

ANÁLISE DE VIBRAÇÃO EM SISTEMAS VEICULARES

VIBRATION ANALYSIS IN VEHICLE SYSTEMS

Willian Moraes Santos¹, Hilton Seheris da Silva Santos², Diego Rosa dos Santos³, José Ribamar Santos Moraes Filho⁴, Jackeline de Sousa da Silva⁵, Madson Cruz Machado⁶, Osman José de Aguiar Gerude Neto⁷, Patrício Moreira de Araújo Filho⁸

RESUMO: Com a crescente demanda na aquisição de automóveis o setor de manutenção é algo que vem sendo requerido com uma frequência cada vez maior, e grande parte das reclamações dos condutores trata-se da emissão de ruídos anormais nos carros. Grande parte desses barulhos são provenientes de desgaste em coxins de fixação. O presente artigo busca analisar as vibrações propagadas por esses coxins quando desgastados e após a substituição por novos, fazer a comparação entre eles e indicar o grau de vibração que é reduzido com a peça nova, sendo efetuado a aferição nos quatro principais mecanismos automotivos, motor, suspensão, transmissão e direção. Esta pesquisa foi realizada em veículos de diferentes marcas (Toyota, Renault e Fiat). Para realizar esta captação foi utilizado um smartphone aliado a um aplicativo, acoplado diretamente aos coxins e realizando a comparação dos gráficos obtidos através das amplitudes máximas e mínimas expostas nos acelerômetros. Chegou-se a conclusão de que a diferença entre o coxim danificado e o recém adquirido possui uma diferença, tendo como critério a capacidade de dissipação de oscilações das peças novas exibidas no decorrer desta pesquisa.

PALAVRAS-CHAVE: Ruídos, Coxins, Vibrações, desgastados, mecanismos automotivos.

ABSTRACT: With the growing demand in the purchase of automobiles, the maintenance sector is something that has been required with increasing frequency, and most of the drivers' complaints are about the emission of abnormal noises in the cars. Most of these noises come from wear on fixing pads. The present article seeks to analyze the vibrations propagated by these cushions when worn and after replacement with new ones, to compare them and indicate the degree of vibration that is reduced with the new part, being carried out the measurement in the four main automotive mechanisms, engine, suspension, transmission and steering. This research was carried out on vehicles of different brands (Toyota, Renault and Fiat). To perform this capture, a smartphone allied to an application was used, coupling it directly to the cushions and comparing the graphs obtained through the maximum and minimum amplitudes exposed in the accelerometers. It was concluded that the difference between the damaged cushion and the newly acquired one has a difference, having as a criterion the ability to dissipate oscillations of the new parts displayed in the course of this research.

KEYWORDS: Noises, Cushions, Vibrations, worn, automotive mechanisms.

Revista Interlocus, volume 1, número 2, 2025

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15620935>

Editor: Eduardo Mendonça Pinheiro

Artigo recebido: 10/05/2025

Artigo Aceito: 25/05/2025

Artigo Publicado: 01/06/2025

1 Bacharel em Engenharia Mecânica, UNICEUMA, wsengenharia2020@gmail.com, <http://lattes.cnpq.br/0965971168574574>

2 Mestre em Engenharia Elétrica, Docente no UNICEUMA, hilton005062@ceuma.com.br, <http://lattes.cnpq.br/2694609672291821>

3 Mestre em Meio Ambiente, Docente no UNICEUMA, diego.santos@ceuma.br, <http://lattes.cnpq.br/2694609672291821>

4 Mestre em Energia e Ambiente e Engenheiro de Produção, Docente no IFTO, joseribamar.filho@ifto.edu.br, <http://lattes.cnpq.br/3778827762757288>

5 Mestre em Engenharia Mecânica, Docente no UNICEUMA, jackeline.silva@ceuma.com.br, <https://lattes.cnpq.br/0802532342357653>

6 Mestre em Engenharia Elétrica, Docente no UNICEUMA, madson.machado@ceuma.br, <http://lattes.cnpq.br/3415489729823227>

7 Doutor em Meio Ambiente, Docente no UNICEUMA, osmangerude@hotmail.com, <https://lattes.cnpq.br/1199184922159968>

8 Doutor em Engenharia Mecânica, Docente no UNICEUMA, patricio004893@ceuma.com.br, <https://lattes.cnpq.br/2976670641000837>



1. INTRODUÇÃO

Ao tratar-se de vibrações voltamos no tempo de forma significativa, começou a ser estudada 3000 a.C. por Pitágoras através de diferentes sons produzidos por cordas vibratórias em um equipamento conhecido na época como monocórdio. Diante disso o estudo foi evoluindo cada vez mais através da acústica e tensão das cordas até se tornar o que é hoje, estando presente na maioria das atividades humanas.

Atualmente, na área veicular a vibração é algo bem recorrente, sendo estudada frequentemente tanto na questão conforto e acústica, onde as montadoras procuram proporcionar uma experiência cada vez melhor para seus clientes onde os mesmos possam não sentir o desconforto de ruídos e vibrações do veículo, quanto para peças veiculares que através de oscilações cíclicas pode gerar um desgaste precoce e a perda de eficiência, algumas dessas peças são: rolamentos, engrenagens, mancais, coxins etc. Dessa forma é conveniente estudar vibração para reduzir esses sinais negativos apresentados, por meio de projetos e análises.

Neste trabalho a análise de vibrações será abordada em diversos sistemas do veículo, sendo que cada sistema possui uma vibração específica, ela precisa ser de certa forma dissipada (coxim, peça que absorve vibrações do sistema) para que esta não chegue até o condutor. Comumente o coxim que é responsável por absorver essas vibrações está danificado. Será feito então a análise das peças danificadas e novas para efetuar uma comparação que possibilite obter o percentual de vibrações que é reduzido após a substituição da mesma.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Verificar o grau de vibração dos 4 principais sistemas veiculares (motor, suspensão, transmissão e direção) através de um aplicativo de dispositivo móvel antes e depois da substituição de um coxim danificado por um novo.

2.2 Objetivos Específicos

- Verificar a vibração nos sistemas com a peça defeituosa.
- Verificar a vibração nos sistemas após a substituição da peça.
- Comparar os gráficos aferidos durante o processo.
- Indicar o grau de vibração que é reduzido com a peça nova.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Vibrações Mecânicas

Na maior parte das atividades cotidianas dos seres humanos a vibração se faz presente. “Por exemplo, a respiração, que está associada à vibração pulmonar e o andar, que envolve o movimento oscilatório das pernas e braços. Os primeiros estudos na área de vibrações foram concentrados em fenômenos naturais e no desenvolvimento de teorias matemáticas para descrever a vibração de sistemas físicos (SINGIRESU, 2009). Porém,

seu desenvolvimento se deu de forma muito exponencial e atingiu áreas específicas da engenharia, como projeto de máquinas, fundações, estruturas, motores, turbinas e até mesmo a área veicular.

Podemos definir vibração ou oscilação como oscilações de um sistema mecânico ou estrutural em torno de uma posição de equilíbrio (KELLY, 2012). É perceptível a vibração quando um elemento se desloca do seu ponto de origem. “Um sistema vibratório inclui um meio de proporcionar a união da energia potencial (mola ou elasticidade), um meio para armazenar energia cinética (massa ou inércia) e um meio de perda sucessiva de energia (amortecedor). A vibração de um sistema abrange a transferência alternada de sua energia potencial para energia cinética e de energia cinética para energia potencial. Se o sistema for amortecido, certa quantidade de energia é dissipada em cada ciclo de vibração e deve ser substituída por uma fonte externa, se for preciso manter um regime permanente de vibração (SINGIRESU, 2009).

Sua classificação se dar através de quatro variações, sendo elas: Vibração Livre e Forçada, Vibração amortecida e não Amortecida, Vibração Linear e não Linear (SINGIRESU, 2009).

