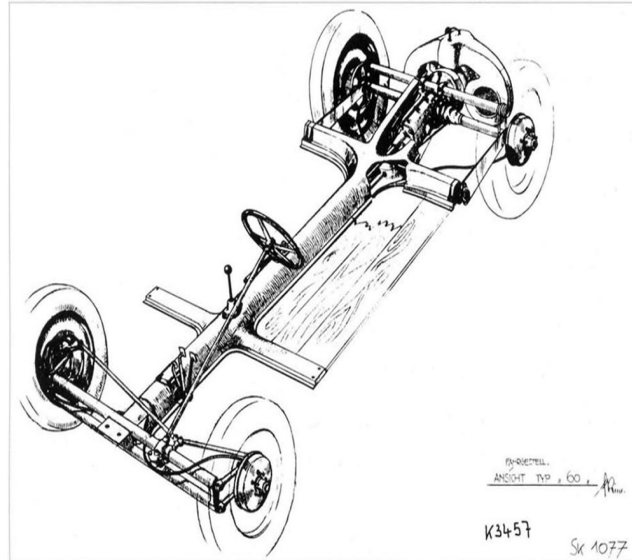
Fonte: Iveco, 2017

2.1.3 – Chassi de Túnel Centralizado

Chassi de Túnel central, também conhecido como chassi em Y, como o próprio nome sugere, existe um centro na estrutura do chassi que será responsável por garantir que os esforços resultantes de impactos sejam absorvidos por essa estrutura.

Esse tipo de estrutura é na maior parte das vezes fabricada a partir de aço e alumínio. No que tange a aplicação, o uso dessa categoria está bastante presente em automóveis de passeio comuns, pois deixa a desejar quanto as propriedades torcionais.

Figura 3: Chassi de túnel centralizado

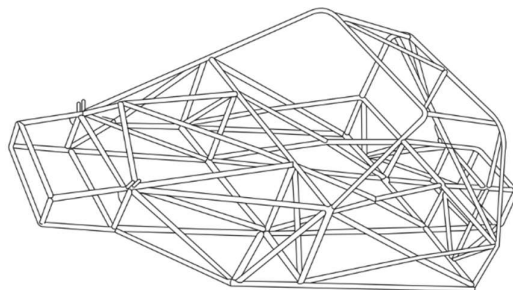


FONTE: AG, Falando de Fusca & Afins, 2021

2.1.4 – Chassi Spaceframe

O chassi space-frame consiste em uma estrutura formada por planos triangulares como mostra a figura 4. O encontro dessas geometrias de triângulos, também chamado de nós ou uniões, serão responsáveis por concentrar e suportar as tensões que esse arranjo venha sofrer após um impacto no decorrer de sua vida útil. Uma das vantagens oferecidas por esse tipo de arranjo é a distribuição de carregamentos críticos para as extremidades de cada elemento constituinte, o que corrobora para melhorar sua rigidez.

Figura 4: Chassi Spaceframe



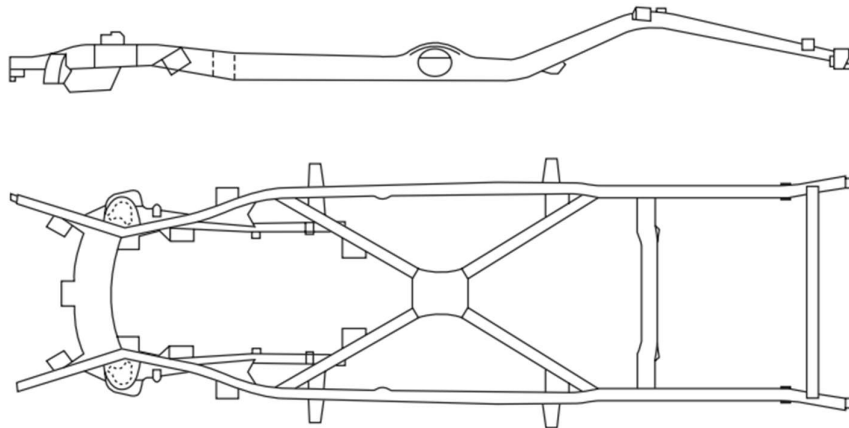
FONTE: Happians-Smith et al, 2002.

Neste grupo, a geometria é o fator marcante por conseguir êxito em uma gama de aplicações, principalmente na indústria veicular, arquitetura e engenharia estrutural.

2.1.5 – Chassi de Moldura Cruciforme (“CRUCIFORME FRAME”)

Este tipo de chassi é caracterizado por apresentar elementos projetados para não estarem suscetível a momento de torção, embora a estrutura receba cargas torcionais ao longo do seu ciclo de vida ativo, e é formado basicamente por duas vigas que sofrem flexão. Quando esta estrutura de chassi é associada com o arranjo do tipo escada, é possível obter melhoramento em propriedades de flexão e torção. Além disso, ressalta-se que vigas transversais traseira e dianteira auxiliam no carregamento crítico de momento de forças, assim como cargas laterais localizadas devido ao sistema de suspensão.

Figura 5: Associação de longarina com chassi de moldura cruciforme



Fonte: happians-Smith et al, 2002.

As vigas transversais na frente e traseira não só auxiliam no transporte do momento de torção, mas também no transporte das cargas laterais aos pontos de montagem da suspensão.

Na prática, o diagnóstico manual de ruídos, vibração e aspereza no sistema de chassi é um tanto complexo para ser executado, embora atualmente exista um significativo avanço em métodos de diagnose NVH, fator esse que tem gradualmente favorecido uma redução no índice de insatisfação pelos clientes. Em decorrência dessa complexidade, testes NVH têm sido realizados isoladamente a fim de facilitar e agilizar no diagnóstico. Em quaisquer dos casos, a descrição do consumidor é crucial para auxiliar no processo. Na maioria das vezes, o que o

cliente julga ser um problema no momento da avaliação, é na verdade apenas uma parte do real problema que eles estão lidando, isto é, a ocorrência reportada pelo portador do veículo é o que eles conseguem distinguir, o que está lhe causando incômodo. Isso, portanto, dificulta o diagnóstico do problema pois nem sempre as descrições dos usuários são suficientes para melhor entender o que está havendo, resultando em uma segunda análise mais detalhada, realizada em laboratório

2.2 SISTEMA DE DIREÇÃO

É indubitável que o sistema de direção é fundamental para estabelecer uma comunicação sistêmica de comandos entre o motorista para com as rodas e pneus, uma vez que exerce a função de conduzir e direcionar o veículo por intermédio de forças e momentos requeridos pelo usuário no momento da realização de algum trajeto. Este sistema, por sua vez, pode ser diferenciado em outras sub-categorias de direção, como: direção hidráulica, mecânica, elétrica e eletrohidráulica.

2.2.1 Direção Hidráulica

A direção hidráulica ou assistida, é caracterizada por apresentar um fluido que é pressionado quando o condutor realiza uma manobra, pelo eixo conectado ao volante, atenuando os esforços imputados. Quanto a divisões, este sistema apresenta uma bomba hidráulica, tubulação de baixa e alta pressão, pinhão e cremalheira e reservatório de óleo. Acrescenta-se ainda que é necessário a execução de manutenção para manutenção assistida pelo menos uma vez por ano a fim de minimizar eventuais problemas que este sistema venha apresentar.

