

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
DIEGO BRUNO SILVA

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE TESTE DE
BANCADA PARA SUSPENSÃO DE TORÇÃO POR
ELASTÔMEROS.**

Taubaté – SP
2019

Diego Bruno Silva

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE TESTE DE
BANCADA PARA SUSPENSÃO DE TORÇÃO POR
ELASTÔMEROS.**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté, como requisito para obtenção do título de Especialista em Projetos Mecânico.

Orientador: Prof. Alvaro Manoel de Souza Soares.

TAUBATÉ – SP

2019

DIEGO BRUNO SILVA

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE TESTE DE
BANCADA PARA SUSPENSÃO DE TORÇÃO POR
ELASTÔMEROS.**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté, como requisito para obtenção do título de Especialista em Projetos Mecânicos.

Orientador: Prof. Alvaro Manoel de Souza Soares.

Data: 30 de Abril de 2019

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Álvaro Manoel de Souza Soares.

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Dr. Roque Antônio de Moura

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

À minha família, amigos e meu filho Eduardo,
Com todo meu amor, carinho e gratidão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida, saúde, força, inteligência, sabedoria e perseverança para realização desse trabalho.

À minha família, Ana e Eduardo, pelo amor, carinho, companheirismo, pelo alento e motivação nos momentos difíceis e pela compreensão no tempo em que estive ausente batalhando para concluir este trabalho.

Aos meus pais pela educação exemplar, pelo amor incondicional, pelo exemplo de vida e pelo carinho. Devo-lhes a eterna admiração e estima por tudo que fazem e que fizeram por mim, que me possibilitou chegar onde cheguei e ter o caráter e honestidade que tenho.

Ao Prof. Álvaro, pela orientação e pelo conhecimento compartilhado.

A todos os professores da pós-graduação em Projetos Mecânico da Universidade de Taubaté pelos valiosos ensinamentos.

Aos demais, amigos, colegas de classe, e de todas as pessoas que de alguma forma auxiliaram na elaboração desse trabalho.

“Não se mede o valor de um homem pelas suas roupas ou pelos bens que possui, o verdadeiro valor do homem é o seu caráter, suas ideias e a nobreza dos seus ideais”.

Charles Chaplin

RESUMO

Este trabalho propõe o desenvolvimento e a construção de uma bancada de teste para analisar, de forma experimental um sistema de suspensão veicular inovadora, com o intuito de descobrir e analisar seus parâmetros de trabalho quando expostos a condições reais de uso; A suspensão dita se destaca pelo baixo peso devido a não utilização de alguns componentes clássicos tais como mola e amortecedor, onde são trocados por um conjunto de elastômeros que absorvem e dissipam os impactos sofridos pelo sistema de rodas de rodagem do veículo. Na atualidade a engenharia conta com diversas ferramentas computacionais para simular as condições reais de uso de seus produtos, proporcionando uma maior confiabilidade em seus projetos. Outro grande avanço é a facilidade de acessos a softwares Freeware que auxiliam a obtenção de dados com maior fidelidade durante teste aplicados na condições reais de operação. Contudo apesar do gigantesco avanço ainda se faz necessário a construção em alguns casos de modelos em escala reduzida para obtenção de informações do comportamento do sistema em suas condições reais de operação. Neste trabalho foi proposto o projeto e construção do modelo de suspensão de torção por elastômero em escala reduzido e posteriormente o projeto e a construção de um sistema de teste em bancada conforme condições reais de uso. Dentro deste contexto, o sistema desenvolvido e construído estará apto a realizar o ensaio de uso obtendo dados via micro controlador Arduino e repassados a ao Software Scilab para tratamentos dos dados adquiridos.

Palavras-chave: Suspensão de torção por elastômeros, Teste em bancada, aquisição de dados.

ABSTRACT

This work proposes the development and construction of a test bench to analyze in an experimental way an innovative vehicle suspension system, in order to discover and analyze its working parameters when exposed to real conditions of use. The suspension stands out due to the low weight due to the lack of use of some classic components such as spring and shock absorber, where they are exchanged for a set of elastomers that absorb and dissipate the impacts suffered by the vehicle wheels. Nowadays engineering has several computational tools to simulate the real conditions of use of its products, providing a greater reliability in its projects. Another great advance is the ease of access to Freeware software that helps to obtain data with greater fidelity during testing applied in the real conditions of operation. Despite the gigantic advance, it is still necessary to construct in some cases small scale models to obtain information about the behavior of the system under its actual operating conditions. it was proposed the design and construction of the reduced-scale elastomer torsion suspension model and later the design and construction of a bench test system according to actual conditions of use. Within this context, the system developed and built will be able to perform the use test by obtaining data through the Arduino micro controller and passed on to the Scilab Software for processing the acquired data

Keywords: Elastomer torsion suspension, Bench test, data acquisition.

LISTA DE FIGURAS

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| Figura 1.1- Suspensão por torção | 17 |
| Figura 2.1-Veículo criado por Cugnot..... | 20 |
| Figura 2.2- Bigas Romanas..... | 21 |
| Figura 2.3-Carruagem com suspensão. | 21 |
| Figura 2.4- L'Obéissante de Amédée Bollée. | 22 |
| Figura 2.5 - Suspensão Traseira por Torção..... | 23 |
| Figura 2.6- Feixe de mola | 26 |
| Figura 2.7- Elementos Suspensão. | 27 |
| Figura 2.8 - Exemplos de feixe parabólicos..... | 28 |
| Figura 2.9 - Funcionamento suspensão por elastômeros. | 29 |
| Figura 2.10 - Suspensão de Torção por elastômero bi-partida | 30 |
| Figura 2.11- Modos de amortecimentos..... | 32 |
| Figura 2.12 - Modelagem sistema de suspensão..... | 32 |
| Figura 2.13 - Resposta de um sistema subamortecido. | 35 |
| Figura 2.14 - Método da largura de banda 1GDL..... | 37 |
| Figura 3.1 - Dimensões modelo real. | 39 |
| Figura 3.2 - Estrutura fixa..... | 40 |
| Figura 3.3 - Estrutura fixa fabricada. | 41 |
| Figura 3.4 - Eixo de torção. | 41 |
| Figura 3.5 - Eixo de torção fabricado. | 42 |
| Figura 3.6 - Componentes da suspensão em escala em estudo..... | 42 |
| Figura 3.7 - Conjunto de elastômeros montados | 43 |
| Figura 3.8 - Desenho de montagem da suspensão em escala. | 43 |
| Figura 3.9 - Modelo 3D..... | 44 |
| Figura 3.10 - Concepção estrutura..... | 45 |
| Figura 3.11 - Estrutura modelada..... | 45 |
| Figura 3.12 - Desenho estrutura..... | 46 |
| Figura 3.13 - Estrutura base..... | 47 |
| Figura 3.14 - Cubo traseiro..... | 47 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.15 - Tubo de aço carbono de 2" de Diâmetro..... | 48 |
| Figura 3.16 - Conjunto montado (Rolete de carga). | 48 |
| Figura 3.17 - Cubo dianteiro..... | 49 |
| Figura 3.18 - Tubo de aço carbono de 2" de Diâmetro..... | 49 |
| Figura 3.19 - Conjunto montado (Rolete de retorno)..... | 49 |
| Figura 3.20 - Referencia para fabricacao correia | 50 |
| Figura 3.21 - Obstaculo em contato com a roda. | 50 |
| Figura 3.22 - Sistema de ajuste de tensão da correia transportadora..... | 51 |
| Figura 3.23 - Motor WEG 1/4 CV. | 51 |
| Figura 3.24 - Dimmer de controle de RPM motor..... | 52 |
| Figura 3.25 - Sistema de transmissão em destaque. | 53 |
| Figura 3.26 - Aplicação de Polias..... | 53 |
| Figura 3.27 - Detalhe inferior (sistema de transmissão)..... | 54 |
| Figura 3.28 - Montagem Completa..... | 55 |
| Figura 3.29 - Projeto virtual. | 56 |
| Figura 3.30 - Planta de aquisição de dados. | 57 |
| Figura 3.31 - Sistema de obtenção de dados..... | 58 |
| Figura 3.32 - Detalhamento da placa Arduino UNO. | 58 |
| Figura 3.33 - Janela Scilab..... | 59 |
| Figura 3.34 - Execução do Modulo de interface Arduino/Scilab. | 60 |
| Figura 3.35 - Modulo Xcos Scilab..... | 60 |
| Figura 3.36 - Projeto montado..... | 61 |
| Figura 4.1 - Primeira aquisição | 62 |
| Figura 4.2 - Segunda aquisição..... | 62 |
| Figura 4.3 - Aquisição após calibragem. | 63 |

LISTA DE TABELAS

| | <u>Pág.</u> |
|---|--------------------|
| Tabela 1- Tipos mais comuns de suspensões | 25 |
| Tabela 2- Lista de peças do conjunto | 44 |
| Tabela 3- Lista de peças (estrutura)..... | 46 |

LISTA DE SÍMBOLOS

ζ = razão de amortecimento.

C_s = coeficiente de amortecimento da suspensão.

K_s = rigidez da suspensão.

M = massa suspensa.

ξ = fator de amortecimento

f = frequência de vibração

ω = frequência angular

ω_D = frequência angular natural amortecida.

\emptyset = fase

LISTAS DE EQUAÇÕES

| | |
|-----------------|----|
| Equação 1..... | 31 |
| Equação 2 | 31 |
| Equação 3..... | 34 |
| Equação 4..... | 35 |
| Equação 5..... | 36 |
| Equação 6..... | 36 |
| Equação 7..... | 36 |
| Equação 8..... | 36 |
| Equação 9..... | 36 |
| Equação 10..... | 36 |
| Equação 11..... | 36 |
| Equação 12..... | 37 |
| Equação 13..... | 53 |
| Equação 14..... | 54 |
| Equação 15..... | 54 |
| Equação 16..... | 63 |

SUMÁRIO

Pág.

| | |
|---|-----------|
| LISTA DE FIGURAS | 6 |
| LISTA DE TABELAS | 8 |
| LISTA DE SÍMBOLOS | 9 |
| LISTAS DE EQUAÇÕES | 10 |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 15 |
| 1.1 Objetivo do trabalho. | 18 |
| 1.2 Justificativa..... | 18 |
| 1.3 Metodologia..... | 18 |
| 1.4 Organização do trabalho. | 19 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 20 |
| 2.1 Suspensão. | 20 |
| 2.1.1 Suspensão convencional. | 26 |
| 2.1.2 Suspensão elastomérica. | 28 |
| 2.2 Vibrações mecânicas. | 30 |
| 2.2.1 Introdução. | 30 |
| 2.2.2 Métodos de determinação do amortecimento. | 34 |
| 2.2.2.1 Decremento Logarítmico | 35 |
| 2.2.2.2 Método da largura de meia banda de potência. | 37 |
| 3 METODOLOGIA..... | 38 |
| 3.1 Definições para construção..... | 38 |
| 3.1.1 Suspensão em escala reduzida. | 39 |
| 3.1.2 Estrutura..... | 45 |
| 3.1.3 Roletes | 47 |
| 3.1.4 Correia transportadora. | 50 |

| | |
|--|-----------|
| 3.1.5Motor elétrico..... | 51 |
| 3.1.6Sistema de transmissão..... | 52 |
| 3.2 Montagem protótipo..... | 55 |
| 3.3 Sistema de aquisição de dados..... | 56 |
| 4 RESULTADOS..... | 62 |
| 5 CONCLUSÃO..... | 64 |
| REFERÊNCIAS..... | 65 |
| APÊNDICE A..... | 70 |

1 INTRODUÇÃO.

A decisão das montadoras de adotar um novo componente ou material em maior escala em seus produtos parte da avaliação dos fatores como: elevação da qualidade, redução na fabricação e aumento na eficiência industrial, (NAVEIRO e ARAUJO, 1999).