Começando por vibrações livres, podemos dizer que são vibrações que iniciam a partir de uma energia inicial inserida no sistema e não há intervenção de nenhuma outra fonte. Temos também a vibração forçada, que pode se classificar como uma oscilação causada por uma força ou movimento externo (muitas vezes repetitiva), a vibração resultante é conhecida por vibração forçada. Já a vibração amortecida, que é outro tipo de vibração, acontece quando a energia propagada no sistema é totalmente cessada por alguma resistência. Vibração não amortecida, é identificada caso nenhuma energia seja perdida ou dissipada por atrito ou outra resistência durante a oscilação. A vibração Linear, pode ser entendida da seguinte forma: Se todos os componentes básicos de um sistema vibratório, a mola, a massa, e o amortecedor, comportam-se linearmente, a vibração resultante é linear, entretanto, se os componentes se comportarem de maneira diferente, a vibração já é classificada por não linear (KELLY, 2012).

Determinado a classificação das vibrações, situamos estes conceitos no setor automobilístico, que está presente de forma bem clara, pois peças mecânicas são reféns de desgastes e consequentemente atrito e vibração (FERREIRA; FARIA, 2010).

Diante da evolução dos automóveis novas características foram aparecendo de forma natural devido à alta demanda e exigência dos consumidores. A partir disso as montadoras dividiram-se em setores, onde cada um é responsável por uma parte da produção do automóvel, onde o mesmo é composto mecanicamente por: motor, transmissão, suspensão e direção (VIEIRA, 2010).

3.2 Motores

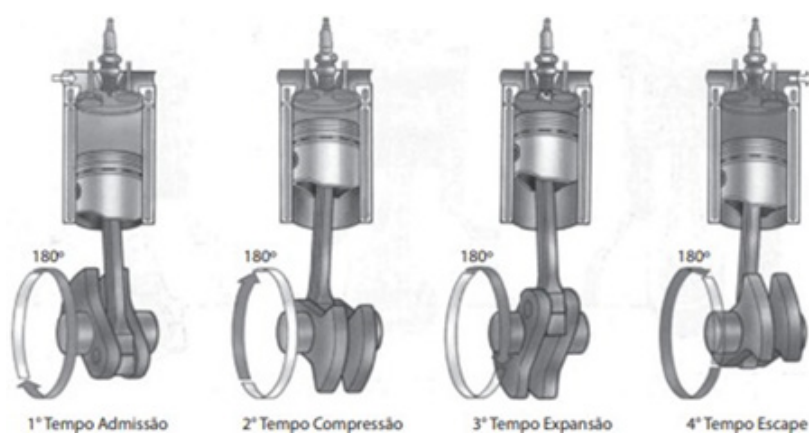
O Motor a combustão interna começou a ser produzido em 1862, quando um físico francês codinome Alphonse Beau de Rochas apontou as condições necessárias para que um motor de combustão interna funcionasse com o máximo de economia. Ele chegou a descrever também, a sequência de eventos, por meio do qual a economia e eficiência poderiam ser conseguidas. Essa sequência totalizava 4 tempos, o que hoje ocorre na maioria dos motores a combustão interna. Entretanto, o Físico não chegou a construir motor algum, tendo apenas formulado as condições de funcionamento econômico que ele havia imaginado. O motor foi construído experimentalmente em 1872, mas só foi realizado prati-

camente em 1876 por Nikolaus Otto, que foi inclusive, quem determinou o ciclo teórico sob o qual trabalha o motor ICE. Quando a firma alemã Otto und Langen passou a fabricar os motores 4 tempos, de pistões móveis, ligados a um virabrequim, este tipo de motor passou a se chamar popularmente de motor Otto (SINGIRESU, 2009).

3.2.1 Ciclo de Trabalho

Nos motores 4 tempos, um ciclo corresponde a duas voltas completas do virabrequim. Na medida que o virabrequim realiza o movimento de rotação, os pistões se movem dentro dos cilindros, variando entre o ponto morto superior (PMS) e o ponto morto inferior (PMI). As bielas possuem a função de transmitir o movimento do virabrequim para os pistões. Com as duas voltas do virabrequim, 4 tempos são efetuados por um cilindro, como mostra a Figura 1 (MILHOR, 2002).

Figura 1. Ciclo de trabalho de um motor ciclo Otto



Fonte: Brunetti (2018).

Em cada cilindro há um conjunto de válvulas, uma é responsável pela admissão da mistura ar-combustível (nos motores injeção direta) e outra, responsável pela exaustão dos produtos de combustão da mistura. Essas válvulas são conhecidas por válvulas de admissão e válvulas de escape e sua quantidade pode variar de motor para motor. As válvulas são acionadas pelo eixo comando de válvulas, que por sua vez é acionado pela árvore de manivelas (SIMÊNCIO, 2019). Diante do funcionamento das válvulas o motor executa os 4 tempos, conforme ilustra a figura 2.

Os motores a combustão interna vêm sendo modificado e melhorado ao longo dos anos, de acordo com a demanda da indústria automobilística. Desta forma os motores têm se tornado mais leves, econômicos e potentes, com a utilização de novos materiais, melhorias no mecanismos entre outras alterações (como geometria e material do coletor de admissão) que resultaram em melhoria na eficiência volumétrica e melhorias relacionadas a eficiência da combustão (geometria da câmara de combustão e novos métodos para formação da mistura ar-combustível) (MILHOR, 2002).

Figura 2. Tempos do motor

Tempos de um Motor	Características
Admissão	A admissão é caracterizada pelo movimento do pistão do Ponto Morto Superior para o Ponto Morto Inferior com a válvula de admissão aberta e a válvula exaustão fechada. De acordo com a movimentação do pistão, a mistura ar-combustível, flui para dentro do cilindro.
Compressão	Durante a compressão, o pistão se desloca do Ponto Morto Inferior para o Ponto Morto Superior, com ambas as válvulas fechadas, comprimindo a mistura ar-combustível no interior da câmara de combustão. Antes do pistão atingir a parte superior, o sistema de ignição produz uma centelha, a partir da vela de ignição do respectivo cilindro. A centelha provoca a queima da mistura, fazendo com que a pressão no interior do cilindro se eleve.
Expansão	A alta pressão no cilindro, em virtude da queima da mistura, faz com que o pistão se desloque do Ponto Morto Superior para o Ponto Morto Inferior, com as válvulas fechadas. É durante o processo de expansão que a energia inclusa no combustível é liberada, transformando-se em movimento.
Exaustão	Na exaustão, o pistão se desloca do Ponto Morto Inferior para o Ponto Morto Superior. A válvula responsável pela exaustão se abre fazendo com que o resultado da queima da mistura ar-combustível seja expelido do cilindro para a atmosfera.

Fonte: Adaptado Martins (2006).

3.3 Transmissão

Segundo Nakata Automotiva (2018), o sistema de transmissão é o mecanismo responsável pela passagem de torque do motor para as rodas, é um sistema composto basicamente por diversas engrenagens, onde as principais são chamadas de árvores, que é a responsável pela transmissão dos movimentos, passando pelo diferencial.

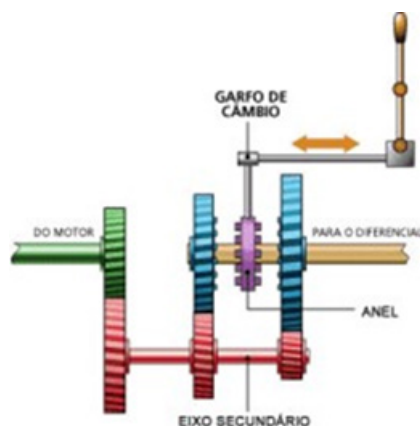
As transmissões mais utilizadas no mercado automotivo são as manuais e automáticas.

3.3.1 Transmissão Manual

Conjunto mais utilizado, pois a maioria dos veículos o adota. É construído a partir de um eixo primário, proveniente do próprio motor, um eixo secundário e o eixo de saída. Os eixos citados anteriormente estão unidos através de engrenagens, como mostra a figura 3, as quais definem a rotação e torque final no eixo secundário. Segundo (WEIHERMANN, 2015), os principais componentes deste conjunto mecânico são: Pares de Engrenagens, Embreagem, Anéis Sincronizadores, Eixos de Transmissão, Alavanca de seleção de Marcha.

O funcionamento do mecanismo começa através do acionamento da embreagem e seleção da marcha, após isso o anel sincronizador pertinente a marcha selecionada acopla a engrenagem no eixo de saída. Normalmente o sincronizador atua para dois pares de engrenagens. Dessa forma a movimentação do eixo oriundo do motor é passado para o eixo de saída por meio da conexão do par de engrenagens selecionado. Além disso, é mostrado o eixo de entrada na transmissão, o eixo interme diário e o eixo de saída. Também é possível observar o anel sincronizador posicionado entre dois pares de engrenagens. Nesta condição o veículo está em “ponto morto” (WEIHERMANN, 2015).