2.2.2 Direção Mecânica

A direção mecânica ou também denominada manual, consiste em um modelo mais simples quando comparado com os outros tipos, o que financeiramente reflete em um custo inferior pago pelo usuário. Quanto a sua funcionalidade, a direção manual vai estar diretamente ligada a transmissão de esforços aplicados no volante até as rodas. Todavia, uma das desvantagens oferecidas por ela trata-se da dificuldade em conduzir o veículo, pois é necessário executar grandes esforços para realizar uma manobra, por exemplo.

2.2.3 Direção Elétrica

A direção elétrica é marcada pelo uso de um motor elétrico capaz de realizar o torque no momento em que o cliente opera o volante. Uma das vantagens associadas a este tipo de direção é descrita pelo fato do esforço do usuário ser praticamente mínimo, além de apresentar custos de instalações acessíveis, também proporciona uma economia de combustível dado que não haverá esforços críticos pelo motor. Contudo, um dos principais contrapontos acerca dela, é a ocorrência de algum módulo de falha no sistema elétrico responsável, resultando em eventos inesperados pelo condutor. Em consequência, deve-se existir uma maior frequência de manutenção preventiva a fim de assegurar o contínuo funcionamento do sistema.

2.2.4 Direção Eletrohidráulica

Por outro lado, a direção eletro hidráulica consiste basicamente no mesmo princípio funcional da direção hidráulica. A diferença é que, enquanto a segunda utiliza uma bomba para pressionar o fluido, a primeira fará uso de um componente elétrico para operar a condução e direcionamento do veículo.

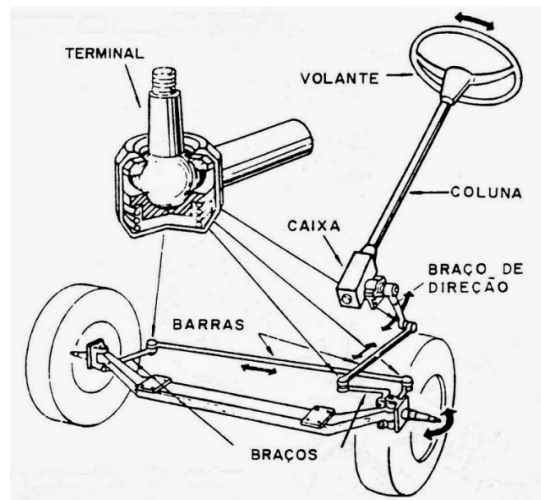
2.2.5 Componentes do Sistema de Direção

Dentre os principais componentes que constituem o sistema de direção, pode-se destacar: volante de direção, coluna de direção, caixa de direção, barra de direção e terminal de direção. O volante consiste no item pelo qual o motorista irá controlar a direção veicular. Através desse mecanismo, o condutor é capaz de manobrar o veículo conforme suas necessidades. Esses componentes podem ainda se diferenciar em subgrupos: o esportivo ou tuning, o de marca e o universal. Além disso, é importante lembrar que em virtude de problemas relacionados à ergonomia do consumidor, o volante pode ser posicionamento acertado pelo cliente a fim de proporcionar mais comodidade quando conduz o veículo.

O volante esportivo é caracterizado por apresentar um design e acabamento característico que proporciona melhor dirigibilidade devido ao conforto gerado pela geometria. O volante de marca caracteriza-se por ser peculiar, podendo apresentar mudanças devido a marca da montadora, além do modelo. Por fim, os volantes universais são aqueles que apresentam uma maior praticidade para trocá-los, pois apresentam compatibilidade com a maioria dos veículos.

A coluna de direção apresenta uma geometria cilíndrica, geralmente fabricada de metal, onde é acoplada à carroceria do veículo, e é responsável transmitir a mobilidade do volante para a caixa de direção. Como a coluna de direção é um item indispensável para a força motora veicular, é fundamental que este componente esteja em um bom estado de conservação, pois uma possível danificação pode ser suficiente para haver acidentes. Dentre os principais motivos que causam a deterioração da coluna de direção, pode-se mencionar o desgaste físico devido a quilometragem percorrido pelo veículo ao longo da sua vida útil, as condições ambientais e atmosféricas, além de eventuais defeitos que pneus e amortecedores venham apresentar.

Figura 6: Sistema de Direção



Fonte: Carburados e Cia, 2014.

A caixa de direção trata-se de um constituinte do sistema de direção, mais especificamente fazendo parte de um arranjo combinatório de componentes e rodas dentadas, diretamente associadas à transmissão do movimento do volante de direção até os pneus e rodas.

A barra de direção, também conhecida como braço de Pitman ou braço de direção, é um dos componentes principais do sistema de direção e atua na função de transformar o movimento circular exercido pelo motorista no volante, para o movimento das rodas.

Outrossim, o terminal de direção consiste em pequenos componentes do sistema de suspensão do carro que conecta o sistema de direção do automóvel até as rodas. Além disso, é formado por um corpo de aço, um pino esférico laminado, coifa de borracha, graxa e uma bucha poliacetal na sua parte interna para obter um melhor funcionamento. Quando o terminal de direção é desgastado, uma folga é formada, resultando em uma trepidação da direção.

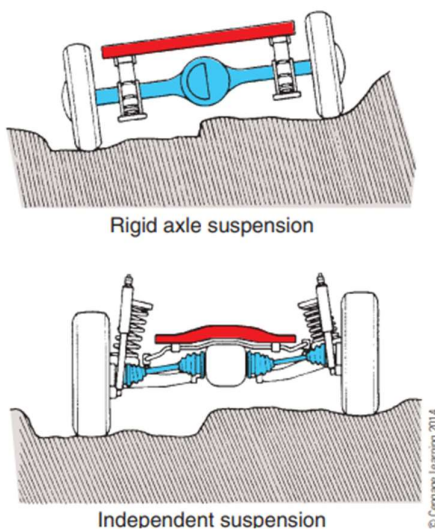
2.3 SISTEMA DE SUSPENSÃO

De acordo com RAJAMANI (2006), o sistema de suspensão é responsável por apoiar a carroceria através do eixo. Isso justifica-se a partir dos impactos recebidos pela carroceria devido aos pneus e desníveis, como lombadas. Isso acontece pois este sistema é capaz de isolar a carroceria do veículo de eventuais perturbações da estrada que o usuário venha se deparar, além de proporcionar amortecimento por fricção, entregando, assim, uma melhor experiência ao conduzir o automóvel. Ademais, esse sistema é classificado em duas principais categorias: suspensão dependente e independente, dependendo do tipo de veículo (BONNICK, 2005).

2.3.1 Tipos de Suspensão

A suspensão independente basicamente possibilita que as rodas direita e esquerda tenham movimento independentes, isto é, elas podem se mover individualmente. Essa característica oferece um grande desempenho no sistema de suspensão, uma vez que auxilia na melhor absorção dos impactos causados por desníveis e irregularidades do solo. Além disso, este grupo apresenta uma estabilidade de direção característica em razão do maior espaçamento das molas, e melhor aderência à estrada uma vez que o centro de gravidade é mais baixo, além do motor ser montado mais próximo do solo (BONNICK, 2005).