Dentre esses critérios, ressaltam-se:

- Maior qualidade, desempenho e durabilidade ao cliente final;
- Os custos totais de produção devem ser menores do que os anteriores;
- Custo e qualidade dos componentes competitivos;
- Redução de peso.

Em princípio, a indústria automotiva vem priorizando a redução no peso do automóvel pois impacta diretamente no consumo, conforme Naviero e Araújo (1999) uma redução de 10% no peso do automóvel, pode resultar em uma economia de combustível de 7% na cidade e de 4% nas rodovias.

As reduções do peso podem ser obtidas pela inserção de novos materiais desenvolvidos para atuar nos sistemas do veículo tais como:

- Chassis,
- Suspensão,
- Carroceria e
- Motor.

Porém o emprego de novos materiais pela indústria automotiva deverá estar dentro de sua realidade, em termos de custo e com as novas regulamentações ambientais, conforme (CLARCK e FLEMINGS, 1998) devem ser seguidas pela indústria automobilística algumas recomendações no desenvolvimento de novos materiais:

- A inserção de um novo material pela engenharia de materiais deve ser analisados ciclo de vida do material, do processamento do material, da manufatura dos componentes e das medidas de desempenho em serviço.

- O estudo realizado por ferramentas computacionais é de vital importância para avaliar o custo/benefício do uso continuado dos materiais existentes *versus* a introdução de novos materiais, levando em considerações as questões críticas como o processamento, as propriedades requisitadas, meios de união, reparos e reciclagem.

- O cuidado com o descarte e reciclagem de matérias mistos devido a aglutinação de matérias de diferentes propriedades buscando propriedades específicas, sendo inviável a separação dos materiais antes da reciclagem.

- Os pontos exigidos para o inserção ou troca por um novo matérias são entre eles o custo-efetivo, redução de peso, alta resistência, de fácil manufatura e De boa reciclabilidade.

Tais objetivos podem ser obtidos com a introdução de novos materiais, como alumínio, magnésio e cerâmicos; O desenvolvimento a baixo custo, disponibilidade de processo para a manufatura e reciclagem serão pontos cruciais para aumentar o uso de um material ou de outro.

Partindo dessa premissa de busca por componentes mais leves e resistentes que atendam às necessidades exigidas no projeto de desenvolvimento de reboques ou comumente chamado de carretinhas, foi encontrado no mercado um sistema de suspensão para reboque que não utilizam a concepção comumente usada *Mola-Amortecedor*, o modelo de suspensão de torção por elastômeros encontrado no mercado a venda e que será alvo de estudo neste trabalho teve vários modelos patenteados nos estados unidos em Setembro de 2002 pela United States Patent, a Figura 1.1 ilustra seus principais componentes.

1.1 Objetivo do trabalho.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um protótipo de ensaios para um modelo de suspensão por elastômeros para veículos de rodas, especialmente semirreboques que simule seu funcionamento em condições reais de uso e conseqüentemente realizar a aquisição e tratamento de dados, buscando assim conhecer o comportamento oscilatório do sistema em estudo, os objetivos deste estudo são:

- a) objetivos específicos: Desenvolvimento e construção do protótipo.
- b) objetivo geral: Difundir o conhecimento sobre este tipo de suspensão expor as experiências aprendidas.

1.2 Justificativa.

O fato de não se encontrar pesquisas ou estudo no ambiente acadêmico sobre o teste de suspensão por elastômero me motivou a pesquisa e desenvolvimento de um protótipo de ensaio em bancada para laboratório dedicado a suspensão por elastômero buscando assim o conhecimento pleno do sistema de amortecimento por meio de realização de teste/ensaios.

1.3 Metodologia.

A metodologia deste trabalho é exploratória através de uma revisão bibliográfica sobre conceitos básicos para o desenvolvimento e construção de um sistema de teste em bancada.

Os recursos utilizados para o desenvolvimento dessa pesquisa foram:

- Livros-texto;
- Pesquisa em sites especializados;
- Artigos científicos relacionados ao tema;
- Teses de mestrado/doutorado;
- Periódicos.

1.4 Organização do trabalho.

Este trabalho foi dividido de modo a facilitar o entendimento do leitor sobre o tema explorado, apresenta de maneira geral uma introdução sobre a busca no desenvolvimento de sistemas/equipamentos mais leves pelos engenheiros/projetistas na atualidade no Capítulo 1, trazendo uma explanação do contexto que envolve este trabalho, com o objetivo, justificativa e métodos utilizados na pesquisa. O capítulo 2 aborda o histórico do uso da suspensão em si e seus tipos mais usados em reboques bem como a teoria básica sobre vibrações mecânica bem como o modelo matemático que envolve o sistema; O capítulo 3 aborda de forma ampla o modelamento e fabricação da suspensão em escala, concepção, modelagem e fabricação do dispositivo para ensaio, modelagem matemática do fenômeno de amortecimento, aquisição e tratamentos dos dados adquiridos no ensaio. O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos sobre o ensaio realizado na suspensão por elastômero em estudo; No capítulo 5 é apresentada a conclusão do ensaio bem como as considerações finais do sistema de suspensão por elastômeros e no último capítulo, trazem as referências bibliográficas utilizadas neste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será revisado todo o tema pertinente ao desenvolvimento deste trabalho, tais como:

- Sistema de Suspensão,
- Vibrações mecânicas,

2.1 Suspensão.

O primeiro veículo automotor propulsionado a vapor criado pelo engenheiro francês Nicolas Joseph Cugnot no século XVIII (GILLESPIE,1992), o veículo possuía uma suspensão desenvolvida exclusivamente para fins estruturais, ou seja, Cugnot basicamente a preocupava-se em resistir os esforços originários do carregamento de cargas e esforços provenientes dos acidentados solos da época; A suspensão era interligada com o chassi não havendo nenhuma preocupação o conforto dos passageiros e dirigibilidade do veículo.

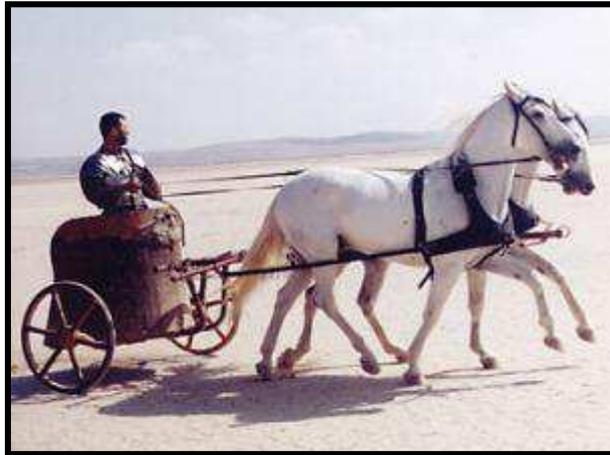
Figura 2.1-Veículo criado por Cugnot



Fonte: Gillespie (1992).

Segundo Dixon (1996), no século XIII A.C surgiram os primeiros modelos de suspensão nas charretes da Grécia antiga e mais tarde pelos Romanos ilustrado na Figura 2.2, os veículos movidos à tração animal tinham problemas com estabilidade e conforto quando postas a velocidades altas inclusive quando utilizadas em confrontos em guerra devido aos eixos serem instalados diretamente ao chassi.

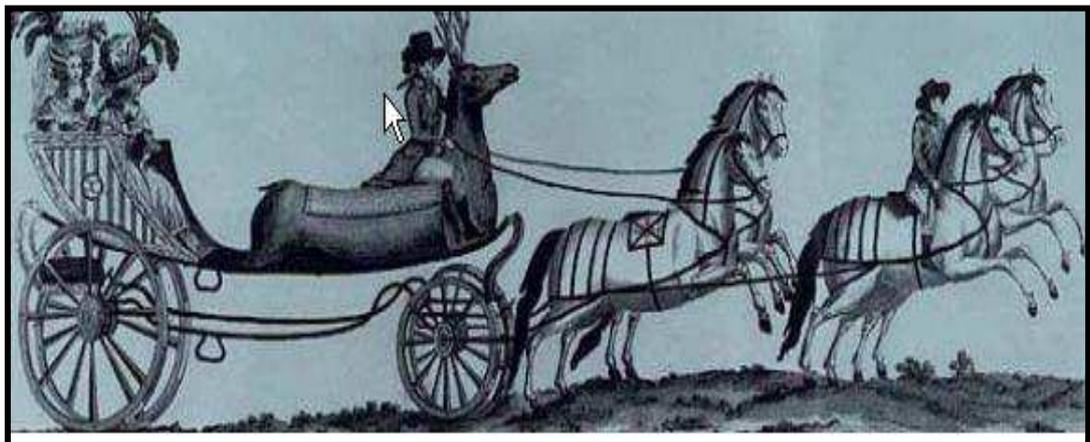
Figura 2.2- Bigas Romanas



Fonte: Almanaque do IPEM (2010).

O problema com o conforto e falta de instabilidade nas charretes e carruagens persistiram por séculos, um pouco antes da criação do veículo de Cugnot nasceram os primeiros projetos de suspensões destinados as carruagens visando o conforto dos ocupantes, o projetos consistia em molas de aço unidas a carrocerias atenuando-o impacto do eixo com a carroceria (Figura 2.3).

Figura 2.3-Carruagem com suspensão.