Figura 3. Câmbio Manual



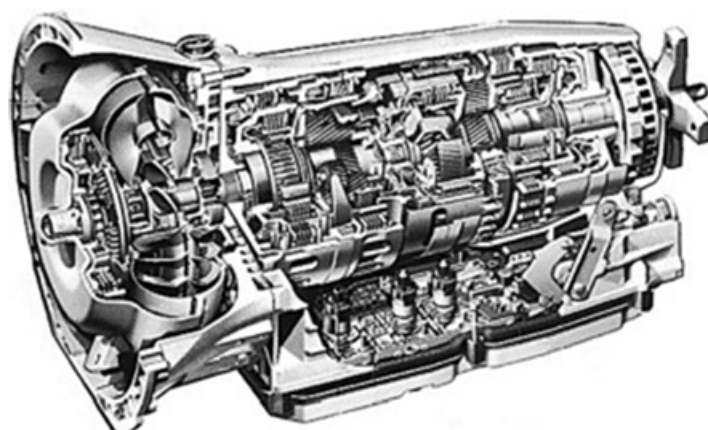
Fonte: Brain (2003).

3.3.2 Transmissão Automática

Neste modelo de transmissão, mostrado na figura 4, o conjunto de transferência de rotação e torque permanece sendo o mesmo, entretanto, o sistema a ser utilizado para fazer a transmissão deste torque e a rotação oriundas do motor, além do arranjo interno da caixa de mudanças possui algumas diferenças em comparação a caixa manual. Este modelo de transmissão tem por objetivo proporcionar um maior conforto e dirigibilidade para os condutores, inicialmente sendo voltada principalmente para veículos em família. O uso deste tipo de câmbio no mercado automotivo mundial se propagou de forma muito rápida e atualmente é utilizada em quase todas, se não todas as categorias veiculares.

Apesar de ser um mecanismo bem complexo, este câmbio vem passando por diversas otimizações com o passar do tempo, possibilitando o desenvolvimento de novos sistemas, como a novidade do mercado, a transmissão CVT. Através dessas melhorias é possível sinalizar vantagens em relação ao manuais, são elas: Redução do estresse do condutor, Mudança de marcha com mais precisão, Mudança mais inteligente devido os dispositivos eletrônicos empregados no sistema (GENTA; MORELLO, 2009).

Figura 4. Câmbio Automático



Fonte: Genta e Morello (2009).

3.3.2.1 Principais componentes

Atualmente, possuem caixas de mudanças que oferecem arranjos que podem variar de quatro velocidades até valores superiores a sete. Uma das características mecânicas desse tipo de transmissão é o uso de conjuntos redutores planetários. A substituição do conjunto do disco de embreagem pelos conversores e sistemas de atuadores hidráulicos e eletrônicos que auxiliam nas trocas de marcha sem a necessidade do acionamento pelo motorista (LECHNER; NAUNHEIMER, 2014).

3.3.2.2 Conversor de Torque

Mecanismo presente nos conjuntos automáticos, exibido na figura 5, permite que dois eixos sejam conectados. Diferentemente das transmissões manuais, onde não existe uma ligação direta entre dois eixos. A relação de transmissão é dada pela inércia originária do fluxo de óleo entre a bomba e a turbina hidráulica. Logo, isso permite que o motor esteja em funcionamento mesmo que o eixo de transmissão motriz fique estático (SANTANA, 2018).

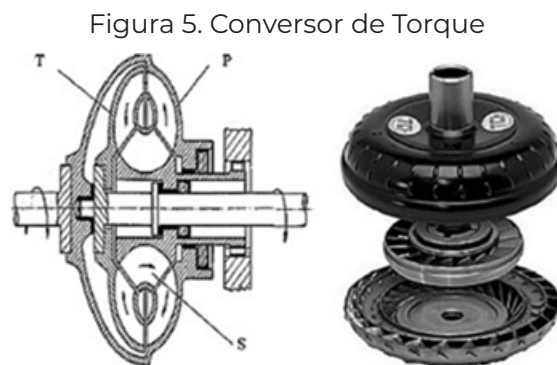


Figura 5. Conversor de Torque

Fonte: Genta e Morello (2009).

3.4 Suspensão

Com o crescimento exponencial do setor automotivo as suspensões veiculares vêm atingindo um patamar cada vez mais elevado no sentido sofisticação, garantindo a seus clientes uma experiência cada vez mais agradável. O sistema de suspensão, segundo Hapian (2020) tem a função de reduzir o impacto das irregularidades da pista, melhorar o conforto da direção e estabilidade bem como melhorar as características de aderência da roda à pista.

Segundo Gillespie (2021), os primeiros veículos eram carruagens impulsionadas por tração animal e suas rodas eram conectadas por um eixo rígido fixado diretamente ao veículo sem qualquer elemento elástico entre eles.

Os primeiros veículos que utilizaram deste sistema, que trazia como principais desvantagens o desconforto causado pela passagem das irregularidades da pista diretamente para a carroceria e a seguida perda de tração e aderência em função das rodas não estarem mais em contato com o solo. Para sanar este problema surgiu a ideia de utilizar um composto elástico entre os eixos e o chassi do veículo, aparecendo então as molas como uma possível solução. Com o objetivo de melhorar o trabalho das molas, os amortecedores foram também adicionados aos sistemas de suspensão possibilitando a redução rápida da

variação dos movimentos da carroceria através da dissipação de sua energia (GILLESPIE, 2021).

A suspensão, da mesma forma que o motor, é um mecanismo automotivo que possui diversas peças, todas mostradas na figura 6, e elas atuando em conjunto proporcionam a redução das vibrações, oscilações e irregularidades da pista, para permitir a proteção dos passageiros. Segundo o Senai (2004), as principais peças são:

1. Pneus e rodas

Auxiliam no sistema de suspensão na absorção das vibrações e impactos do solo.

2. Cubo de rodas

Faz com que as rodas deslizem sobre a superfície.

3. Molas

Neutralizam os choques da superfície de rodagem.

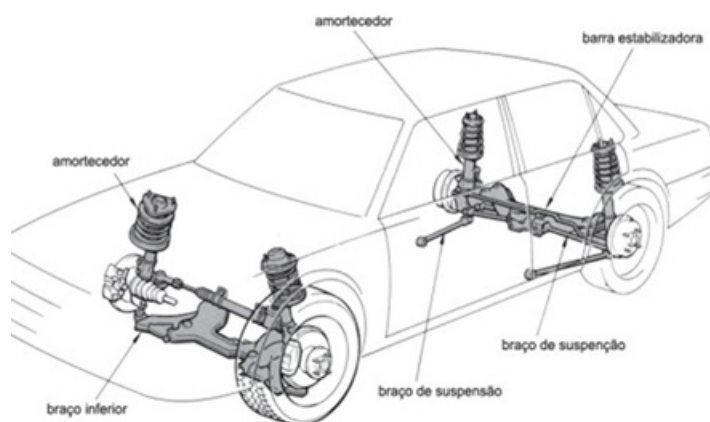
4. Amortecedores

Entram em ação para melhorar o conforto ao dirigir, reduzindo o número de oscilações da mola.

5. Sistema de Articulação

Este componente é requisitado para manter os conjuntos superiores em seus devidos lugares, para fazer o controle dos movimentos longitudinal e lateral das rodas e permitir que a carroceria fique nivelada.

Figura 6. Sistema de Suspensão Veicular



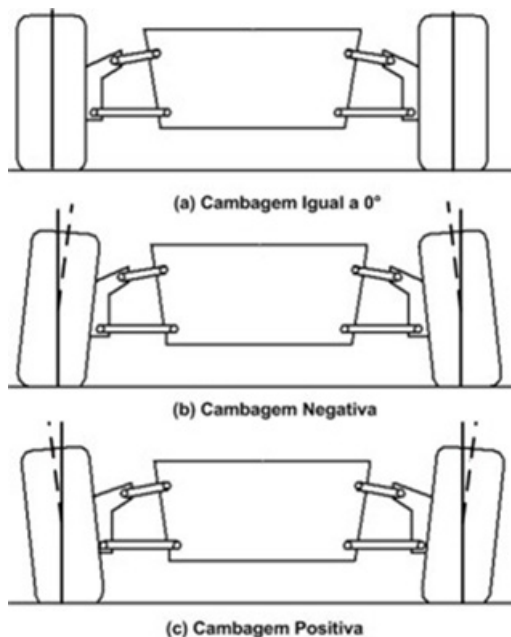
Fonte: Senai (2004).