Figura 7 : Efeitos das irregularidades das estradas no sistema de suspensão

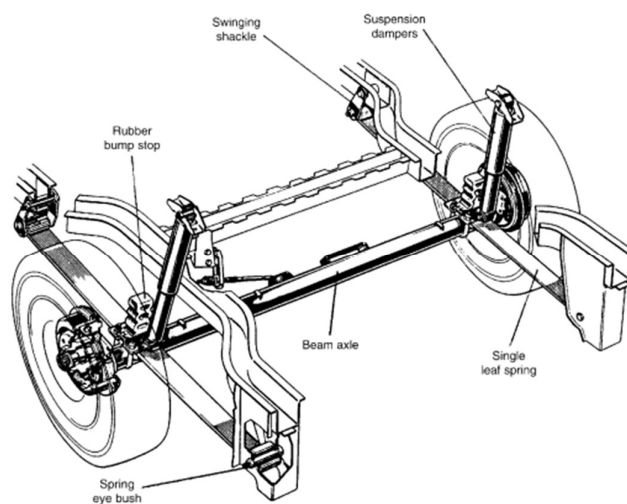


Fonte: Bonnicks et al, 2005.

Por outro lado, a suspensão dependente é caracterizada por apresentar uma dependência no movimento das rodas quando em uma curvatura em razão de uma viga que as conectam, ou seja, as rodas direita e esquerda movimentam-se juntamente. Este grupo é marcado pelo armazenamento alto de energia, além de ser mais compacto e permitir uma maior movimentação da suspensão, proporcionando um passeio mais suave.

No tocante a aplicação no mercado automotivo, a suspensão dependente é amplamente utilizada em veículos pesados, como caminhões e de tração traseira.

Figura 8: Eixo traseiro e conjunto de suspensão



Fonte: Bonnick et al, 2011.

2.3.2 Componentes do Sistema de Suspensão

O sistema de suspensão é, de forma geral, constituído por uma mola, braço oscilante, amortecedor e uma barra estabilizadora.

A mola presente na suspensão veicular diferencia-se em dois grupos, seja ela helicoidal ou feixe de mola. Seu objetivo quando em conjunto com os amortecedores e barra estabilizadora, consiste majoritariamente em absorver eventuais choques e impactos devido às irregularidades da superfície. Acrescenta-se ainda que as molas desempenham um papel no suporte do peso do veículo, evitando que a carroceria entre em contato com as rodas. Enquanto as molas helicoidais são mais flexíveis o que tange a movimentação da suspensão, os feixes de molas detém uma aplicabilidade mais voltada para o transporte de cargas densas.

O braço oscilante, por sua vez, atua em manter o movimento de elevação e descida do pneu de maneira independente, suave e estável. O desgaste deste componente acontece após absorver de forma contínua os impactos e choques devido à desniveis da estrada. No tocante aos custos com a substituição dessa peça, são avaliados a vibração do volante e o desgaste irregular dos pneus, o que a depender do estado desses itens, o preço pode aumentar ou diminuir.

2.4 SISTEMA DE FRENAGEM

2.4.1 Componentes do Sistema de Frenagem

De forma geral, o sistema de freio é composto por cilindro mestre, pedal de freio, disco de freio, pinças de freio, servos de freio e pastilha de freio. A união desses componentes é encarregada de desacelerar o veículo de maneira controlada e repetível, e quando necessário levar o veículo a uma parada completa, além de manter uma velocidade constante quando viajando ladeira abaixo, e manter o veículo parado quando em um plano ou em um gradiente (CROLLA, 2009).

O cilindro mestre está localizado na parte traseira do veículo, e é responsável por iniciar o processo de frenagem distribuindo o fluido de freio para todo o sistema, ou seja, após o consumidor operar o pedal de freio, é gerada uma pressão hidráulica. Em consequência disso, os pistões de sua câmara interna pressionam esse fluido que se distribui por todo o sistema de freio, resultando na ativação de pastilhas e lonas. Existem dois tipos de cilindro mestre: simples e duplo. Os cilindros mestre simples apresentam apenas uma câmara ou estágio. Todavia esse tipo de cilindro mestre está ultrapassado uma vez que um módulo de falha dele acarretará uma perda de frenagem nas 4 rodas. Por outro lado, os cilindros mestre duplo apresentam duas câmaras sendo que cada uma delas alimenta o fluido de duas rodas. Dessa forma, discerne-se que o segundo tipo é mais seguro pois se houver um módulo de falha em uma das câmaras falhar, a outra irá garantir que o veículo ainda terá condição de frenagem.

O cilindro mestre está localizado na parte traseira do veículo, e é responsável por iniciar o processo de frenagem distribuindo o fluido de freio para todo o sistema, ou seja, após o consumidor operar o pedal de freio, é gerada uma pressão hidráulica. Em consequência disso, os pistões de sua câmara interna pressionam esse fluido que se distribui por todo o sistema de freio, resultando na ativação de pastilhas e lonas.

O disco de freio é acoplado à roda e acompanha a movimentação dela, ou seja, se a roda girar 90°, o disco realizará o mesmo deslocamento angular. Sua operação ocorre quando o usuário pressiona o pedal de freio, resultando na inoperação do disco e conseqüentemente da

roda, onde este componente é conectado. As pastilhas de freio são componentes móveis em virtude da sua conexão com um cilindro hidráulico, e são localizadas próximas ao disco de freio, e entram em contato com ele quando o pedal de freio é acionado, levando ele a uma eventual parada.

Semelhantemente ao papel desempenhado pelas pastilhas de freio, a pinça do Sistema de frenagem irá movimentar a segunda pastilha de forma que ambas encostem no disco de freio, havendo, por conseguinte, mais forças para parar o veículo.

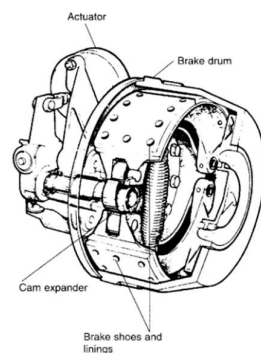
Ao pedal ser operado pelo motorista, o motor gera um vácuo dentro da câmara do freio que irá deixar esse pedal mais macio. No interior deste componente, existem algumas outras partes que contribuem para esse funcionamento, como a câmara primária, disco de vácuo, haste de entrada e saída, válvula de abertura e fechamento e a válvula de retenção.

2.4.2 Tipos de Freios

Segundo (BONNICK, 2011) O Sistema de freio é dividido em dois tipos principais: freio a disco e freio a tambor.

O freio a tambor é caracterizado por estar presente em veículos de grande porte. A nível de componente, esse tipo de freio apresenta duas sapatas, uma dianteira e outra traseira, e são responsáveis por acomodar as lonas de freio, estrutura essa cuja função é resistir a perda de eficiência devido ao aumento de temperatura. Ademais, existem molas que garantem que essas sapatas retornem para sua posição inicial após serem operadas, além de um tambor que atua na formação da superfície de atrito em que a lona de freio que sofrerá compressão, e o cilindro a freio que opera as sapatas por intermédio da pressão hidráulica devido ao fluido de freio. Por fim, o freio a tambor possui um espelho que exerce a função de alinhar todo o sistema-conjunto.

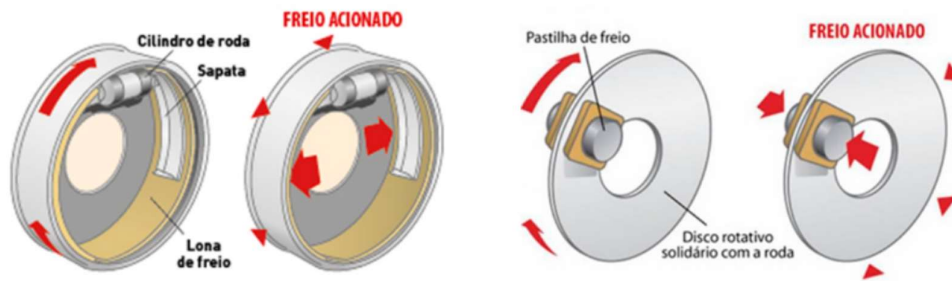
Figura 9: Freio a tambor



Fonte: Bonnicks et al, 2011.