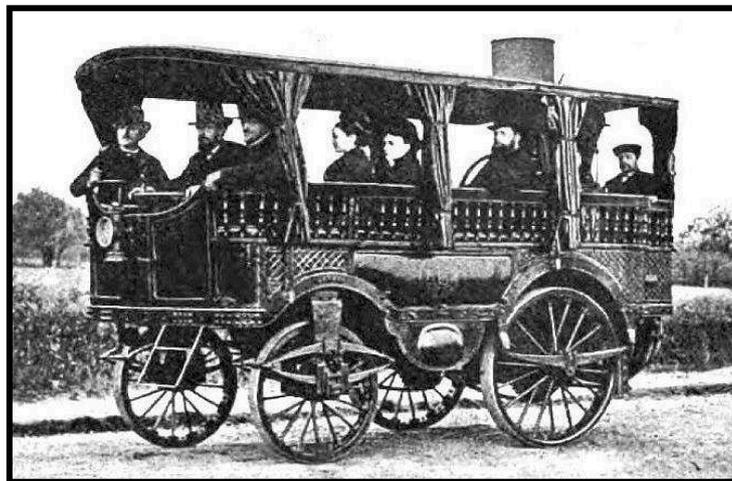
Fonte: Okabe (2006).

No século XIX, com o advento das corridas automotoras e principalmente para fins militares, muitos estudos surgiram para o desenvolvimento de suspensões; As

soluções foram apresentados a fim de se garantir conforto, durabilidade e segurança, atingindo velocidades cada vez maiores. As mais variadas soluções foram estudadas; diversos tipos de mola foram usados com variadas formas: flexão, espiral, barras de torção. Diversas opções de materiais foram empregadas como couro, madeira, aço, borracha, etc.

As soluções foram surgindo, assim como os problemas foram aparecendo, aumentando-se assim o grau de complexidade das suspensões; A Figura 2.4 ilustra uma das primeiras concepções de suspensões veiculares com sucesso, chamado o L'Obéissante de Amédée Bollée (1874). O consistia em uma carroceria suspensa pelos quatro rodas sendo independente na rodas dianteiras, este projeto foi um passo muito importante para a indústria automotiva, pois a inovação contida no L'Obéissante foram repassados aos projetos futuros (LEAL,2007).

Figura 2.4- L'Obéissante de Amédée Bollée.



Fonte: Wikimedia (2019).

Porém somente no final do século XIX as suspensões dianteiras independentes apareceram em grande número nos veículos de corrida e de passeio, um outro grande avanço relacionado à suspensão foi a implantação de um sistema de suspensão traseira por torção, trazendo um melhor custo benefício para veículos de passeios, o primeiro a receber este modelo foi o Auto Union Grand Prix (tipo A) ilustrado na Figura

2.5, o eixo de torção se difundiu nos automóveis da Volkswagen no período pós guerra.

Figura 2.5 - Suspensão Traseira por Torção



Fonte :Grand Prix history, 2009.

As suspensões desempenham um papel fundamental nos quesitos de segurança e conforto dos ocupantes justificando assim os investimentos em pesquisas buscando assim uma conciliação entre esses principais requisitos e fatores como durabilidade, estabilidade e dirigibilidade, os principais investimentos em estudos voltados para o sistema de suspensões foram os mercados militares e esportivos.

As suspensões dos veículos modernos devem satisfazer uma série de requisitos quando postas as condições severas de operação tais como: carregado/descarregado; aceleração/frenagem; estradas boas/ruins; percursos retilíneos/sinuosos (REIMPELL et al., 2001).

O projeto de um conjunto de suspensão e direção consiste em algo bastante intrincado e exige centenas de horas de testes de laboratório e em campo, executados após milhares de horas de projeto em softwares de CAD e CAE e grande equipe de profissionais especializados com décadas de experiência, buscando um acerto agradável de guiar, suave e seguro (Guerra,2018).

As propriedades de uma suspensão que importam à dinâmica do veículo estão relacionadas principalmente com o seu comportamento cinemático (movimento) e sua

resposta às forças e momentos que são transmitidos dos pneus ao chassi. Além disso, outras características consideradas no projeto são o custo, o peso, o espaço (package), fabricação, facilidade de montagem, entre outros (GILLESPIE, 1992).

Neste contexto a suspensão tem que absorver as vibrações e choques das rodas proporcionando conforto aos ocupantes do veículo e garantindo a manutenção do contato das rodas com o solo, segundo Stone & Ball (2004) o sistema de suspensão possui três funções principais:

- Isolar os passageiros e a carga das vibrações e choques: O sistema de suspensão deve ser projeto de modo a absorver choques e amortecer as vibrações causadas pelas irregularidades da superfície da via.

- Aprimorar a mobilidade: A suspensão provê a sustentação do peso do veículo, garantindo um espaço livre entre a via e a parte inferior do mesmo. Promove também estabilidade lateral e longitudinal e suporta a rolagem da carroceria.

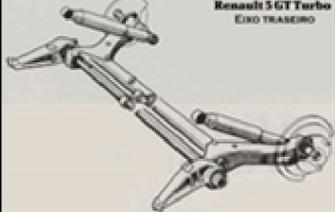
- Prover o controle do veículo: A suspensão reage às forças dos pneus, incluindo as forças derivadas da aceleração, frenagem e mudança de direção. Além disso, o sistema de suspensão é encarregado de manter apropriados os ângulos de direção e câmber relativos à superfície da via, assim como manter os quatro pneus em contato com a via enquanto em manobra.

As suspensões veiculares são classificadas em:

- Eixo rígido (com uma conexão rígida das rodas a um eixo);
- Suspensão Independente (na qual as rodas são movimentadas independentemente umas das outras);
- Eixo Semirrígido (um tipo de configuração que combina as características das suspensões de eixo rígido com as independentes).

A Tabela 1 demonstra os tipos mais comuns encontrados nos automóveis fabricados na atualidades e bem como suas particularidades.

Tabela 1- Tipos mais comuns de suspensões .

| | |
|---|--|
|  <p>Renault 5 GT Turbo EIXO TRASEIRO</p> | <p>Eixo semirrígido ou Barra de Torção: utilizado no eixo traseiro, o movimento de um lado afeta o outro, tornando mais fácil a perda de contato com a estrada porem simples e barato.</p> |
|  | <p>Suspensão Independente: Permite que as rodas direita e esquerda se movam individualmente, o que é excelente para lidar com irregularidades e buracos das estradas nacionais sistema leve e eficaz e estável.</p> |
|  | <p>Suspensão MacPherson: Consiste numa mola, um amortecedor e um braço de controle, a parte superior do amortecedor interligado a carcaça e a inferior é suportado por triângulo, por ter poucas peças e simples e leve.</p> |
|  | <p>Triângulo duplo: Uma concepção que suporta as rodas num braço superior e num inferior juntos. Os braços têm, habitualmente, a forma de um “V”, como um triângulo, oferece grande controle de estabilidade preferidos do esportivos porem tem construção complicado devido utilizar muitas peças.</p> |
|  | <p>Multilink: Este tipo de suspensão é usado com frequência na suspensão traseira de carros de tração dianteira de alto desempenho para manter a estabilidade em alta velocidade, é um sistema de triângulos duplos avançado que mantém as rodas em contato com a estrada a todo o momento.</p> |

Fonte: Adaptado Costa (2012).

Não entraremos em estudos mais aprofundados nas configurações das suspensões demonstrados na Tabela 1 por não serem utilizados veículos de reboques, serão apresentados apenas suspensões utilizadas em reboques ou popularmente ditas carretinhas.

2.1.1 Suspensão convencional.

A suspensão convencional de eixo rígido é o modelo mais simples de suspensão automotiva encontrado, visto que seu modelo de concepção se baseia em conjunto de laminas de aço retangulares (Fig. 2.6) interligado nas extremidades no chassi do veículo com uma limitação de curso por um amortecedor; Segundo Persegum (2005) o feixe de molas é um dos elementos de sustentação mais antigos utilizados nas suspensões de veículos, o sistema é geralmente utilizado em veículos de cargas, sendo o sistema mais antigo utilizado com relatos desde da era medieval.

Figura 2.6- Feixe de mola .



Fonte Guerra (2016).

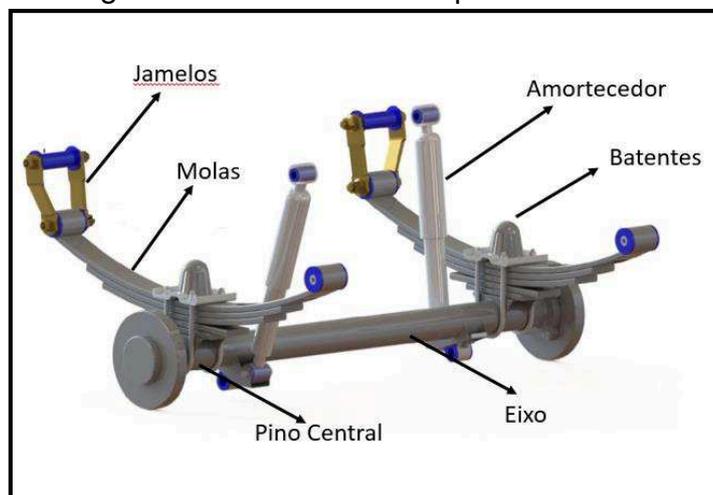
As suspensões de eixo rígido foram largamente utilizadas em veículos de passeios na década de 1960, Com a evolução dos mecanismos, as suspensões de eixo rígidas estão sendo utilizadas atualmente principalmente em Pick-ups e veículos de grande porte por possuir a principal característica de suportar grandes cargas, seu sucesso histórico e sua persistente utilização no presente, principalmente em veículos comerciais, deve-se principalmente à sua praticidade e baixo custo.

Os feixes de molas se tratam de um aprimoramento do sistema de barras de torção, os quais são formados por lâminas sobrepostas e que escorregam uma em cima da outra, retornando à posição original após a retirada da carga ou absorção do impacto, no centro do arco existe a localização para a fixação de um eixo enquanto

as extremidades possuem orifícios para a fixação do feixe no chassi do veículo, tais feixes trabalham sob esforço de flexo-torção onde a flexão é o esforço predominante. (KOTHARI, 2014).

O feixe de molas é conectado as articulações (conhecidos por jamelos) e fixado ao chassi, batedores de borracha são colocados no curso da mola para impedir que esta chegue ao seu curso máximo e permita que impactos sejam totalmente transmitidos ao chassi, os amortecedores são responsáveis em dissipar energia do sistema, ou seja, limitar o curso de atuação das molas equalizando e balanceando as oscilações do sistema de suspensão, na Figura 2.7 é ilustrado todo o componente descrito acima.

Figura 2.7- Elementos Suspensão.



Fonte: (Adaptado <https://www.superpro.com.au>).

Para veículos de grande porte, os feixes de molas são formados por diversos feixes empilhados uns sobre os outros em diferentes camadas conhecidos como feixe de molas parabólico ilustrado na Figura 2.8, muitas das vezes são progressivamente mais curtos do topo até a extremidade inferior, amortecedores frequentemente são fixados sobre esses feixes para atenuar as vibrações geradas quando os feixes são excitados, mas as fricções provenientes dos seus deslocamentos também geram um efeito de amortecimento.