Além dos componentes, temos também outros fatores que influenciam diretamente neste conjunto, que apesar de não muito conhecido por leigos é de suma importância. É chamado de parâmetro geométrico da suspensão. Esses parâmetros, relacionam-se diretamente com o comportamento dinâmico do veículo e caso estejam fora dos índices recomendados podem ocasionar desgaste precoce de diversas peças do sistema de suspensão (REZENDE, 2007).

3.4.1 Ângulo de cambagem das rodas

Parâmetro geométrico do conjunto de suspensão, está aliado ao ângulo na vista frontal que as rodas do veículo fazem com um plano vertical que passa pelo centro do pneu. Quando as rodas estão lateralizadas com sua extremidade superior apontando para dentro do veículo o câmbier é negativo e quando apontam para fora o câmbier é positivo. E diante das variações citadas anteriormente, se o ângulo das rodas totalizar 90° , afirmamos que o câmbier é igual a 0° . Detalhes exibidos na figura 7 (REZENDE, 2007).

Figura 7. Ângulo de Cambagem das Rodas



Fonte: Adams (1992).

3.4.2 Convergência e Divergência das Rodas

Esse parâmetro geométrico é dado pelo ângulo medido da vista superior entre a roda e um plano paralelo ao eixo longitudinal do veículo. Se a parte frontal das rodas aponta para dentro do veículo, diz-se que elas são convergentes e se apontam para fora elas são divergentes, assim como na figura 8.

Figura 8. Ângulos de cambagem.



Fonte: Adams (1992).

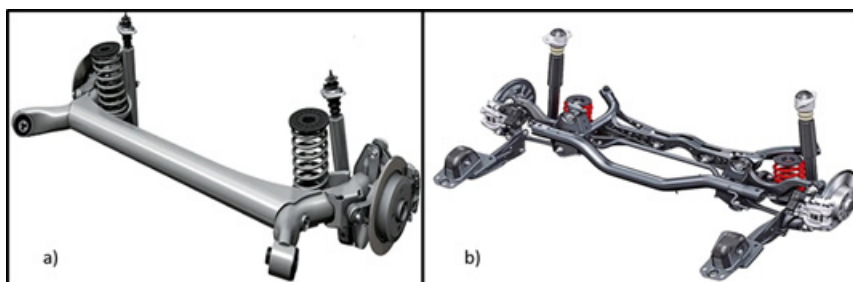
Nas rodas dianteiras a quantidade de convergência é ajustada aumentando ou diminuindo o comprimento das barras do sistema de direção. Introduzindo uma leve convergência nas rodas dianteiras faz com que o veículo tenha estabilidade em linha reta e aumento de tração. Porém reduzindo a convergência ou mesmo ajustando as rodas em uma configuração levemente divergente, ocorre um ligeiro aumento no ângulo de ester-

çamento (REIMPELL; STOLL; BETZLER, 2001).

3.4.3 Tipos de Suspensão

Segundo Nakata Automotiva (2018), a suspensão de um automóvel é algo que está sempre em constante evolução, hoje o setor automotivo possui mais de 6 modelos desse mecanismo, dentre os principais temos a suspensão dependente e a independente. O conjunto dependente (figura 9 “a”) é um tipo de suspensão em que as rodas são conectadas por um único eixo. Já o mecanismo independente (figura 9 “b”), permite que as rodas trabalhem com movimentos independentes.

Figura 9. Suspensão Dependente e Independente



Fonte: Quatro Rodas (2021).

3.5 Direção

Conjunto mecânico apto a dar direcionamento ao veículo, tem por função gerar um ângulo nas rodas dianteiras a partir dos comandos do condutor, para que haja controle total do veículo. Os ângulos produzidos a partir do esterçamento são modificados pela geometria da suspensão e condições de tracionamento para veículos de tração nas rodas dianteiras (FERNANDES; BARBOSA, 2006).

O sistema de direção é classificado de três formas: Sistema Pinhão e Crema-lheira, Sistema de Direção Hidráulica e Sistema de Rolete e Sem-Fim. O volante é ligado ao mecanismo de direção através da coluna de direção que é composta por eixos, mancais, juntas e isoladores de ruído e vibrações em alguns modelos. Através desta conexão, o mecanismo de direção é acionado e transforma o movimento de rotação do volante em movimento de esterçamento das rodas (FERNANDES; BARBOSA, 2006).

3.5.1 Direção Mecânica

Neste sistema há uma caixa de direção que é composta por pinhão e cremalheira, como exibido na figura 10. O pinhão está diretamente ligado ao volante por meio da coluna de direção que transmite o movimento do motorista diretamente para o mesmo que então transfere para a cremalheira. Esta se encontra ligada, em cada lateral da caixa, por articulações axiais, que, ligadas às mangas de eixo, rotacionam em torno do eixo de esterçamento movimentando as rodas para a esquerda ou direita (CANTARELLI; SILVA, 2016).

Figura 10. Direção Pinhão e Cremalheira

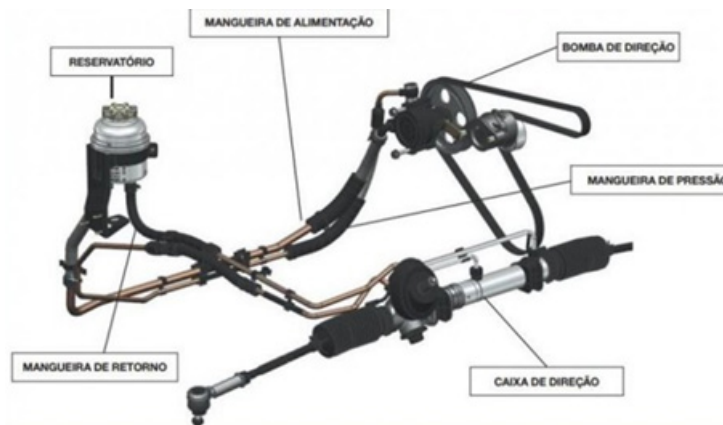


Fonte: Ampri Especialista em direção (2021).

3.5.2 Direção Hidráulica

Segundo Fernandes e Barbosa (2006), o sistema é semelhante a direção mecânica, porém, com uma redução do esforço do motorista através da ação da assistência hidráulica. O torque que chega ao motorista é da ordem de 5Nm a 7Nm em manobras com o veículo parado. A figura 11 ilustra um sistema completo de direção hidráulica.

Figura 11. Sistema de Direção Hidráulica



Fonte: Casa da direção (2016).

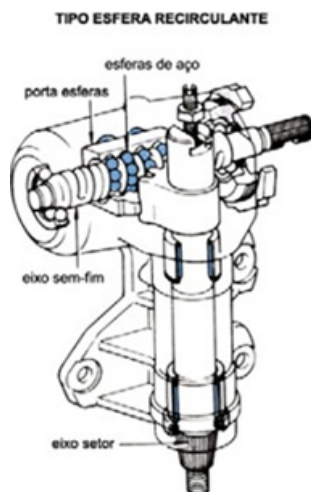
De acordo com Fernandes e Barbosa (2006), é bastante simples. A pressão do óleo é aplicada pela bomba hidráulica no instante em que o motorista faz algum movimento no volante. Na bomba há uma válvula, denominada válvula de alívio, ela se abre ou fecha, quando se gira o volante. Quando aberta, ela faz com que o óleo sob pressão direcionado a um pistão que em seguida aciona a cremalheira.

A bomba de óleo é acionada através de uma correia ligada diretamente ao motor do veículo. A bomba possui duas mangueiras, uma que leva o óleo até a caixa de direção (mangueira de pressão) e outra que o traz de volta (mangueira de retorno). Este mecanismo é composto pela caixa de direção propriamente dita e o conjunto de válvula. Enquanto o motor está funcionando, a bomba gera pressão no óleo. As posições da válvula é o que determinam por onde deve percorrer o óleo e o que ele deve causar no mecanismo. O corpo da válvula possui internamente três divisões. Em cada uma há um orifício. As duas divisões externas são interligadas ao reservatório hidráulico e a câmara central está ligada à bomba. De acordo com sua produção ela pode gerar mais ou menos assistência e exige mais ou menos esforço do condutor ao girar o volante.