O freio a disco difere-se do freio a tambor, pois esse usa a pressão hidráulica advinda do cilindro mestre que busca pressionar as pastilhas em direção ao disco. Entretanto, para o freio a tambor é gerado um potencial de frenagem internamente no tambor em razão do atrito resultante da interação das lonas e a face interior do tambor.

Figura 10: Freio a tambor vs freio a disco



Fonte: CARLIDER O blog do carro, 2017.

2.5 SISTEMA DE TRANSMISSÃO

O termo transmissão pode ser usado para descrever uma unidade dentro da linha de transmissão de um veículo, muitas vezes o principal caixa de velocidades, ou como um termo geral para um número de unidades (CROLLA, 2009).

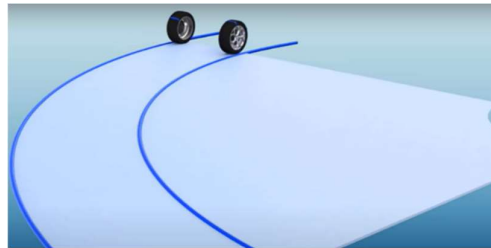
2.5.1 Componentes do Sistema de Transmissão

O sistema automotivo de transmissão é formado basicamente pela caixa de câmbio, diferencial, embreagem, eixo cardan e semi-eixos. A caixa de câmbio consiste em um conjunto de engrenagens que possibilita selecionar a velocidade adequada, o que reflete na habilitação do acionamento do veículo inicialmente, requerendo uma força muito grande, e uma velocidade relativamente baixa.

O diferencial trata-se do integrante das rodas do veículo. Elas, por sua vez, recebem energia do motor através de um eixo de transmissão, e a principal função do diferencial é fazer com que essas rodas girem em diferentes rotações por minuto (rpm) enquanto recebem a potência do motor. Quando em uma curva como mostrado na figura 11, as rodas percorrem distâncias diferentes com velocidades diferentes.

A caixa de câmbio ou caixa de engrenagens é responsável por alterar a proporção do movimento, levando em consideração a velocidade e a necessidade de potência. Em outras palavras, este atributo é basicamente encarregado de transferir o torque do motor para o sistema de rodas a fim que o veículo comece a se mover. A nível de componente, sua estrutura é formada por um eixo que realiza a transmissão, a embreagem que irá atuar na transmissão de forças para a caixa de engrenagens, e rolamentos que garantem a execução do curso realizado pela embreagem para que o disco de embreagem seja liberado, evitando a mola da membrana seja danificada.

Figura 11: Trajeto radial pelas rodas veicular



Fonte: Automobile Engineering, Lesics português, 2021

O eixo cardan consiste em um componente mecânico cujo seu objetivo é transmitir o movimento de torque gerado pelo sistema motor-câmbio para as rodas do automóvel. Portanto essa peça é crucial para o sistema de transmissão pois é responsável por transmitir o movimento com o carro em movimento, compensando a oscilação da suspensão através de componentes específicos. Este atributo é formado por dois eixos tubulares, além de apresentar outros sub-componentes, como as cruzetas, luvas e ponteiras traseiras e dianteiras. Esse conjunto de peças garante que a angulação varie fazendo com que o movimento continue sendo transmitido com o veículo em uma reta ou em terrenos acidentados.

Figura 12: Eixo cardan



Fonte: Autotuning, 2018.

2.5.2 Tipos de Transmissão Automotiva

Segundo Hailu e Redda (2018), o sistema de transmissão apresenta quatro tipos principais: manual, automática, continuamente variável, de dupla embreagem, manual automatizada e eletricamente variável. A transmissão manual é baseada em um par de engrenagem simples, além de utilizar um conversor de torque e apresenta três seções: entrada, eixo intermediário e saída. O princípio de funcionamento da transmissão manual consiste na conexão da entrada ao eixo intermediário a uma velocidade constante, e este eixo é acoplado às engrenagens de saída. Nesse caso, as engrenagens de entrada e saída apresentarão velocidade diferentes em razão das diferentes relações de velocidade.

Por outro lado, a transmissão automática é marcada por um par de engrenagens planetárias e usa um pacote de engrenagem. Este tipo de transmissão foi criada para atenuar o problema de descontinuação de potência na transmissão manual.

2.5.2.1 Transmissão Continuamente Variável

A transmissão continuamente variável é caracterizada por utilizar duas polias e uma correia de aço para transmitir potência do motor. Uma polia motriz recebe a potência do motor e a outra a transmite para as rodas. Nesse tipo de transmissão, a relação de velocidade sempre varia continuamente com a variação do diâmetro das polias. Além disso, a transmissão continuamente variável é a mais ideal para veículos leves pois otimizam o torque e a potência do motor com maior economia de combustível.

2.5.2.2 Transmissão Dupla Embreagem

A transmissão dupla embreagem, como o próprio nome diz, trata-se de uma transmissão que utilizará duas embreagens, e apresenta um disco para a execução das marchas ímpares e outra mais estreita para as pares. Esta consideração é importante pois a primeira marcha necessita de mais material, evitando o desgaste do conjunto. Devido a existência de duas embreagens, esse sistema é mais complexo e possui mais partes móveis, e uma das vantagens oferecidas por esse arranjo é a que ao realizar a mudança de marcha, a próxima marcha já estar pré-acoplada, refletindo em um tempo mínimo muito pequeno ao mudar a marcha.

2.5.2.3 Transmissão Manual Automatizada

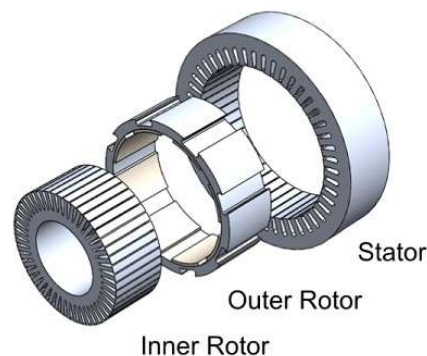
A transmissão manual automatizada é marcada pelo uso da embreagem tradicional como no câmbio manual, porém essa embreagem será acionada por um atuador eletromecânico,

onde sensores e atuadores eletrônicos identificam uma série de aspectos e decidem por qual marcha o sistema julga ser a mais adequada de acordo com o ritmo que o condutor esse sujeito.

2.5.2.4 Transmissão Eletricamente Variável

Por fim, a transmissão eletricamente variável apresenta um rotor interno que contém enrolamentos trifásicos, além de anéis condutores que transferem a corrente elétrica para esses enrolamentos. Além disso, a VET possui ímãs ou rotores de gaiolas, além de um estator elétrico como mostrado na figura 13.

Figura 13 : Componentes da transmissão eletricamente variável



Fonte: Universidade de Gante, 2021.

2.6 SISTEMA DE IGNIÇÃO

O motor a pistão é conhecido como motor de combustão interna. O conceito do motor a pistão é que um suprimento de mistura de ar e combustível é alimentado para o interior do cilindro onde é comprimido e depois queimado. Esta combustão interna libera energia térmica que é então convertida em trabalho mecânico útil como o gás de alta pressão geradas forçam o pistão a se mover ao longo de sua curso no cilindro. Pode-se dizer, portanto, que uma máquina térmica é meramente um transformador de energia (CROLLA, 2009).