Figura 2.8 - Exemplos de feixe parabólicos.



Fonte: Adaptado (UHLMANN,2009).

A maior vantagem do feixe de mola em relação à mola helicoidal é que as extremidades do feixe de molas são acopladas em diferentes pontos do chassi, o que causa uma distribuição das tensões sobre o chassi (SHARMA et al., 2014); A feixe e ligado diretamente ao eixo principal traseiro recebendo todos impactos sofridos pela conjunto roda/pneu.

A desvantagem do feixe de mola e o excesso de peso devido ao conjunto de feixes de molas e eixo principal ser robusto devido a configuração de ligação entre as duas rodas, elevando o peso do conjunto; Outro detalhe desfavorável encontrado neste sistema é influência do lado oposto devido o sistema não ser independente, interferindo assim estabilidade do reboque e conseqüentemente na dirigibilidade do veículo.

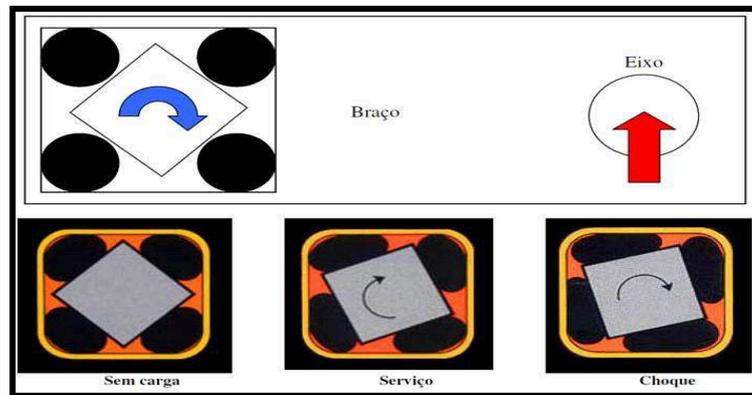
2.1.2 Suspensão elastomérica.

A suspensão por torção de elastômero, segundo Hellmeister *et al.* (2007), é um sistema que recebe os impactos recebidos pelo conjunto roda/pneu e distribui uniformemente a um cartucho de cordões maciços de material semelhante a borrachas (elastômeros), o movimento de giro do eixo torçor do sistema ligado a manga de eixo pressiona o conjunto de elastômeros fazendo assim o amortecimento do impacto.

A borracha é particularmente mais vantajosa para este propósito porque deforma elasticamente de uma forma previsível em resposta às forças de torção,

absorvendo assim a tensão de torção para o eixo de torção (Fig.2.9); O elastômero age na absorção de impactos tendo menos reatividade que as molas de aço, dispensando assim o uso de amortecedor.

Figura 2.9 - Funcionamento suspensão por elastômeros.



Fonte: Adaptado (HELLMEISTER et al, 2007).

O modo de funcionamento é semelhante aos sistemas convencionais, o propósito é suportar o veículo carregado ou mantendo a altura pré-definida do solo (sobretudo nas curvas), absorver todas as irregularidades da superfície em contato, mantendo as condições de estabilidade em curvas, arranques e freadas, mantendo uma boa dirigibilidade para o condutor.

A suspensão de elastômeros por torção se move para cima e para baixo em resposta à variabilidade da superfície da pista recebida pelo conjunto roda e pneu, o eixo de torção traduz o movimento vertical da roda para forças de torção e transmite as forças de torção para o conjunto de elastômero de maneira radial ao eixo de giro do eixo, conseqüentemente o conjunto de elastômeros dissipam os impactos de uma maneira uniforme convertidos por um movimento de torção de resposta rápido e suave.

A suspensão de torção por elastômero permite a separação do conjunto traseiro tornando o sistema independente (Fig. 2.10), proporcionando um sistema traseiro de suspensão independente e um ajuste preciso do centro de gravidade devido sua concepção de projeto.

Figura 2.10 - Suspensão de Torção por elatmero bi-partida .



Fonte : Mercado Livre (2019).

A suspensão elastomérica se caracteriza pela inexistência de molas, amortecedores, buchas e barras estabilizadoras, proporcionando estabilidade, sistema mais silencioso, sendo independente por roda, sem necessidade de manutenção e com grande resistência a impactos. Este sistema de suspensão é uma ótima opção para serem aplicados em trailers, carretas rodoviárias e reboques.

Contudo, o sistema de suspensão de torção por elastômeros são relativamente mais complexos, traduzidos a dificuldade de manutenção e reparos, pois o sistema de cartuchos de elastômeros comprimidas necessitando de recursos especializados para troca, tornando um problema em relação à manutenção.

2.2 Vibrações mecânicas.

2.2.1 Introdução.

Vibrações e suas diversas formas estão presentes no mundo desde os primórdios do planeta, muitas vezes elas são imperceptíveis, mas não menos importantes, por exemplo, a audição só é possível pela vibração ocorrida nos tímpanos; a visão depende diretamente da vibração sofrida pelas ondas de luz e, além disso, a respiração e até mesmo o ato de caminhar envolvem princípios de vibração.

A observação do fenômeno de vibrações mecânicas e seus efeitos tiveram início pelo astrônomo, filósofo e professor de matemática Galilei Galileu, ele escreveu o primeiro tratado sobre a dinâmica moderna em 1590, seus trabalhos sobre as oscilações de um pêndulo simples e a vibração das cordas são de importância fundamental na teoria das vibrações,

Galileu descreveu a dependência da frequência de vibração sobre o comprimento de um pêndulo simples, juntamente com o fenômeno das vibrações simpáticas (ressonância). Os escritos de Galileu também indicam que ele tinha uma compreensão clara da relação entre a frequência, comprimento, tensão e densidade de uma corda esticada.

Correia (2007) descreve que a vibração mecânica é o movimento oscilatório de uma partícula ou de um corpo em torno de uma posição de equilíbrio, o movimento oscilatório é geralmente provocado quando o sistema é deslocado da sua posição de equilíbrio por atuação de forças exteriores, as forças atuantes no corpo quando essa solicitação cessa têm a tendência de restaurar a configuração inicial, sendo denominadas de forças de restituição.

O intervalo de tempo necessário para o movimento completar um ciclo é o período de vibração (T), a frequência de vibração (f) é o seu inverso e corresponde ao número de ciclos por unidade de tempo, a Equação 1 representa o período:

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{Equação 1}$$

Sendo que um ciclo num movimento circular corresponde a um ângulo de 2π radianos, define-se a frequência angular (ω) como sendo:

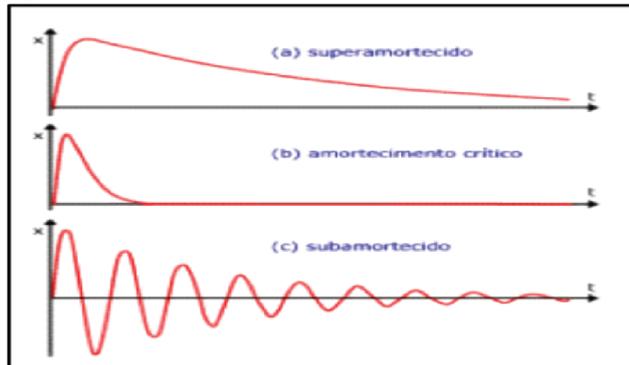
$$\omega = 2\pi f \quad \text{Equação 2}$$

Uma vibração pode ser classificada como livre, quando o movimento se mantém apenas devido às forças de restituição, ou forçada, quando se aplica uma força variável no tempo. Pode ainda ser amortecida, quando os efeitos do atrito não são desprezáveis, ou não amortecida, quando esses efeitos podem ser desprezados.

Um sistema físico, quando classificado por seu fator de amortecimento (Fig. 2.11), pode ser:

- Criticamente amortecido ($\zeta = 1$);
- Superamortecido ($\zeta > 1$) ou
- Subamortecido ($\zeta < 1$).

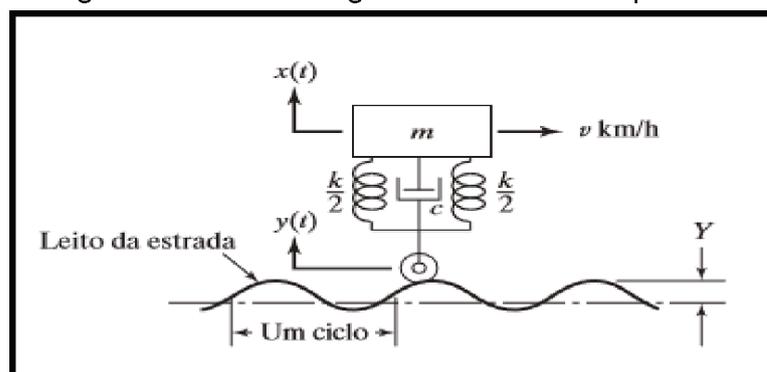
Figura 2.11- Modos de amortecimentos.



Fonte: Emílio, Santin e Marques (2013).

Trazendo o foco para o estudo deste trabalho podemos assimilar o conjunto de suspensão de um automóvel que se compõem por molas e amortecedores quando expostos a trabalho se combinam e formam um sistema de vibração complexo, excitado pela aspereza da estrada, a Figura 2.12 ilustra a modelagem do sistema.

Figura 2.12 - Modelagem sistema de suspensão



Fonte: Adaptado (RAO, 2008).

Gillespie (1992) descreve que o sistema de suspensão é responsável pelo comportamento de estabilidade e dirigibilidade de um automóvel e que compreensão

da teoria de vibrações de um sistema simplificado de um grau de liberdade, é simplesmente a base para o desenvolvimento de um sistema de suspensão.

Segundo as conclusões de Freitas (2006) os avanços nos estudos partiram:

- Apesar da busca por conforto ser antiga, o desenvolvimento analíticos por equacionamentos com base em vibrações e suas repostas dinâmicas visando o conforto surgiram somente a partir de 1900;
- Os primeiros estudos utilizavam modelos de 1 grau de liberdade para avaliar a influência da mola na reposta da aceleração do veículo,
- A teoria de vibrações mecânicas foi amplamente utilizadas no desenvolvimento da teoria relativa a dinâmica vertical de veículos.
- Atualmente são utilizados modelos complexos que representam características de flexibilidades e não-linearidade de componentes da suspensão tornando o modelo mais próximo real.

Rao (2008), afirma que na atualidade, muitos cientistas vêm dedicando seu tempo em estudos voltados à aplicação da vibração na área da engenharia, em projeto de máquinas, equipamentos, fundações, estruturas, motores, turbinas e sistemas de controle.

Um dos maiores causadores de falhas em estruturas mecânicas é o efeito da ressonância; Ocorre toda vez que a frequência natural de vibração de um sistema coincidir com a frequência da excitação externa, devido a essa particularidade tornaram de extrema importância os testes estudos de vibrações nos projetos mecânicos.