3.5.3 Direção Rolete e Sem Fim

O sistema é composto de um eixo de entrada acoplado ao volante, que possui um sem-fim que fica engrenado no rolete que pertence ao eixo de saída. Portanto com a rotação do sem-fim, verifica-se o deslocamento angular do eixo de saída, onde se acopla o braço de direção Pitman. No extremo deste braço acoplam-se os barramentos de direção que tem como função a transmissão do movimento para as mangas de eixo e por sua vez às rodas, conjunto completo mostrado na figura 12. Esse sistema de direção rolete e sem fim é empregado em veículos de passeio e comerciais leves.

Figura 12. Sistema de Direção Rolete e Sem Fim



Fonte: Senai (2004).

De acordo com Gillespie (2021), comparando o sistema pinhão e cremalheira e o sistema rolete e sem fim, verifica-se a maior aplicação do sistema pinhão e cremalheira pelo menor nível de complexidade, facilidade em acomodação e a não obrigatoriedade de longarinas. Outro fato é a utilização de assistência apenas nos sistemas pinhão e cremalheira.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa é definida como do tipo quantitativa e para seu desenvolvimento foi utilizado um dispositivo móvel aliado ao aplicativo PHYBOX, para analisar as vibrações dos principais conjuntos mecânicos automotivos, são eles motor, transmissão, suspensão e direção, antes, com o coxim danificado e depois, após a instalação do coxim novo. A pesquisa foi feita na Empresa "Só Hidráulica Marcus Freitas", localizada em São Luís, companhia com mais de 30 anos de experiência no mercado hidráulico e na parte de vibrações veiculares. Cada conjunto mecânico foi analisado de forma individual e em veículos diferentes e em plenas condições de uso, todos citados no decorrer da pesquisa de forma mais detalhada.

4.1 Procedimento de Medição

A vibração é um fenômeno difícil de se aferir, pois há uma série de percalços a serem vencidos para obter o resultado correto. Nesta pesquisa foi utilizado o PHYBOX, que é um aplicativo desenvolvido para dispositivos móveis onde é possível captar vibrações além de outros artifícios. Ele utiliza fielmente os sensores do telefone para captar eventos externos, podendo exportar os dados em vários formatos de forma acessível. Esse aplicativo foi de-

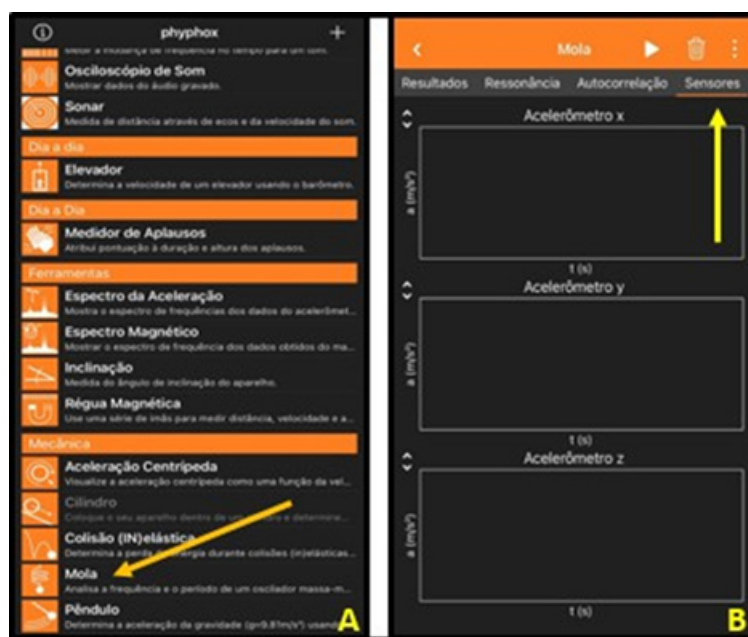
desenvolvido pelo instituto de física da Universidade RWTH Aachen, registrada na Alemanha. Tal Aplicativo que já recebeu diversos prêmios por sua eficiência em aplicações de pesquisa do ensino superior e em aulas escolares de física. Na *interface* do aplicativo, foi explorada a parte mecânica e em seguida, a função mola, possibilitando a avaliação a partir de acelerômetros em unidade m/s^2 em três eixos distintos x,y,z, como mostra a figura 13.

Na cidade de São Luís - MA, é notório a quantidade de irregularidades em diversas vias, isso faz com que a vida útil de elementos como coxins, que são peças desenvolvidas com objetivo de absorver as vibrações oriundas da carroceria do veículo, seja ela do motor, ou outra parte qualquer, seja reduzida de forma significativa, não descartando a grande possibilidade de mal uso, que também é um fator considerável tratando de condutores ruins. Com isso, há uma procura constante do serviço de reparação em vibrações. E é diante dessa procura que foi desenvolvida a pesquisa. Os diversos motoristas que procuram este serviço protestam a mesma queixa, porém, são diferentes peças que emitem esses barulhos.

Para detectar o agente causador da falha, o especialista nessa área, inicialmente conduz o carro por determinado percurso e identifica o barulho em questão. Após isso o veículo é encaminhado para um elevador automotivo e fixado de forma correta. Após diagnosticar visualmente e ter convicção de qual peça apresenta defeito, o dispositivo móvel é acoplado a peça e feita a aferição da vibração produzida com

o veículo em funcionamento. A avaliação, como citado anteriormente é feita com a peça velha e com a peça nova.

Figura 13. Interface App Phybox



Fonte: autores (2022).

4.2 Peças Avaliadas

As peças citadas no decorrer da pesquisa seguem o mesmo padrão de avaliação e foi executada nos seguintes veículos, são eles um Toro de ano 2019 da montadora Fiat, Sander de ano 2010 da montadora Renault, Duster de ano 2015 também da montadora Renault e uma Hilux do ano 2014 da montadora Toyota.

4.2.1 Coxim do motor

Quando citados motores, é imediato a percepção de oscilações devido os movimentos constantes das peças internas. Quando há um coxim desse conjunto mecânico danificado, o veículo apresenta imediatamente barulhos fora do normal. Segundo Nakata (2022) este coxim em específico tem a função de fixar o motor junto a carroceria possibilitando a absorção de vibrações nas diferentes rotações do veículo. Ele está localizado na porção lateral esquerda e direita do cofre do motor, mostrado na figura 14.

A análise dessa peça foi feita no veículo Fiat Toro 2.0 Diesel, ano 2019, com o mesmo em funcionamento e posicionado no elevador automotivo, com o *smartphone* fixado exatamente na parte superior do coxim, para possibilitar uma coleta de dados confiáveis. O experimento, assim como os demais é dividido em duas etapas semelhantes, diferenciando-as apenas na substituição das peças, que é avaliado com a peça velha e a peça nova. O coxim original do veículo, nesta pesquisa, foi substituído por outro genuíno de marca Mopar, possuindo um grau de qualidade muito bom e com reconhecimento neste mercado.

Figura 14. Coxim do motor lado direito Fiat Toro



Fonte: autores (2022).

4.2.2 Coxim da Caixa de Marcha

Caixa de Marcha, por ser um mecanismo que possui uma quantidade elevada de engrenagens e está sendo requisitado constantemente pelo condutor, nem sempre da melhor forma, está sujeito a vibrações de forma muito explícita. Diante de certo tempo a peça vai apresentando um desgaste natural, podendo as vezes ser precoce, não sendo recomendado postergar a substituição dessa peça. Está localizada na parte inferior do motor, como mostra a figura 15, sendo fixada por dois parafusos passantes rosqueados respectivamente no agregado e na carcaça da transmissão do veículo.

O modelo avaliado nesse conjunto foi um Renault Sandero fabricado em 2010, com transmissão manual, seguindo a mesma metodologia citada anteriormente, com avaliação antes e depois da substituição de uma peça danificada, exibida na figura 15, por uma peça nova semelhante, ambas as peças genuínas, com especificações de fábrica.

Figura 15. Coxim da caixa de marcha Renault Sandero



Fonte: autores (2022).