2.6.1 Componentes do Sistema de Ignição

O sistema de ignição é basicamente formado por uma bateria, chave de ignição, capacitor, transformador e eletrodos.

O transformador, também chamado de bobina de ignição, é responsável por transformar a baixa tensão de 12V da bateria em alta tensão de mais de 10 kV para romper o dielétrico para romper com a vela de ignição. Isso é possível devido ao arranjo do enrolamento primário e secundário da bobina.

O capacitor, por sua vez, desempenha função de acelerar a velocidade da queda do campo magnético no enrolamento primário.

A bateria exerce a função de transferir potência ao transformador. Este componente geralmente é diferenciado em compartimentos isolados nomeados por células. Estas unidades, por sua vez, produzem uma tensão equivalente a 2V quando a bateria está completamente carregada.

2.6.2 Tipos de Sistema de Ignição

O sistema de ignição nos dias hodiernos pode ser categorizado em pelo menos 3 grupos principais: ignições convencionais, ignição eletrônica e ignição sem distribuidor.

2.6.2.1 Ignição Convencionais

A ignição convencional é considerada, dentre os tipos de ignição atualmente, a mais arcaica e seu uso em automóveis tem sido bastante marcante até a década de 1970. Uma das vantagens apresentada por este grupo é a facilidade e a rapidez no diagnóstico de possíveis módulos de falha. Contudo, este grupo apresenta componentes móveis com potenciais chances de ruptura devido a contínua movimentação de suas partes móveis.

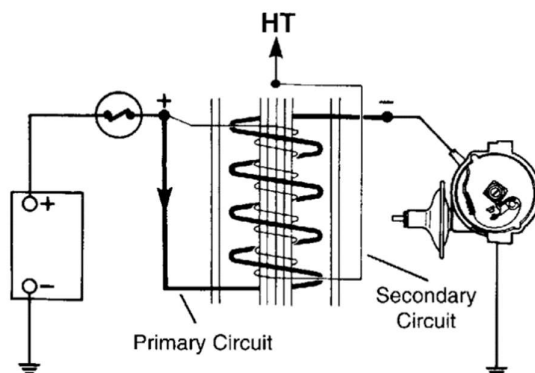
2.6.2.2 Ignição Eletrônica

A ignição eletrônica é caracterizada por apresentar mecanismos de cronometragem eletrônica, portanto, não usufruindo de pontos de ignição. Portanto, o fluxo de corrente elétrica presente no circuito primário da bobina é executado por módulos de controle eletrônico presente no sistema. Dentre os pontos positivos acerca de sua utilização, destacam-se a economia do combustível, uma vez que, a ignição eletrônica proporciona uma combustão completa e com eficiência característica.

2.6.2.3 Ignição sem Distribuidor

A ignição sem distribuidor, diferente da ignição eletrônica e convencional, neste grupo as bobinas estão geograficamente localizadas sobre as velas de ignição, em que geralmente cada uma dessas bobinas são proporcionalmente direcionada para um ou duas velas. Além disso, este sistema é inteiramente eletrônico e controlado pelo computador veicular.

Figura 14: Circuito primário e secundário de uma bobina



Fonte: Bonnicksen et al, 2011.

2.7 LEGISLAÇÃO

É indubitável que a crescente super circulação veicular nas estradas, estimulou de forma direta a necessidade, por órgãos governamentais, de amenizar e controlar o ruído, vibração e aspereza pelos usuários quando dirigindo nas estradas, tornando-se, portanto, uma das principais pautas nas grandes metrópoles e megalópoles brasileiras.

Dentre as estratégias utilizadas atualmente para conter problemas relacionados a essa emblemática, destaca-se a regulamentação de ruído pass-by. Esta regulamentação basicamente certifica a qualidade acústica veicular por meio de requerimentos classificados como aceitáveis, e assim, permitir a homologação e conformidade da manufatura daquele veículo.

Esses atributos são legalmente garantidos pela Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa (UNECE), uma comissão formada por profissionais que trabalham principalmente na área acústica veicular, além de ser difundida em 56 Estados europeus, além da América do Norte e Ásia.

No território brasileiro, o montante de veículos automotores manufaturados antes de serem comercializados nos grandes centros devem estar em concordância com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 9714:2000 e ABNT NBR 15145:2004.

Essas normas aplicadas à atenuação de ruídos buscam garantir que a condição de ruído esteja sendo controlada nos veículos automotores. A ABNT NBR 9714:2000 institui a medição de ruído em veículos rodoviários em estado estacionário conforme a NBR 6067, assim como averiguar os níveis de variação de ruídos em função de desgastes, da modificação dos

componentes, regulagens fora de especificação pelo fabricante, além da remoção parcial ou total de aparelhos que produzem a emissão de ruídos (ABNT, 2000).

Os limites máximos de ruído estabelecidos pela Resolução CONAMA N°418 de 2009, para transportes de quatro rodas na condição de estado estacionário são definidos na Tabela 1.

Tabela 1: Limites máximos de ruído emitidos por veículos automotores na condição de estado estacionário

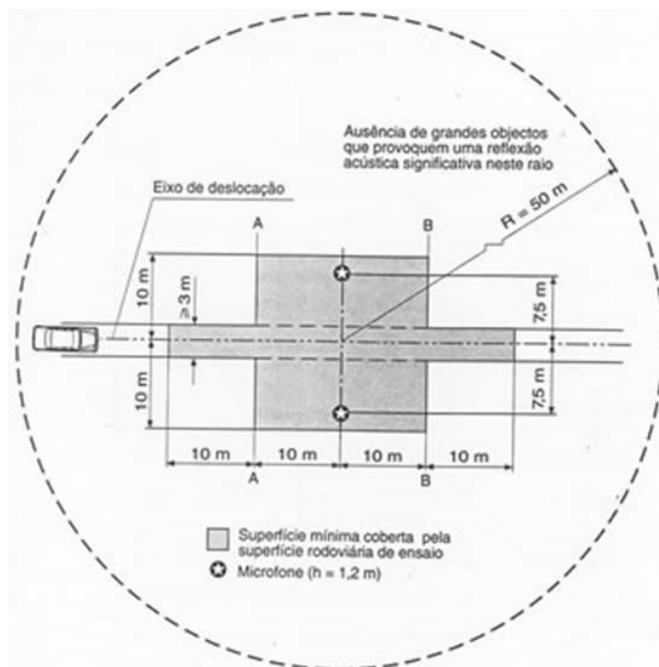
Categoria	Posição do Motor	Nível de Ruído dB (A)
Veículo de passageiros até nove lugares e veículos de uso misto derivado de automóvel	Dianteiro	95
	Traseiro	103
Veículo de passageiros com mais de nove lugares, veículos de carga ou de tração, veículo de uso misto não derivados de automóvel e PBT até 3.500 kg	Dianteiro	95
	Traseiro	103
Veículo de passageiros ou uso misto com mais de 9 lugares e PBT até 3.500 kg	Dianteiro	92
	Traseiro e entre eixos	98
Veículo de carga ou de tração com PBT acima de 3.500 kg	Todos	101
Motocicletas, motonetas, ciclomotores, bicicletas com motor auxiliar e veículo assemelhados	Todos	99

Fonte: Comissão Nacional do Meio Ambiente–CONAMA (2009)

Sobre outra ótica, a “ABNT NBR 15145:2004 – Acústica – Medição de ruído emitido por veículos rodoviários automotores em aceleração – Método de engenharia” considera esses veículos em movimento durante a execução do ensaio acústico, além de definir uma abordagem da engenharia para o processo de medição. Esse cenário deve, portanto, ser idealizado a um ambiente operacional real a fim de melhor detectar e reproduzir o ruído.