De acordo com Cossolino e Pereira (2010), o amortecimento determina a amplitude de vibração na ressonância e o tempo de persistência da vibração depois de cessada a excitação.

O amortecimento de um sistema pode ser determinado a partir da resposta do mesmo a uma excitação externa transitória e em função da resposta em frequência, o primeiro é conhecido como o método do decremento logarítmico e o segundo como o método da largura de meia banda de potência.

A determinação experimental da matriz de amortecimento de uma estrutura qualquer, dados os parâmetros de entrada como as frequências naturais de cada elemento, propriedades do material de trabalho, a partir do método do decremento logarítmico ou de largura de banda estimam-se os fatores de amortecimento do sistema.

2.2.2 Métodos de determinação do amortecimento.

Os choques recebidos provenientes das imperfeições e obstáculos da superfície de rodagem pelo conjunto roda/pneu repassados ao sistema de suspensão, a função do sistema de molas e absorver os choques recebidos pelo sistema de rodagem do veículo e elemento amortecedor é responsável em dissipar a energia descarregada no sistema de mola (IEZZO,2010).

O percentual de amortecimento é determinado pela razão de amortecimento dado pela equação (1):

$$\delta = \frac{C_s}{\sqrt{4k_s M}} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

ζ = razão de amortecimento.

C_s = coeficiente de amortecimento da suspensão.

K_s = rigidez da suspensão.

M = massa suspensa.

Os métodos de determinação de amortecimento são aplicados para determinar os parâmetros do sistema, modela-se a equação a partir da seleção da faixa de amortecimento adequada e a frequência de vibração da mesma, visto que o amortecimento provoca decaimento da oscilação depois da ação externa cessada (SORIANO,2014).

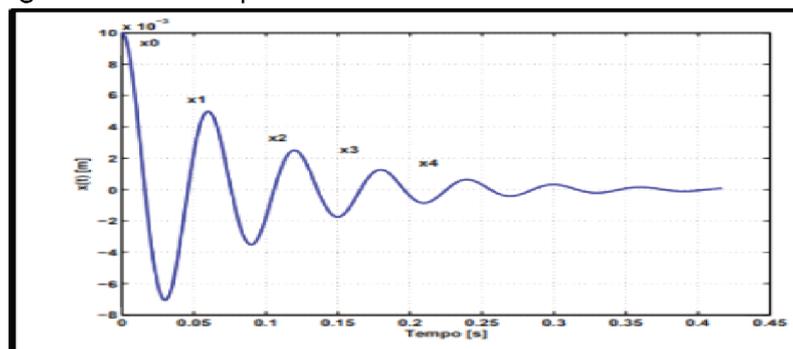
Os métodos mais utilizados e conhecidos são: **o Método do Decremento Logarítmico e o Método de Meia Banda.**

2.2.2.1 Decremento Logarítmico

Segundo Cossolino & Pereira (2010) o decremento logarítmico é calculado a partir de um simples impulso provocado no sistema (em vibração livre) através da razão entre duas amplitudes sucessivas do sinal, o termo decremento logarítmico refere-se à taxa de redução logarítmica, relacionada com a redução do movimento após o impulso, pois a energia é transferida para outras partes do sistema ou é absorvida pelo próprio elemento.

Este é o método mais utilizado para calcular o amortecimento, quando um sistema oscilatório com um grau de liberdade, com amortecimento viscoso é excitado por um impulso, sua resposta vem na forma de decaimento no tempo (Fig.2.13), ou seja, o amortecimento pode ser calculado a partir do comportamento versus tempo de um ou mais pontos do sistema.

Figura 2.13 - Resposta de um sistema subamortecido.



Fonte: Cossolino e Pereira (2010).

Conforme Da Silva (2009) o decremento logarítmico δ é definido como o logaritmo natural da razão de duas amplitudes sucessivas; Considere a resposta $x(t)$ do caso subamortecido ($0 < \xi < 1$) visto na Figura 2.11.

O decremento logarítmico δ é escrito como

$$\delta = \ln \left(\frac{x(t)}{x(t + t_d)} \right) \quad \text{Equação 4}$$

Sendo $t_d = \frac{2\pi}{\omega_d}$ o período entre duas oscilações sucessivas, onde ω_d é a frequência angular natural amortecida.

Para um caso geral tem-se:

$$\delta = \ln\left(\frac{x_0}{x_1}\right) = \ln\left(\frac{x_0}{x_1}\right) = \ln\left(\frac{x_{n-2}}{x_{n-1}}\right) \quad \text{Equação 5}$$

Sendo n o número de oscilações realizadas. A Equação 6 pode ser descrita da forma:

$$e^{\delta} = \frac{x_2}{x_1} = \frac{x_2}{x_1} = \frac{x_{n-2}}{x_{n-1}} = \frac{x_{n-1}}{x_n} \quad \text{Equação 6}$$

Notamos que $\frac{x_0}{x_n} = \frac{x_0}{x_1} \frac{x_1}{x_2} \frac{x_2}{x_3} \dots \frac{x_{n-1}}{x_n}$ pode ser escrito em relação:

$$e^{n\delta} = \frac{x_0}{x_n} \quad \text{Equação 7}$$

Com isto obtém-se uma nova expressão para o decremento logarítmico δ em função do número de ciclos n realizados no movimento oscilatório.

$$\delta = \frac{1}{n} \ln\left(\frac{x_0}{x_n}\right) \quad \text{Equação 8}$$

Lembrando que a resposta de um sistema subamortecido é do tipo:

$$x(t) = X e^{-\xi w_n t} \text{sen}(w_d t + \phi) \quad \text{Equação 9}$$

Substituindo a Equação 9 na Equação 5 obtém-se a seguinte equação:

$$\delta = \ln\left(\frac{x_0}{x_1}\right) = \ln\left(\frac{X e^{-\xi w_n t_0} \text{sen}(w_d t_0 + \phi)}{X e^{-\xi w_n t_1} \text{sen}(w_d t_1 + \phi)}\right) \quad \text{Equação 10}$$

Sendo $t_1 = t_0 + t_d$, onde $t_d = \frac{2\pi}{w_d}$

Após algumas manipulações algébricas na Equação 10 chega-se a expressão do decremento logarítmico δ (Equação 11) em função do fator de amortecimento ξ (Equação 12).

$$\delta = \frac{2\pi\xi}{\sqrt{1 - \xi^2}} \quad \text{Equação 11}$$

Ou ainda na forma:

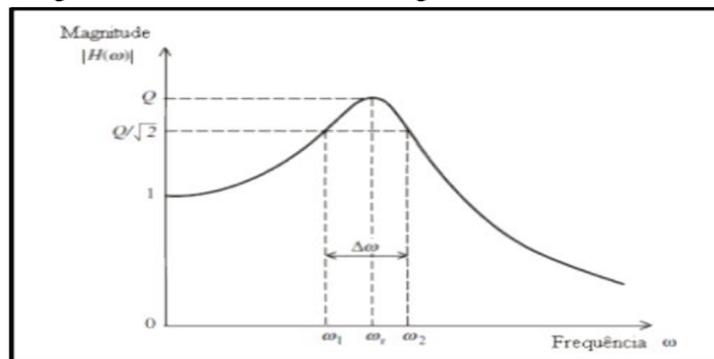
$$\xi = \frac{\delta}{\sqrt{4\pi^2 + \delta^2}} \quad \text{Equação 12}$$

Assim se conheço duas amplitudes sucessivas X_0 e X_1 , ou se uma amplitude X_0 e uma amplitude X_n após n ciclos, é possível calcular o decremento logarítmico δ entre elas e estimar com a Equação 12 o fator de amortecimento ξ do sistema.

2.2.2.2 Método da largura de meia banda de potência.

Segundo Cossolino e Pereira (2010) neste método a medida do amortecimento é baseada na resposta da frequência; A largura da banda (a meia potência) é definida como a largura da curva da resposta de frequência quando a magnitude (Q) é $(1/\sqrt{2})$ vezes o valor do pico, este valor é denotado por $\Delta\omega$, como pode ser visto pela Figura 2.14.

Figura 2.14 - Método da largura de banda 1GDL



Fonte : Cossolino & Pereira (2010)

O valor de $\Delta\omega$ pode ser relacionado com o amortecimento da seguinte forma:

$$\Delta\omega = 2\zeta\omega_0 = 2\zeta\omega_r \quad \text{Equação 13}$$

Portanto, o amortecimento pode ser estimado através da largura de banda, usando a relação:

$$\zeta = \frac{1}{2} \frac{\Delta\omega}{\omega_r} \quad \text{Equação 14}$$

3 METODOLOGIA.

No início deste capítulo inicia-se a concepção via software 3D de um modelo em escala reduzida da suspensão em estudo, essa modelagem inicial do conjunto de suspensão por elastômeros nos servira de base para desenvolver um sistema de teste de bancada para serem testados em laboratório.

Visto que a partir do projeto concebido via software de modelagem 3D nos facilitara a construção do sistema de teste em bancada, auxiliando durante concepção do desenvolvimento do projeto pois podemos simular virtualmente os encaixes, ajustes, formas, montagens e entre outras facilidades que a modelagem 3D oferece.

Uma vez escolhido o sistema de suspensão por elastômeros como base para o projeto da suspensão do protótipo de $\frac{1}{4}$ de veículo em escala, a proposta é criar uma bancada que contenha uma esteira com um obstáculo preso a mesma que transmita uma excitação ao modelo em escala reduzida da suspensão de torção por elastômero.

Após a avaliação de algumas ideias para o projeto foi obtida uma configuração final do protótipo para ser montado em bancada sendo definida a ideia geral para o protótipo a etapa seguinte foi estabelecer as dimensões dos componentes do conjunto.

Inicialmente o projeto foi dividido em subconjuntos para facilitar o detalhamento para produção ficando divididos da seguinte maneira:

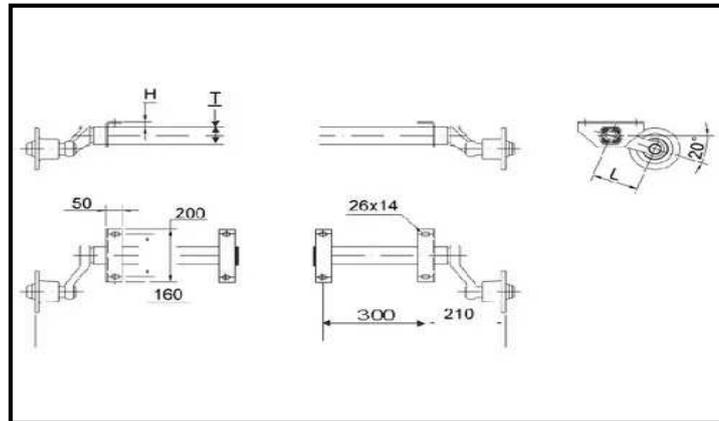
- Suspensão em escala;
- Estrutura;
- Esteira de rolamento;
- Transmissão;
- Motor elétrico; e
- Elementos de KANBAN.