4.2.3 Coxim da suspensão

A suspensão é o mecanismo veicular que mais possui reclamações de vibrações dentre os outros. Pois ele é o principal intermediador entre o solo e o veículo, e é nessa conexão que deve haver a fabricação e o arranjo correto dessas peças, para que essas trepidações não cheguem até o condutor. Nesse conjunto há diversas peças que podem apresentar barulhos anormais, caracterizados como oscilações irregulares. Podendo ser de coxins dos amortecedores, do próprio amortecedor, dos terminais de direção, pivô de suspensão, buchas da barra estabilizadora entre outros.

O coxim do amortecedor, mostrado na figura 16, presente no veículo Renault Duster de ano 2015, está fixado nas extremidades laterais do cofre do motor e quando danificado apresenta um desgaste em seu corpo, e como consequência há o atrito contínuo do amortecedor com sua carcaça, esse problema que vai gerar o desconforto auditivo para o condutor. Para executar a análise desse conjunto, o equipamento foi posicionado próximo ao coxim e executado o movimento que fizesse com que a peça apresentasse a folga axial, fazendo assim a coleta dos dados.

Figura 16. Coxim do amortecedor Dianteiro Renault Duster



Fonte: autores (2022).

4.2.4 Coxim da Caixa de Direção

Tratando-se deste mecanismo tão importante, foi a medição mais complexa a se fazer, pois é um conjunto de difícil acesso, ficando posicionado acima do agregado do veículo. Quando o coxim desta peça danifica (como exibido na figura 17"A"), o veículo apresenta

barulho em grande escala, pois os parafusos passantes presente na carcaça da direção começam a apresentar uma folga em decorrência da falta de eficiência do coxim, e ao esterçar o volante a carcaça da caixa de direção se movimenta. A aferição dessa oscilação foi feita posicionando o *smartphone* na lateral da caixa, para captar sua movimentação irregular. O veículo utilizado neste experimento foi a Toyota Hilux 3.0 de ano 2014. E após a reparação do mecanismo, já com o coxim novo, exibido na figura 17"B", foi feita novamente a medição, e assim tornando possível a comparação.

Figura 17. Cxim da caixa de direção Toyota Hilux



Fonte: autores (2022).

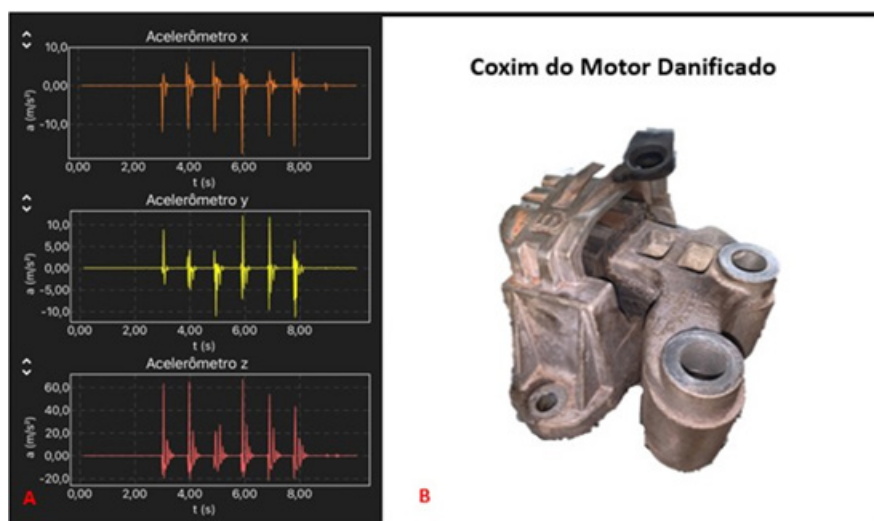
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente tópico apresenta os resultados das avaliações de vibrações de todas as peças exibidas anteriormente, tanto defeituosas quanto as novas. Foram emitidos gráficos que exibem diversos picos, eles se relacionam com a oscilação da peça. Nota-se a diferença desses picos ao substituir a peça velha por uma peça nova, pois as oscilações são eficientemente reduzidas.

5.1 Análise de Cxim do Motor

Nesta primeira etapa foi feita análise do coxim do motor danificado como citado anteriormente. Os dados estão apresentados no gráfico da figura 18.

Figura 18. Gráfico relacionado ao Cxim do motor danificado



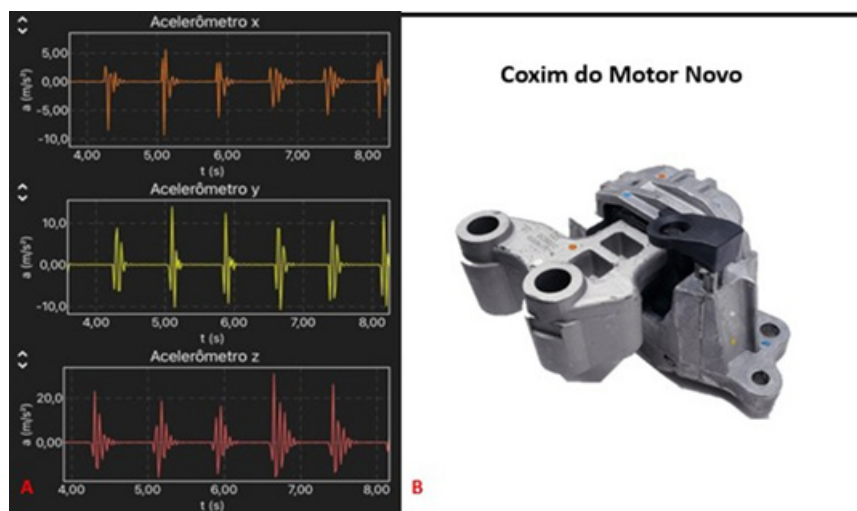
Fonte: autores (2022).

Os picos são emitidos quando há contato da haste do coxim danificado com a car-

caça, pois devido o desgaste da borracha a mesma não consegue fixar o motor de forma adequada, quando há alguma irregularidade no solo, o peso do motor faz com que esta haste encoste na carcaça emitindo as vibrações e barulhos fora do comum.

Já com a peça nova substituída, o gráfico apresentado na figura 19 já apresenta uma diferença em suas variações, pois o coxim novo não permite que o motor apresente oscilações fora do padrão permitido pelo fabricante, a fixação nova tem a capacidade de estabilizar o mecanismo de forma adequada, não permitindo que a haste apresente variações de posição. Com isso temos uma redução de frequência aceitável, pois o conjunto mecânico se mantém estável mesmo com as irregularidades no solo. Baseado na amplitude dos gráficos, levando em consideração os acelerômetros x,y e z, este mecanismo apresentou uma redução de aproximadamente 40 por cento nas oscilações geradas pelo mecanismo danificado.

Figura 19. Gráfico relacionado ao Cxim do motor novo



Fonte: autores (2022).

5.2 Análise de Coxim da caixa de Marcha

Seguindo os passos de medição anterior, dividido em duas etapas, foi feito a coleta de dados do coxim danificado da caixa de marcha, apresentada na figura 20. Este coxim é dotado de dois furos envoltos de borracha reforçada para dissipar as oscilações oriundas do câmbio, são nesses furos onde passam os parafusos de fixação dessa peça. Quando avariado ele apresenta variação de posição constante em decorrência dos movimentos do veículo e das trocas de marcha, fazendo com que os parafusos de fixação da peça entre em contato com a parte metálica que fica situada envolto da borracha, pois a mesma apresenta perda de eficiência devido o desgaste.