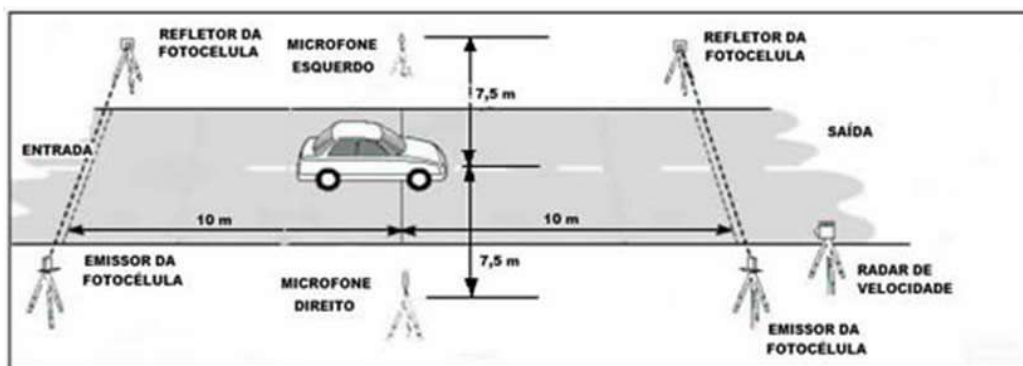
Este cenário, por sua vez, não deve ser fechado e a área de ensaio não deve apresentar declividade, isto é, apresentar superfície planificada. Além disso, a aerodinâmica aérea, temperatura do ambiente e o ruído secundário devem ser controladas. Nesse caso, a velocidade do vento não deve ultrapassar 5 m/s, a temperatura deve estar entre 0 e 40° C, e o ruído externo deve pelo menos apresentar uma diferença mínima de 10 dB quando comparado com o automóvel que está sendo testado.

Figura 15: Esquema construtivo da pista de prova



Fonte: Programa de controle de emissões veiculares (Proconve), 2004.

Figura 16 : Equipamentos utilizados na pista de prova de ruídos



Fonte: Programa de controle de emissões veiculares (Proconve), 2004.

Os limites máximos de ruído estabelecidos pela Resolução CONAMA N°272 de 2000, para transportes de quatro rodas na condição de estado acelerado são definidos na Tabela 2.

Tabela 2: Limites máximos de ruído emitidos por veículos automotores na condição de estado acelerado

Categoria	Posição do Motor	Nível de Ruído dB (A)
Veículo de passageiros até nove lugares e veículos de uso misto derivado de automóvel	Dianteiro	95
	Traseiro	103
Veículo de passageiros com mais de nove lugares, veículos de carga ou de tração, veículo de uso misto não derivados de automóvel e PBT até 3.500 kg	Dianteiro	95
	Traseiro	103
Veículo de passageiros ou uso misto com mais de 9 lugares e PBT até 3.500 kg	Dianteiro	92
	Traseiro e entre eixos	98
Veículo de carga ou de tração com PBT acima de 3.500 kg	Todos	101
Motocicletas, motonetas, ciclomotores, bicicletas com motor auxiliar e veículo assemelhados	Todos	99

Fonte: Comissão Nacional do Meio Ambiente–CONAMA (2000)

2.8 ANÁLISE TÉCNICA E FINANCEIRA

Ao longo do desenvolvimento veicular, a simulação por meio de CAE tem sido amplamente utilizada na indústria automotiva por apresentar vantagens qualitativas ao proporcionar diagnósticos relativamente rápidos e dinâmicos, além de quantitativo por intervir positivamente na otimização de processos operacionais e redução de custos variáveis.

Tecnicamente a ferramenta CAE corrobora de forma direta para eficácia e eficiência por garantir a possibilidade analisar o comportamento do projeto veicular sob diferentes ângulos perspectivas, uma vez que este recurso amplifica o campo de controle da engenharia, podendo realizar um grande número de alterações incrementais quando requerido. Essa vantagem garante para o projetista, e conseqüentemente a companhia, a capacidade de melhorar seus produtos desde os primeiros estágios de desenvolvimento deles. Portanto, a implementação da tecnologia voltada para a simulação assistida por computador configura-se como uma alternativa nos dias de hoje pelas pequenas, médias e grandes empresas no globo, a fim de integrar produtos mais silenciosos e de melhor qualidade.

Outrossim, a simulação de engenharia auxiliada por computador reflete de maneira benéfica para a redução de custos. Isso, pois, com o mapeamento NVH realizado durante o ensaio diagnóstico reflete em um maior tempo de reagir de forma acurada sobre a determinadas

irregularidades e eventuais módulos de falha que o projeto venha apresentar no seu ciclo de vida, isto é, o projetista é capaz de evitar futuros gastos em fases avançadas do desenvolvimento do produto com o auxílio desse ferramental tecnológico.

Além disso, é importante mencionar que este diagnóstico NVH aplica-se para todos os sistemas veiculares apresentados anteriormente. Em virtude da diferença funcional e constitucional entre esses sistemas, a simulação é executada de forma peculiar para cada caso refletindo em microfones, acelerômetros e medidores de forças distintas.

3. MATÉRIAS E MÉTODOS

Com o objetivo de avaliar a viabilidade da simulação assistida por computador, foi necessário, primeiramente, a adoção de uma metodologia de caráter qualitativo por intermédio de uma pesquisa de abrangência experimental localizada no APÊNDICE A, contendo 15 perguntas em que um universo de 200 pessoas na cidade de Fortaleza foram interrogadas, e suas respostas foram mapeadas a fim de traçar conclusões a respeito da viabilidade técnica.

Outrossim, para avaliar o custo a curto, médio e longo prazo associado à utilização de simulação assistida por computador para o diagnóstico NVH, foi admitido o levantamento de custos relacionados aos equipamentos e acessórios necessários para a execução da simulação, como mostrado na TABELA 1.

Portanto, neste trabalho definiu-se os parâmetros fixos para esta análise como o custo operacionais atrelado aos materiais, e o tempo requerido para a detecção de módulos de falhas relacionados a NVH, enquanto o custo de energia elétrica, mão de obra, logística, sistema de internet e telefonia, configuram-se como parâmetros variáveis.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO




4.1 Cotação

Foi possível obter os equipamentos utilizados para a execução do diagnóstico NVH na indústria automotiva. De acordo o universo de dados considerados na análise, destacam-se os seguintes materiais com suas respectivas cotação:

TABELA 1: Materiais utilizados para o teste

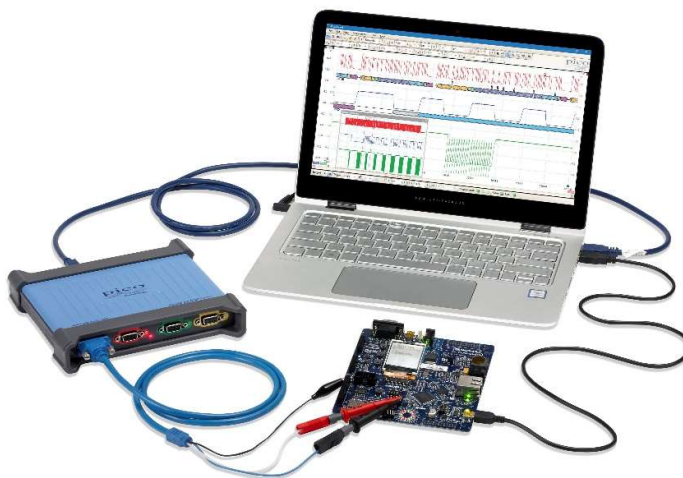
Material	Quantidade	Preço (\$)
Adaptador de energia		4
Carry Case		1
Sonda de corrente		2

2,275.00

Adaptador simples		1	
Sonda diferencial		3	
Osciloscópio		1	

Fonte: Tequipment, 2022.