3.1 Definições para construção.

Inicialmente analisamos o desenho disponibilizado pelo vendedor ilustrado pela Figura 3.1 buscando retirar informações das cotas básicas de construção para replicando-as no desenvolvimento desse projeto, o dimensionamento foi baseado

nas medidas do modelo real versus os materiais disponíveis para compra no comercio formal.

Figura 3.1 - Dimensões modelo real.



Fonte: Mercado Livre (2019).

3.1.1 Suspensão em escala reduzida.

Para agilizar desenvolvimento dos modelos tridimensionais produzidos em sistemas de CAD 3D, Foggiato *et al.*, (2007) sugere uma sequência lógica de modelagem seguindo as premissas tais como:

- Planejar a Modelagem 3D.
- Referenciar os modelos 3D nos planos principais.
- Utilizar um sólido básico (simples) como feature inicial.
- Utilizar geometrias 2D simples como sketch dos modelos 3D.
- Usar restrições geométricas na geração das geometrias 2D.
- Evitar relações de parentesco desnecessárias entre features.
- Utilizar níveis (layers) para organizar a modelagem.
- Usar as peças ou features disponíveis em bibliotecas.
- Utilizar famílias de peças e de montagens.

Inicialmente em ambiente computacional o modelo de suspensão de elastômero foi definido e modelado em escala reduzido levando em consideração o desenho já apresentado na Figura 3.1, foi estabelecido uma sequência cronológica de

modelagem das peças obedecendo a uma sequência de montagem, ou seja, projetando a partir de uma peça base (SPECK,2005).

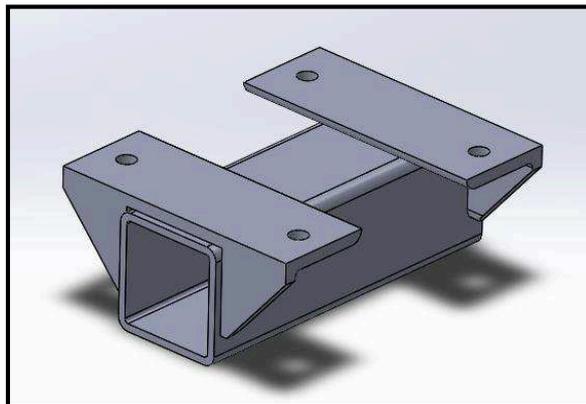
A sequência lógica de modelagem ficou estabelecida da seguinte maneira:

- Estrutura Fixa;
- Eixo de torção;
- Elastômeros;
- Tampão

A estrutura fixa (Fig. 3.2) foi idealizada a partir de uma junção de uma cantoneira de abas iguais de 1" x 1" por 1/8" de espessura com um perfil quadrado de metalon nas medidas 30 mm x 30 mm por 1.5 mm de espessura, sendo que o perfil interno do metalon quadrado servirá de alojamento para o conjunto de elastômeros;

O conjunto é unido por solda elétrica tipo eletrodo revestido, a cantoneira de abas iguais servirá de base de apoio para fixação da suspensão em estudo em escala no protótipo de ensaio.

Figura 3.2 - Estrutura fixa.



Fonte: Elaboração Autor.

Desenvolvido o modelo 3D partimos para elaboração do desenho 2D para fabricação, ou seja, detalhar os componentes de modo que seja demonstrados todos os detalhes necessários para a execução do projeto como cotas, tolerâncias, vistas entre outras especificações (SOUZA,2003), a Figura 3.3 ilustra a peça após a fabricação.

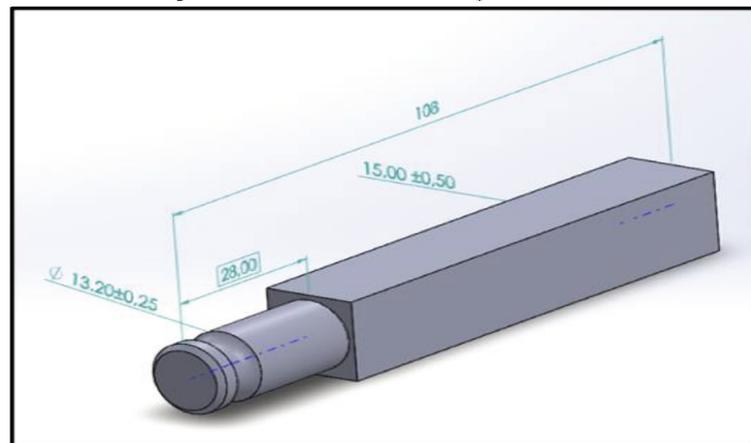
Figura 3.3 - Estrutura fixa fabricada.



Fonte: Elaboração Autor

Próximo passo foi modelar o eixo de torção responsável de receber os impactos da roda e repassar durante o movimento de giro para o conjunto de elastômeros, o eixo de torção foi modelado com característica simples para sejam fabricados com recursos simples, utilizamos uma barra quadrada de 15 mm usinadas conforme detalhes conforme Figura 3.4.

Figura 3.4 - Eixo de torção.



Fonte: Elaboração Autor.

A Figura 3.5 ilustra o eixo de torção após fabricação pelos processos de usinagem como fresamento e torneamento, utilizamos o alumínio como matéria-prima devido as boas condições de usinabilidade e o baixo peso.

Figura 3.5 - Eixo de torção fabricado.

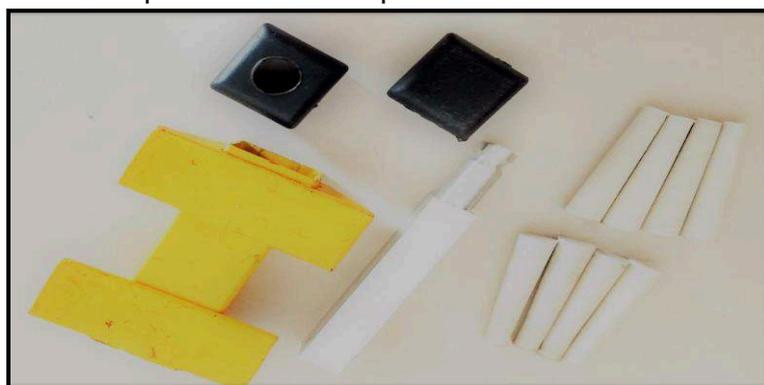


Fonte: Elaboração Autor

O conjunto de elastômeros que terá a função de absorver e dissipar o choque causado pelo obstáculos do fixado na correia transportadora, os plugues de silicone utilizados traz características semelhantes ao da borracha tendo assim o papel de amortecer os impactos imposto a ela.

Não especificaremos as propriedades do material do plugue devido o fornecedor não disponibilizar informações, informações como o coeficiente de amortecimento do sistema será possível após construção deste sistema proposto no trabalho, a Figura 3.6 ilustra os componentes para montagem da suspensão de torção por elastômeros.

Figura 3.6 - Componentes da suspensão em escala em estudo.



Fonte: Elaboração Autor

Observa-se após a montagem a pressão que os plugues de silicone fazem no eixo de alumínio centralizando o mesmo no centro da estrutura fixa e oferecem resistência ao giro, a Figura 3.7 ilustra as informações comentadas acima.

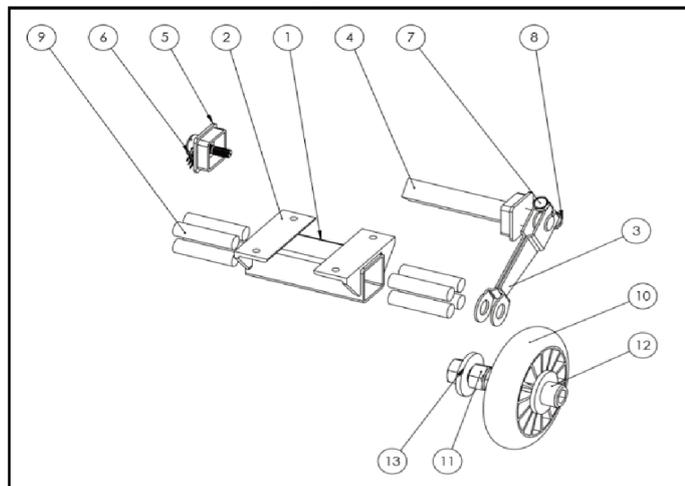
Figura 3.7 - Conjunto de elastômeros montados .



Fonte: Elaboração Autor

Após montagem dos plugues de silicone com o eixo central na estrutura base com ajuda de uma prensa hidráulica, damos sequência na montagem do conjunto utilizando como referência a Figura 3.8 tomando como base as identificações das peças na montagem.

Figura 3.8 - Desenho de montagem da suspensão em escala.



Fonte: Elaboração Autor

A lista de peças deste conjunto é demonstrado na Tabela 2, a identificação dos itens na tabela é conforme o número do balão apresentado na Figura 3.8, na tabela são descritos o número, nome e quantidade de peças utilizadas para a montagem do protótipo de suspensão, desenho completo se encontra no Apêndice A.

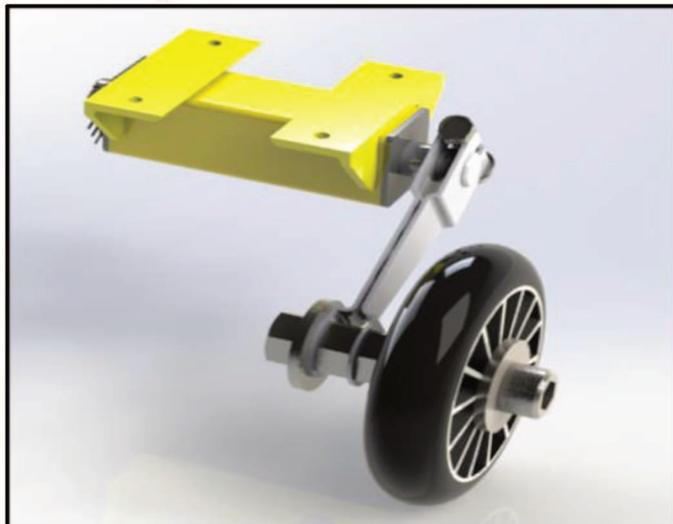
Tabela 2- Lista de peças do conjunto .

| Nº | Nº DA PEÇA | QTD. |
|----|--|------|
| 1 | Estrutura base | 1 |
| 2 | Cantoneira | 2 |
| 3 | Braço | 1 |
| 4 | Eixo | 1 |
| 5 | Tampão 30 x30 mm | 2 |
| 6 | Potenciometro PCI 10K | 1 |
| 7 | Parafuso M6 x1 x30 | 1 |
| 8 | Porca M6 x 1 | 1 |
| 9 | Plugues de Silicone | 8 |
| 10 | Roda 5" | 1 |
| 11 | Porca 1.75 --D-N | 3 |
| 12 | Parafuso M12 x 1.75 x 70 Hex SHCS -- 36NHX | 1 |
| 13 | Arruela plana | 3 |

Fonte: Elaboração Autor

A Figura 3.9 ilustra a perspectiva do protótipo no ambiente CAD, torna-se possível já prever suas dimensões e formas para prosseguir com o andamento do projeto.