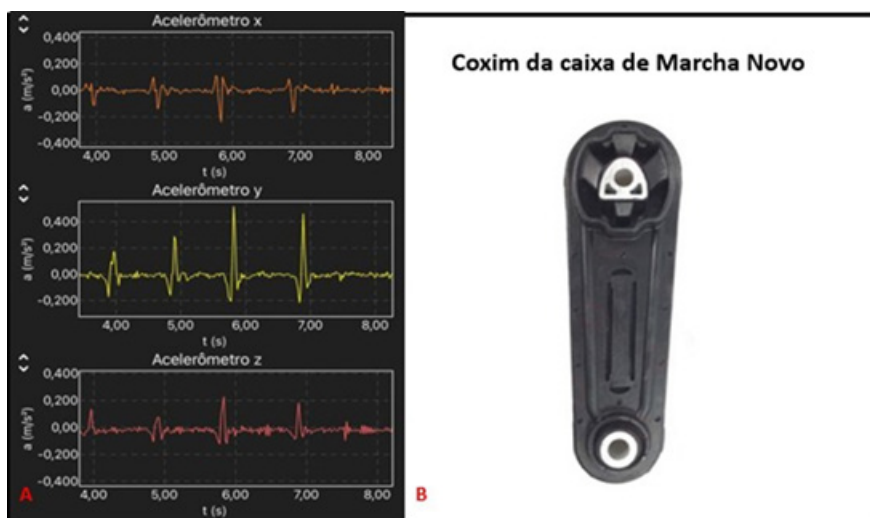
Figura 20. Gráfico relacionado ao Coxim da Caixa de Marcha Danificado



Fonte: autores (2022).

Na aferição de dados com a peça nova foi obtido mudanças notórias no gráfico, como apresentado na figura 21, pois as oscilações que havia anteriormente foram de fato reduzidas. O coxim novo tem a capacidade de fixar o conjunto de câmbio com a eficiência adequada, exercendo sua função de forma idônea, fazendo com que este mecanismo mantenha-se estático até mesmo com movimentações bruscas do veículo e mudanças repentinas de marcha. Feito a análise das amplitudes nos acelerômetros, a peça substituída proporcionou uma redução de 90 por cento nas vibrações.

Figura 21. Gráfico relacionado ao Coxim da Caixa de Marcha novo

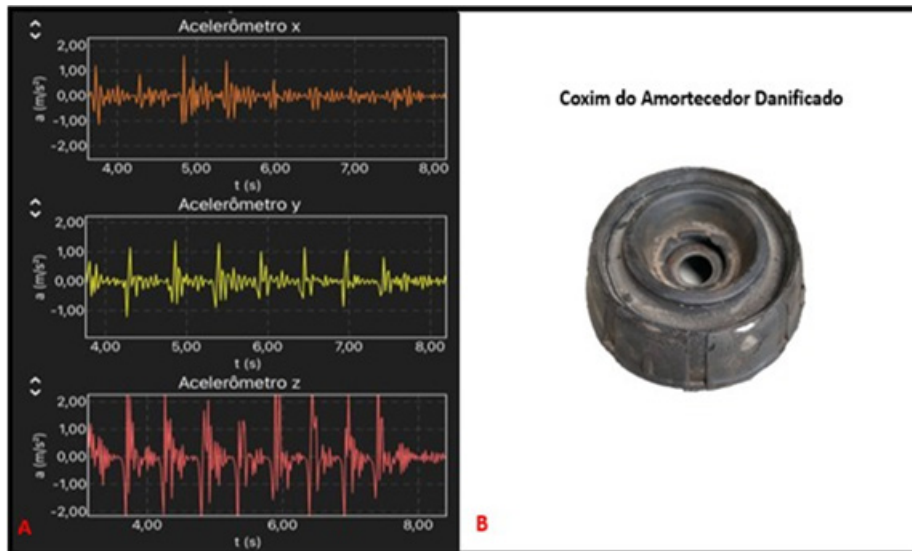


Fonte: autores (2022).

5.3 Análise de Coxim da Suspensão

O mecanismo de melhor acessibilidade para captação de vibrações dentre os outros. Com a peça danificada, foi feito a coleta de dados, exibida no gráfico da figura 22. Os picos mostrados apresentam-se quando o amortecedor encosta no coxim danificado. Esta peça é fabricada a partir de uma carcaça feita em alumínio envolto de borracha, que quando degradada faz com que os choques do amortecedor sejam direcionados para a carcaça do coxim emitindo vibrações constantes.

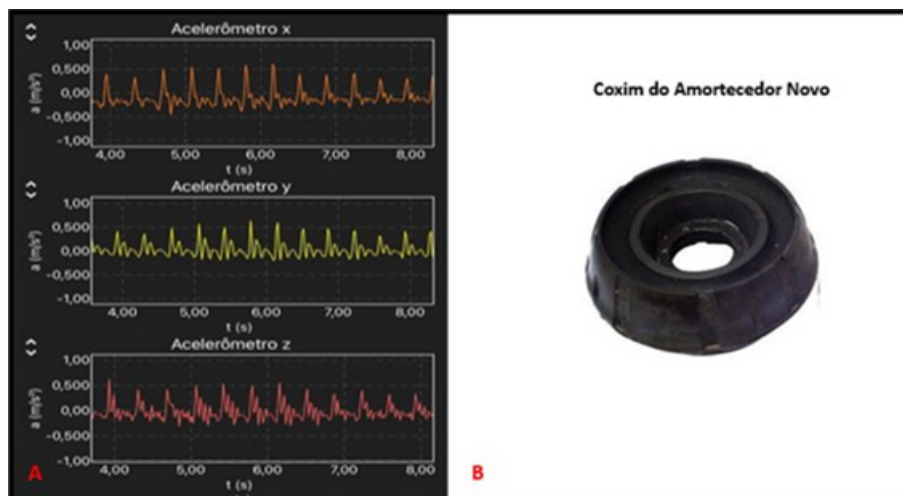
Figura 22. Gráfico relacionado ao Coxim do amortecedor danificado



Fonte: autores (2022).

Quando substituído, a redução de vibrações é imediata, como pode-se observar no gráfico da figura 23, pois a peça nova apresenta bons resultados e absorve os choques do amortecimento de forma altamente eficiente. De acordo com os picos exibidos nos dois gráficos deste mecanismo, tendo como parâmetro sua amplitude, a redução de vibrações com a peça nova chegou a aproximadamente 70 por cento.

Figura 23. Gráfico relacionado ao Coxim do amortecedor novo

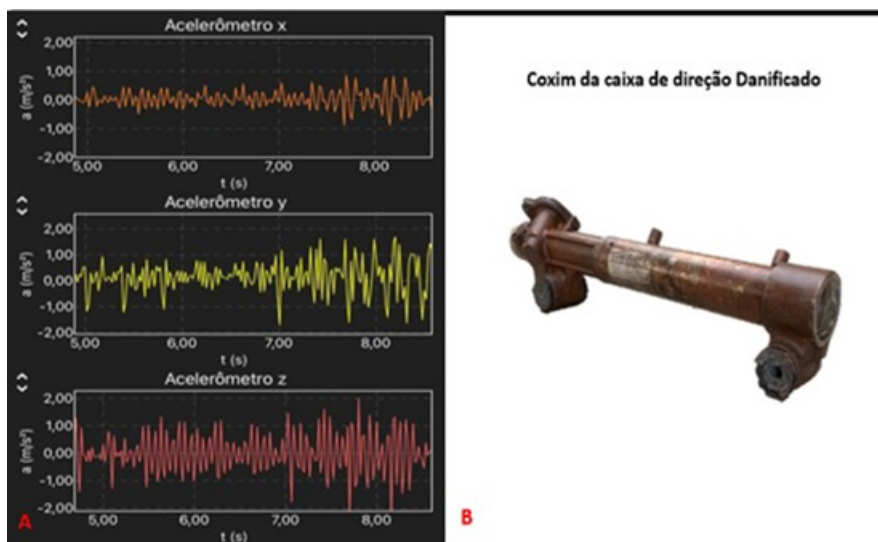


Fonte: autores (2022).

5.4 Análise de Coxim da Direção

Dentre as peças citadas, é a que apresenta maior desconforto acústico, pois são barulhos constantes, além de serem passados diretamente ao volante em alguns casos, gerando enorme desconforto para o condutor, e por isso os diversos picos gerados no gráfico da figura 24. Os picos se manifestam quando o condutor simplesmente esterça o volante, seja para o lado esquerdo ou direito. A falta de eficácia do coxim da direção faz com que a carcaça da caixa se movimente o que não é para acontecer, pois é fixada por parafusos passantes na parte interna do coxim, e é diante dessa movimentação que ela entra em atrito com outros componentes.