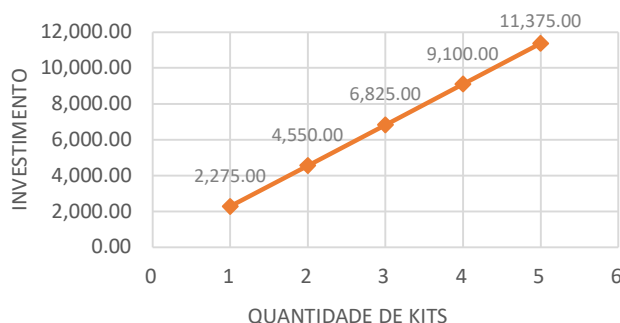
Figura 19: Equipamentos da simulação acoplados



Fonte: "InstrumentCenter", 2022.

A partir dos dados apresentados, discerne-se que a longo prazo, a utilização de equipamentos que auxiliam o diagnóstico rápido e prático de NVH configura-se como uma alternativa para a indústria automotiva. De acordo com o levantamento dos materiais para o teste manual vibro-acústico, o conjunto dos materiais requeridos somam um montante de \$2,275.00. Dependendo do porte da empresa, isto é, se for pequeno, médio ou grande porte, o número de kits pode variar, o que proporciona o custo adicional para cada kit extra. Levando em consideração uma empresa de médio porte, 3 kits são necessários para realizar o diagnóstico, o que representaria cerca de \$6,825.00 na cotação apresentada.

Gráfico 1: Cotação financeira



Fonte: Autor, 2022.

Embora a companhia arque com gastos adicionais devido a aquisição do software e dos equipamentos para a execução da simulação, a longo prazo a empresa poderia reverter esse cenário, uma vez que os custos variáveis tais como energia elétrica e mão- de-obra iria decair drasticamente, pois o diagnóstico seria em tempo real.

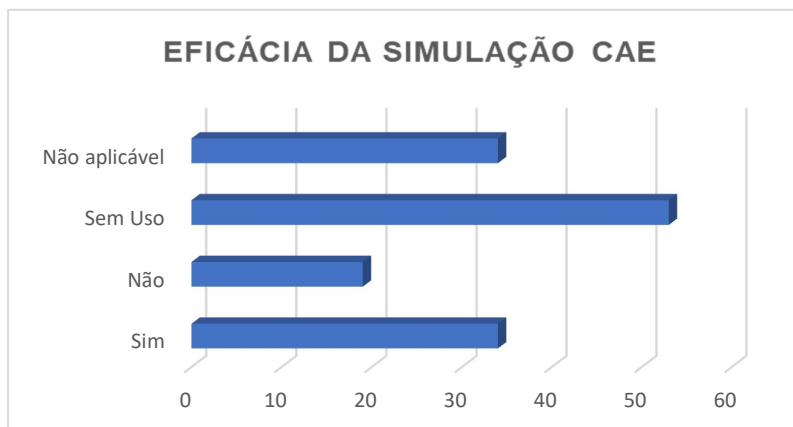
3.2 Viabilidade Técnica

No que tange ao ruído presenciado pelos entrevistados, chocalho, rangido e zumbido somam a maior parte percentual. O primeiro caso, por exemplo, muitas vezes é associado a algum elemento de máquina solto devido o torque insuficiente aplicado nessa peça, resultando, portanto, em um incômodo sonoro durante a condução do veículo. O chocalho é bastante reportado em ocorrência de ruídos no sistema de direção, quando devido ao ciclo de vida do veículo, uma porca, por exemplo, é desprendida inesperadamente. Quanto a vibração, é possível afirmar que trepidação e tremor foram os problemas identificados com maior porcentagem na pesquisa.

Além disso, foi possível discernir que a posição das janelas e da capota influenciam diretamente na natureza do ruído, vibração e aspereza, haja visto os resultados mostrados na

análise. Acrescenta-se ainda que, dos problemas que foram notificados, 24,3% foram resolvidos mais rapidamente com o auxílio de simulação CAE.

Gráfico 2: Eficácia da simulação CAE



Fonte: Autor, 2022.

Por um lado, na perspectiva do usuário, é perceptível que a simulação CAE ainda não é uma realidade no Brasil. Em primeiro lugar isso é justificado pelo alto preço requerido para esse tipo de diagnóstico, pois muitos não estão dispostos a pagar o valor cobrado. Em segundo plano, concluiu-se pelos dados coletados que muitos desses problemas podem ser resolvidos sem o auxílio de simulação CAE, embora seja mais demorado.

Por outro lado, na perspectiva da montadora, a utilização de simulação CAE é sem dúvida indispensável para a economia de recursos. Como explicado anteriormente, a empresa é capaz de otimizar tempo e custo com o uso de simulação assistida.

Gráfico 3: Classificação de vibração



Fonte: Autor, 2022.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou um estudo sobre a viabilidade do uso de simulação assistida por computador provendo, inicialmente, um background dos sistemas automotivos constituintes, além dos aspectos legislativos aplicados à questão vibro-acústica na indústria automotiva.

Através da etapa metodológica foi possível identificar os principais problemas associados a NVH contestados pelo universo de pessoas que participaram, conseguindo, portanto, avaliar o tempo requerido para solucioná-los e os custos operacionais. Além disso, é importante mencionar a execução da cotação financeira levantando gastos agregados a simulação CAE mostrou o domínio e aplicação de conceitos de economia e administração na vida real, adotando uma postura de engenheiro na seleção de materiais e equipamentos que garantem o melhor custo-benefício e saúde financeira para a empresa.

Em paralelo, foi possível analisar a viabilidade técnica proposta pelo uso de simulação assistida por computador dada a precisão e rapidez no diagnóstico acústico do veículo tal como reportada na discussão e resultados metodológicos.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

As sugestões para trabalhos futuro são apresentadas a seguir:

- Simular acusticamente um modelo protótipo de uma peça veicular em ambiente virtual e comparar com a peça real em um experimento laboratorial;
- Avaliar a viabilidade financeira e técnica oferecida pela testagem de dois pacotes acústicos diferentes, sendo testando nas mesmas peças;
- Analisar como os atuais protocolos legais para o campo de NVH para a indústria automotiva poderiam ser alterados a fim de melhorar sua aplicação na homologação de veículos.

6. BIBLIOGRAFIA

RAJAMANI, Rajesh. **Vehicle Dynamics and Control**. 2. ed. [S. l.: s. n.], 2012. 496 p.

NORTON, Robert L. **Projeto de Máquinas**. 4. ed. [S. l.: s. n.], 2013. 1030 p.

BONNICK, Allan *et al.* **A Practical Approach to Motor Vehicle Engineering and Maintenance**. 3. ed. [S. l.: s. n.], 2011. 480 p.

BOSCH, Robert. **Manual de tecnologia automotiva**. 25. ed. [S. l.: s. n.], 2005. 1232 p.

HAPPIAN-SMITH, Julian *et al.* **An Introduction to Modern Vehicle Design**. 1. ed. [S. l.: s. n.], 2002. 585 p.