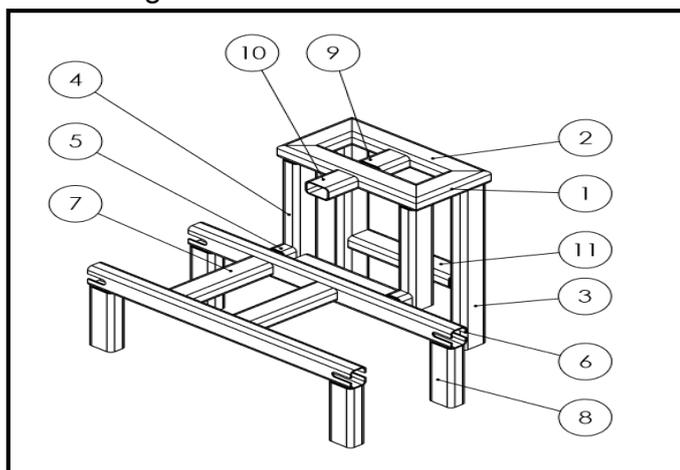
Figura 3.9 - Modelo 3D.



Fonte: Elaboração Autor

O detalhamento da estrutura é ilustrado na Figura 3.12 , para facilitar a fabricação aplicou-se a divisão dos perfis e enumerando conforme indicação dos balões, sendo possível realizar preparação antecipada dos perfis , a Tabela 3 demonstra a lista de peças da estrutura assim como as dimensões e números conforme indicação da Figura 3.12.

Figura 3.12 - Desenho estrutura.



Fonte: Elaboração Autor.

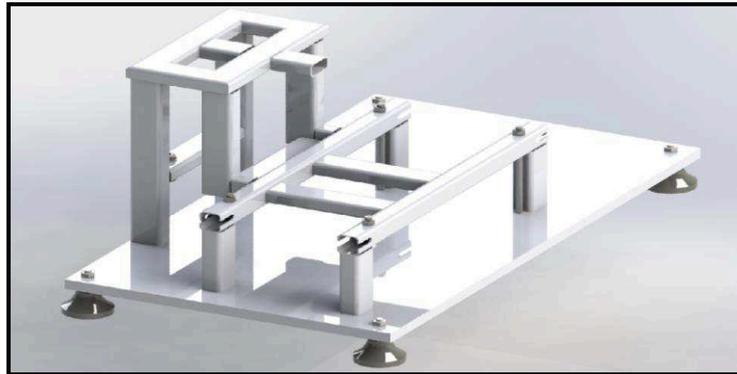
Tabela 3- Lista de peças (estrutura).

| Nº DO ITEM | QTD. | DESCRIÇÃO | COMPRIMENTO |
|------------|------|----------------------------|-------------|
| 1 | 2 | Tubo metalon 30 x 20 x1 mm | 97 mm |
| 2 | 2 | Tubo metalon 30 x 20 x1 mm | 180 mm |
| 3 | 2 | Tubo metalon 30 x 20 x1 mm | 260 mm |
| 4 | 2 | Tubo metalon 30 x 20 x1 mm | 165 mm |
| 5 | 2 | Tubo metalon 30 x 20 x1 mm | 15 mm |
| 6 | 1 | Tubo metalon 30 x 20 x1 mm | 340 mm |
| 7 | 2 | Tubo metalon 30 x 20 x1 mm | 110 mm |
| 8 | 4 | Tubo metalon 30 x 20 x1 mm | 95mm |
| 9 | 1 | Tubo metalon 30 x 20 x1 mm | 37 mm |
| 10 | 1 | Tubo metalon 30 x 20 x1 mm | 35 mm |
| 11 | 2 | Tubo metalon 30 x 20 x1 mm | 133 mm |

Fonte: Elaboração Autor

A estrutura instalada em tampo de MDF de 60 cm x 35 cm x 15 mm (comprimento x largura x espessura) por parafusos passantes , com intuito de reduzir vibrações do sistema de teste foram instalados 4 coxins nas extremidades do tampo , a Figura 3.13 ilustra o conjunto montado.

Figura 3.13 - Estrutura base.



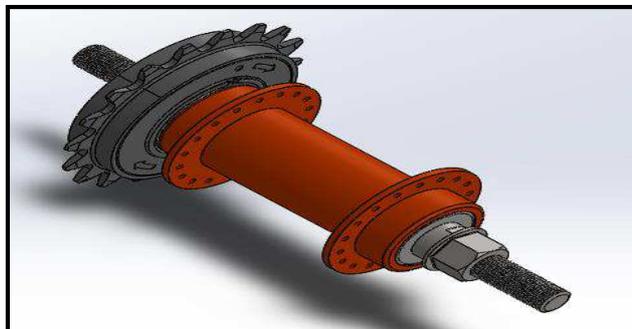
Fonte: Elaboração Autor

3.1.3 Roletes

Os roletes seram elementos responsaveis por dar movimento a correia transportadora, foi proposto um modelo de rolete que atenda as necessidades exigidas com um custo acessivel , foi proposto utilizar os cubos de rolamentos traseiro e dianteiro usado em bicicletas em conjunto com um tubo de 2" de diametro de servindo de apoio da correia, teremos no projeto rolete de carga (retorno) e rolete de retorno (conduzido).

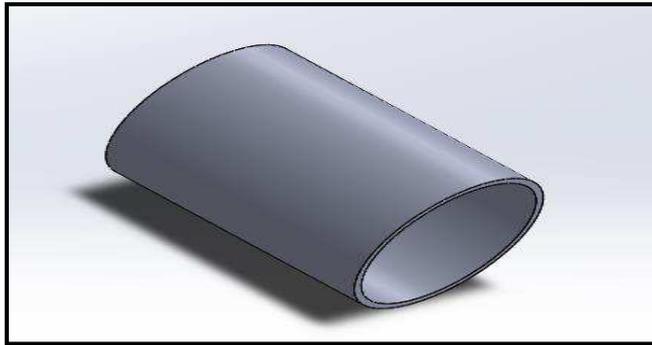
O rolete de carga é composto por um cubo trazeiro , uma coroa de 22 dentes (Figura 3.14) de utilizados em bicicletas e um tubo de 2" de diâmetro (Figura 3.15), o tubo possui medida de 60 mm de comprimento é encaixado com leve interferencia no conjunto cubo trazeiro e aplicado pontos de solda eletrica por eletrodo revestido, visto que o mesmo será responsável em transmitir o movimento de giro a correias transportadoras.

Figura 3.14 - Cubo traseiro.



Fonte: Elaboração Autor.

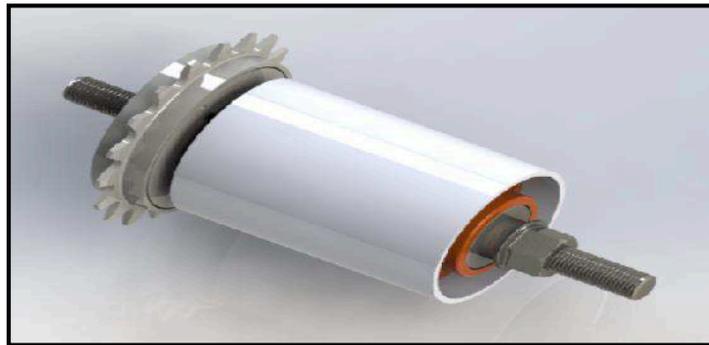
Figura 3.15 - Tubo de aço carbono de 2" de Diâmetro.



Fonte: Elaboração Autor.

A Figura 3,16 ilustra o rolete de carga depois de feito a montagem dos componentes, sua função é transmitir o movimento de giro recebido pela coroa para a correia transportadora.

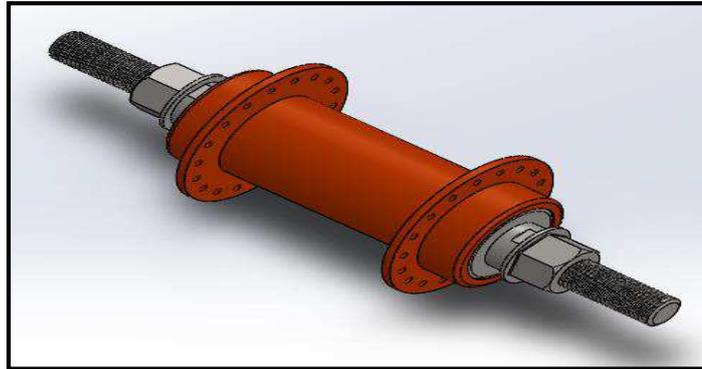
Figura 3.16 - Conjunto montado (Rolete de carga).



Fonte: Elaboração Autor.

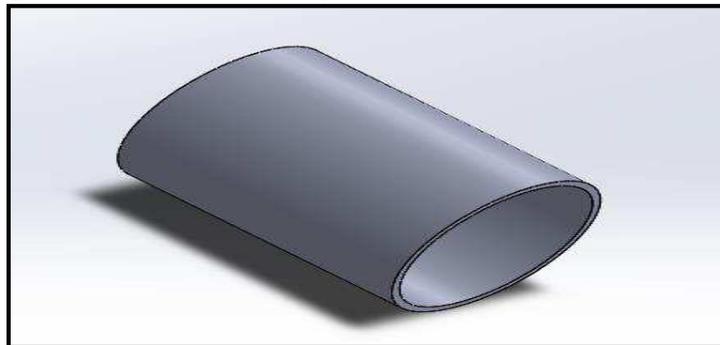
O rolete de retorno (conduzido) é composto por conjunto de um cubo dianteiro de bicicleta (Figura 3.17) com um tubo de 2" de diâmetro (Figura 3.18), o tubo possui 60 mm de comprimento e é encaixado com leve interferencia no conjunto cubo trazeiro e aplicado pontos de solda .

Figura 3.17 - Cubo dianteiro.



Fonte: Elaboração Autor.

Figura 3.18 - Tubo de aço carbono de 2" de Diâmetro.



Fonte: Elaboração Autor.

A Figura 3,19 ilustra o rolete de retorno (conduzido) depois de feito a montagem dos componentes, sua função é específica de sustentar a correia no seu retorno e ajustar o estiramento do sistema.

Figura 3.19 - Conjunto montado (Rolete de retorno).