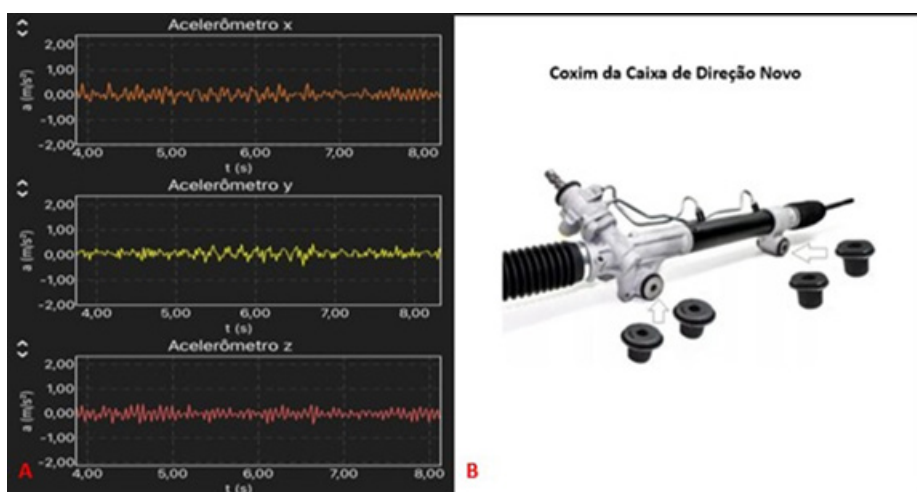
Figura 24. Gráfico relacionado ao Coxim da Caixa de Direção Ruim



Fonte: autores (2022).

O coxim quando novo faz com que a carcaça do mecanismo não se movimente, mantenha-se estável. Proporcionando a movimentação apenas de suas partes internas. A redução de vibrações é notória, principalmente para o condutor, que apesar de ser leigo na área de manutenção é algo perceptível no volante, gerando uma assimilação de melhora imediata. O gráfico da figura 25 exhibe os picos reduzidos, e analisando sua amplitude, o coxim novo possibilitou uma redução de 80 por cento nas oscilações deste mecanismo.

Figura 25. Gráfico relacionado ao Coxim da Caixa de Direção Novo



Fonte: autores (2022).

6. CONCLUSÃO

De acordo com a avaliação de vibração das peças dos respectivos veículos, Fiat Toro, Renaul Duster, Renault Sandero e Toyota Hilux, tendo como referência as medições feitas a partir dos sensores do dispositivo móvel aliado ao aplicativo Phybox, afirma-se que a integridade dos coxins de cada mecanismo veicular, sendo eles Motor, Transmissão, Suspensão e direção, influi diretamente na absorção de oscilações irregulares. Quando temos um coxim danificado as vibrações são imediatamente externadas, seja por atrito da carcaça do próprio coxim devido desgaste ou seu contato com terceiros, sendo peças que integram o

sistema em questão.

De acordo com os resultados abordados anteriormente, a respeito de coxins dos sistemas veiculares, foi possível notar que a propagação das vibrações com coxins danificados é muito grande, gerando enorme desconforto para o condutor, todas as peças danificadas possuem uma semelhança na vibração, divergindo apenas nos picos dos gráficos, pois cada vibração é emitida de uma forma diferente e em escalas desiguais. A vida útil desta peça, leva-se em consideração o esforço requisitado, pois cada condutor percorre um tipo de pavimento, a matéria prima, logo cada fabricante utiliza tipos específicos de material, a fixação e construção, para adequar-se corretamente ao veículo que será utilizado.

Com a aferição diante dos coxins novos, é possível constatar que as vibrações são efetivamente reduzidas, e seus picos são variáveis, pois cada coxim é requisitado de forma diferente e com esforço volátil. De acordo com as análises feitas a partir das oscilações dos gráficos gerados pelos acelerômetros x, y, e z em cada peça, foi possível chegar a conclusão de que as vibrações após a troca de coxins danificados por novos podem variar de 37 a 90 por cento, dependendo do mecanismo e da qualidade do coxim, além da melhora notável na acústica do veículo. Tendo como parâmetro a medição e comparação de cada gráfico a partir de suas amplitudes máximas e mínimas. Todas as peças aferidas são genuínas e foram adquiridas na concessionária correspondente a montadora do veículo, possuindo as especificações e manual para instalação correto.

Referências

- ADAMS, H. **Chassis Engineering: Chassis Design, Building & Tuning for High Performance Cars**. [S.l.]: Penguin, 1992.
- AMPRI Especialista em direção. **Caixa de Direção**. 2021. Disponível em: <https://www.ampri.com.br/catalogo/?filter_linha-de-produto=caixa-de-direcao>. Acesso em: 06/05/2025.
- BRUNETTI, F. **Motores de Combustão Interna**. Vol. 1. [S.l.]: Editora Blucher, 2018.
- CANTARELLI, J. V. C. S.; SILVA, A. A. **Projeto preliminar de um veículo de alta eficiência energética**. 2016.
- CASA DA DIREÇÃO. **Você sabe como funciona a direção do seu veículo?** 2016. Disponível em: <<http://casadadirecao.com.br/voce-sabe-como-funciona-a-direcao-hidraulica-de-um-veiculo/>>. Acesso em: 03/05/2025.
- FERNANDES, M. A.; BARBOSA, R. S. **Estudos em sistemas de direção veicular**. 2006.
- FERREIRA, T. S.; FARIA, M. T. C. Influência das vibrações geradas pelo motor sobre o conforto de passageiros em veículos terrestres. In: Universidade de Minas Gerais, **VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM)**. [S.l.: s.n.], 2010.
- GENTA, G.; MORELLO, L. **Automatic gearboxes**. The automotive chassis: Vol. 1: Components design, Springer, p. 543–592, 2009.
- GILLESPIE, T. D. **Fundamentals of vehicle dynamics**. [S.l.], 2021.
- HAPPIAN, J. S. **An Introduction to Modern Vehicle Design**. 2020.
- KELLY, S. G. **Mechanical vibrations: theory and applications**. [S.l.]: Cengage learning, 2012.
- LECHNER, G.; NAUNHEIMER, H. **Automotive transmissions: fundamentals, selection, design and application**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2014.
- MARTINS, J. **Motores de Combustão Interna**. [S.l.: s.n.], 2006.
- MILHOR, C. E. **Sistema de desenvolvimento para controle eletrônico dos motores de combus-**

- tão interna ciclo otto.** São Carlos. 72p. Dissertação de Mestrado-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002.
- NAKATA. **COXIM DE MOTOR.** 2022. Disponível em: <<https://www.nakata.com.br/portfolio/produtos/coxim-de-motor>>. Acesso em: 03/05/2025.
- NAKATA. **ENTENDA TUDO QUE ACONTECE COM O SISTEMA DE TRANSMISSÃO DO SEU CARRO.** 2018. Disponível em: <<https://blog.nakata.com.br/entenda-tudo-que-acontece-com-o-sistema-de-transmissao-do-seu-carro/>>. Acesso em: 03/06/2025.
- QUATRO RODAS. **ENTENDA TUDO QUE ACONTECE COM O SISTEMA DE TRANSMISSÃO DO SEU CARRO.** 2021. Disponível em: <<https://quattrorodas.abril.com.br/auto-servico/qual-a-diferenca-entre-suspensao-multilink-e-por-eixo-de-torca/>>. Acesso em: 03/06/2025.
- REIMPELL, J.; STOLL, H.; BETZLER, J. **The automotive chassis: engineering principles.** [S.l.]: Elsevier, 2001.
- REZENDE, J. C. C. **Projeto e implementação de um modelo de suspensão automotiva em bancada de laboratório.** Universidade Federal de Uberlândia, 2007.
- SANTANA, A. C. d. S. J. **Análise técnica e comparativa de caixa de câmbio manual e automática.** Joinville, SC, 2018.
- SANTOS, C. R. D.; GIMENEZ, F. T. Faculdade de tecnologia de Santo André. curso superior de tecnologia em eletrônica automotiva.
- SENAI. **Sistema de Direção e Suspensão.** 2004.
- SIMÊNCIO, É. C. A. **Motores de Combustão Interna.** [S.l.]: Editora e Distribuidora Educacional, 2019.
- SINGIRESU, S. R. **Mechanical vibrations.** [S.l.]: Pearson Education do Brasil, 2009.
- VIEIRA, J. L. **A história do automóvel.** Rio de Janeiro: Editora Alaúde, 2010.
- WEIHERMANN, H. W. **Estudo sobre aplicação de transmissão continuamente variável para veículos de pequeno porte.** 2015.