WINBERG, Mathias *et al.* **Noise and Vibration Control of Combustion Engine Vehicles**. 2005. 221 p. Tese de Doutorado (Engenharia Mecânica) - Doutorado, [S. l.], 2002.

CROLLA, David A. *et al.* **Automotive Engineering: Powertrain, Chassis System and Vehicle Body**. 1. ed. [S. l.: s. n.], 2009. 828 p.

EIXO CARDAN E DIFERENCIAL. **Autotuning**, [s. l.], 2018. DOI <https://www.autotuning.com.br/eixo-cardan-e-diferencial>. Disponível em: <http://blog.carlider.com.br/2017/05/17/como-freio-funciona/>. Acesso em: 4 set. 2022.

MACEY, Stuart *et al.* **H-POINT: The Fundamentals of car design & packaging**. 1. ed. [S. l.: s. n.], 2008. 224 p.

JUNHONG, Zhang *et al.* CAE process to simulate and optimise engine noise and vibration. **ScienceDirect**, [S. l.], n. 1, p. 1400-1409, 11 nov. 2022. Disponível em: www.sciencedirect.com. Acesso em: 11 nov. 2022.

JIREGNA, Iyasu *et al.* A REVIEW OF THE VEHICLE SUSPENSION SYSTEM. **Journal of Mechanical and Energy Engineering**, [S. l.], v. 4, p. 109-114, 22 maio 2010.

HAILU, Hailemariam N. *et al.* Design and Development of Power Transmission System for Green and Light Weight Vehicles: A Review. **The Open Mechanical Engineering Journal**, [S. l.], v. 12, p. 109-114, 3 mar. 2018. Disponível em: <https://www.benthamopen.com/TOMEJ/>. Acesso em: 12 nov. 2022.

GENTA, Giancarlo *et al.* **The automotive Chassis: Components Design**. [S. l.: s. n.], 2009. v. 1.

DIAS, Anderson L. Carros Infoco: Detalhes mecânicos de Chassi e Carroceria não unidos. *In*: INFOCO. **Detalhes mecânicos de Chassi e Carroceria não unidos**. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://carrosinfoco.com.br/2018/07/detalhes-mecanicos-de-chassi-e-carroceria-nao-unidos/>. Acesso em: 11 out. 2022.

MEDONÇA, Douglas. Como funciona o sistema de direção. **Carros e garagem**, [s. l.], 16 jul. 2019.

GOMS, Gary. Diagnosing Chassis Noises. **Tire Review**, [s. l.], 2012. Disponível em: <https://www.tirereview.com/diagnosing-chassis-noises/>. Acesso em: 26 ago. 2022

HEIBING, Bernd. **Chassis Handbook: Fundamentals, Driving Dynamics, Components, Mechatronics, Perspectives**. 1. ed. [S. l.: s. n.], 2011. 616 p.

QUEIROZ, Emanuel. **ESTUDO DE RIGIDEZ TORCIONAL EM UM CHASSI SPACE FRAME DO TIPO BAJA SAE**. 2018. 75 f. Monografia (Engenharia mecânica) - Universidade do Estado do Amazonas, [S. l.], 2018.

CHIP TRONIC. Como funciona a direção hidráulica dos carros. **Chiptronic**, [s. l.], 12 nov. 2021.

DIAS, Anderson L. O que são os ruídos emitidos pelos freios dos automóveis e por que ocorrem ?. **Carros Infoco**, [s. l.], 1 mar. 2021.

CARLIDER O BLOG DO CARRO. Como o freio do carro funciona?. **CARLIDER O blog do carro**, [s. l.], 17 maio 2017. Disponível em: <http://blog.carlider.com.br/2017/05/17/como-freio-funciona/>. Acesso em: 14 set. 2022.

SOBRENOME, Lesics portuguÊs. Como funciona um Diferencial? YouTube, 28 Out. de 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=8AYt0sNHjHs&t=49s>. Acesso em: 1 Out. 2022.

GHENT UNIVERSITY. Electrical Variable Transmission. **EVT**, [s. l.], 2021. Disponível em: <https://www.ugent.be/ea/emsme/en/research/eelab/drivesystems/electrical-variable-transmission>. Acesso em: 7 out. 2022

TEQUIPMENT. **PicoScope 4444**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.tequipment.net/Pico/4444-CAT-III-KIT/PC-Based-Oscilloscopes/>. Acesso em: 8 nov. 2022.

HARRISON, M. **Vehicle Refinement: Controlling Noise and Vibration in Road Vehicles** 1a ed. Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004

Castro, M. S. “Uma metodologia para melhoria da rigidez torcional de componentes estruturais automotivos”, Dissertação para obtenção de grau de mestre, UFSC, 2008

7. APÊNDICE A – INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

QUESTIONÁRIO

A - PERFIL DO ENTREVISTADO

1 Qual a sua faixa etária?

- 18-21 anos 22 – 25 anos 26 – 35 anos 36– 60 anos
 Mais de 60 anos

2 Qual é a frequência que você utiliza um automóvel?

- Raramente 1 a 2 vezes por semana 3 a 4 vezes por semana
 5 dias por semana Todos os dias

3 Você apresenta algum problema de audição?

- Sim Não Não sei

4 Qual é a frequência que você conduz ou presencia um veículo em estradas pavimentadas?

- Nunca Quase nunca Às vezes Quase sempre Sempre

5 Qual é a frequência que você conduz ou presencia um veículo conduzido em calçamento?

- Nunca Quase nunca Às vezes Quase sempre Sempre

6 Qual é a frequência que você dirige ou presencia um veículo conduzido em estradas vicinais (estradas de terra) ?

- Nunca Quase nunca Às vezes Quase sempre Sempre

7 Você já presenciou algum ruído quando conduzindo um veículo, ou sendo passageiro?

Se sim, que tipo de ruído?

- Chocalho Rangido Uivo Zumbido Outro Sem histórico.

8 Você já presenciou alguma vibração quando conduzindo um veículo, ou sendo passageiro ? Se sim, que tipo de vibração?

() Oscilação () Tremor () Trepidação () Outro () Sem histórico.

9 Quando presenciou algum dos problemas acima enquanto dirigindo ou sendo passageiro, qual era a posição das janelas?

() Totalmente abertas () Parcialmente abertas () Totalmente fechadas
() Parcialmente fechadas () Não lembro () Sem histórico

10 Quando você presenciou algum dos problemas acima enquanto dirigindo ou sendo passageiro, qual era a posição do teto (capota)?

() Totalmente aberta () Parcialmente aberta () Totalmente fechada
() Parcialmente fechada () Não lembro () Não era conversível

11 Quando você presenciou algum dos problemas acima, a quem você recorreu para solucioná-lo?

() Oficina local () Técnico ou Experte em NVH () Laboratório de vibração e acústica Ninguém () Resolvi o problema sem assistência () Outro () Não se aplica.

12 Quanto tempo foi requerido para o problema ser identificado?

() Poucos minutos () 1 a 2 dias () 3 a 4 dias () 5 a 6 dias
() 1 semana ou mais Não se aplica

13 O problema foi resolvido?

() Sim () Não () Não se aplica

14 Na detecção do problema, foi utilizado algum software de Engenharia Assistida por Computador?

() Sim () Não () Não sei () Não se aplica

15 Você acha que isso ajudou a identificar o problema mais rapidamente?

() Sim () Não () Não foi utilizado qualquer software de Engenharia Assistida por Computador () Não se aplica