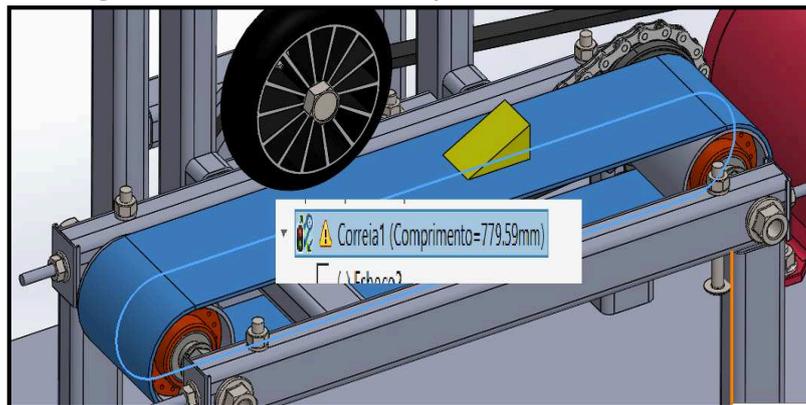


Fonte: Elaboração Autor.

3.1.4 Correia transportadora.

A correia transportadora foi fabricado exclusivamente para atender este projeto, foi utilizado material em PVC forrado por trama de tecido , com 60 mm de largura respeitada conforme dimensões do rolete, com auxilio da ferramenta de medição do software 3D calcula-se o perimetro da correia transportadora, a medida é ilustrada na Figura 3.20.

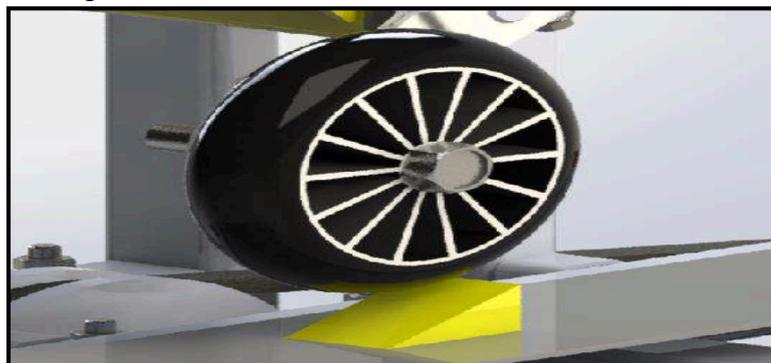
Figura 3.20 - Referencia para fabricacao correia .



Fonte: Elaboração Autor.

A correia transportada foi fabricada conforme medidas mencionadas acima, foi fabricada especialmente para este projeto, construída por costura industrial reforçada para suportar impacto causado pelo obstáculo preso a mesma em contato com a roda (Fig. 3.21).

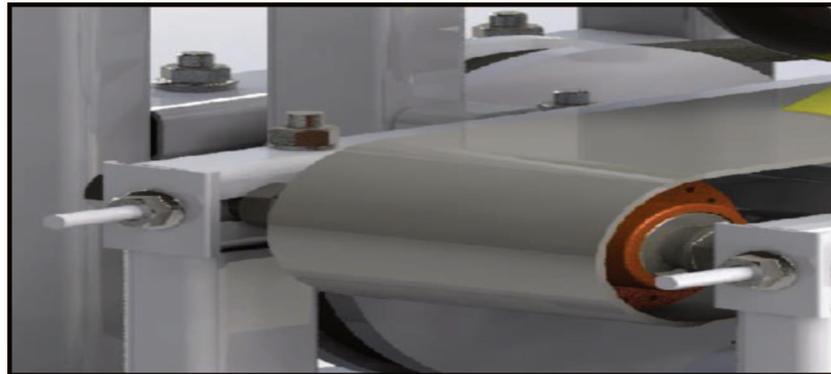
Figura 3.21 - Obstaculo em contato com a roda.



Fonte: Elaboração Autor.

O sistema de correia transportadora necessita um sistema de ajuste, ou seja, um dispositivo que mantém a tensão conveniente para o acionamento da correia e absorvendo as variações no comprimento da correia causadas pelas mudanças de temperatura, oscilações de carga, tempo de trabalho, etc., neste projeto utilizaremos um sistema por porca e parafuso ilustrado na Figura 3.22.

Figura 3.22 - Sistema de ajuste de tensão da correia transportadora.



Fonte: Elaboração Autor.

3.1.5 Motor elétrico

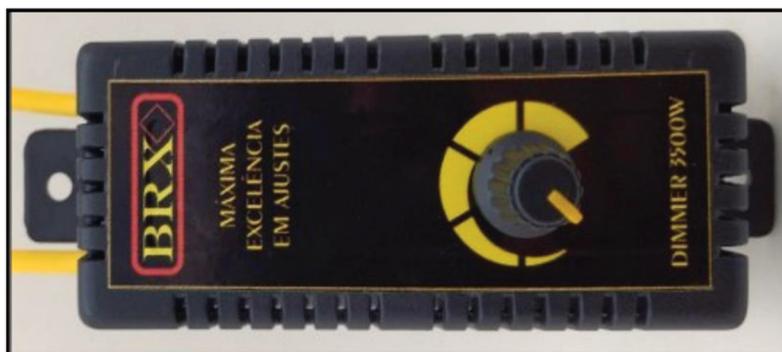
Para acionamento do sistema de correia transportadora neste projeto será utilizado um motor elétrico de 220 Volts (monofásico) de 1/4 CV de 4 polos tem uma rotação de 1750 RPM da marca WEG (Fig. 3.23), O motor elétrico transforma a energia elétrica em energia mecânica repassando em movimento giratório à polia.

Figura 3.23 - Motor WEG 1/4 CV.



Para um controle da rotação mais preciso da correia transportadora foi instalado um Dimmer de ajuste ilustrado na Figura 3.24, o objetivo controlar a rotação dada a correia transportadora após redução imposta pelo sistema de transmissão que será demonstrado no decorrer deste trabalho, facilitando assim um melhor controle do RPM da correia transportadora.

Figura 3.24 - Dimmer de controle de RPM motor.



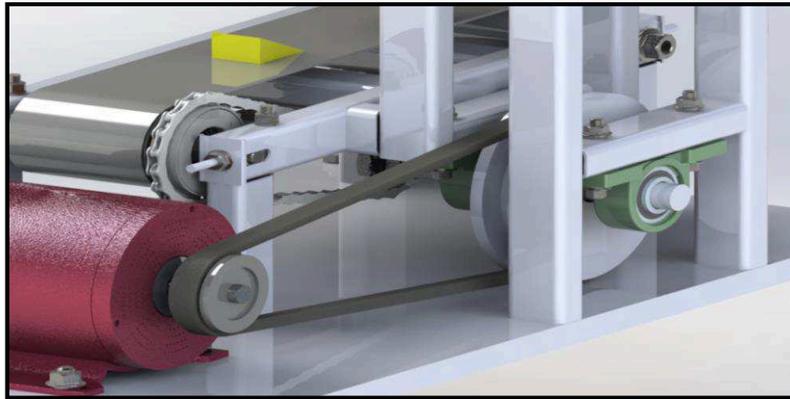
Fonte: Elaboração Autor.

3.1.6 Sistema de transmissão.

O sistema de transmissão é responsável em repassar a rotação disponibilizada pelo motor elétrico para o sistema de correia transportadora (Fig. 3.25) que por sua vez terá como função transportar o obstáculo a ela preso que excitará o sistema de suspensão por elastômero, o sistema de transmissão é composto por:

- Polia em V de 40 mm de diâmetro tipo A;
- Polia em V de 120 mm de diâmetro tipo A;
- Correia em V tipo A;
- Coroa com 11 Dentes;
- Corrente de passo 1/2;
- Catraca com 22 Dentes acoplada ao rolete de tração.

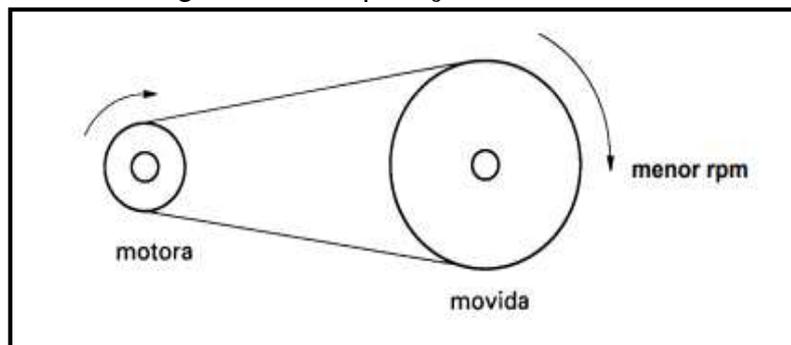
Figura 3.25 - Sistema de transmissão em destaque.



Fonte: Elaboração Autor.

A escolha do diâmetro das polias movida e motora definem a transmissão de maior ou menor velocidade para a correia transportadora, no projeto em estudo a polia movida é maior que a motora, traduzindo em uma velocidade final menor para a correia transportadora, a Figura 3.26.

Figura 3.26 - Aplicação de Polias.



Fonte: (TELECURSO, 2000).

Existe uma relação matemática que expressa esse fenômeno:

$$\frac{N1}{N2} = \frac{D2}{D1} \quad \text{Equação 13}$$

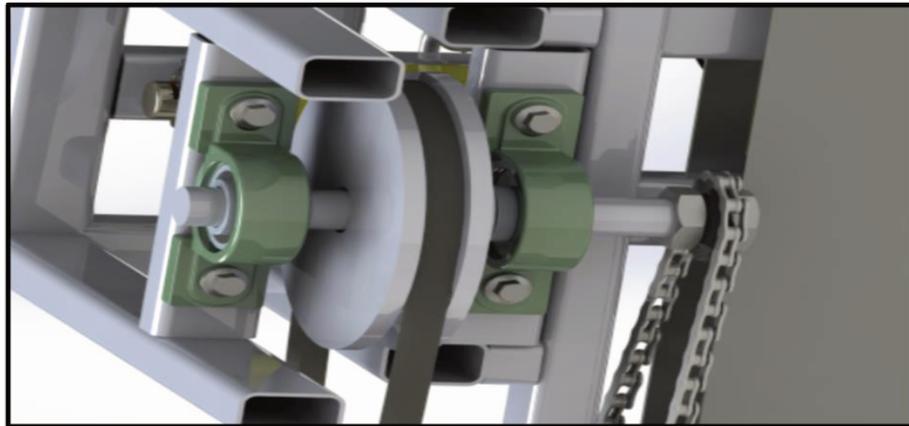
No projeto em estudo temos uma rotação entregue pelo motor elétrico de 1740 RPM em uma polia 40 mm de diâmetro e repassados por intermédio de uma correia

em V para uma polia de 115 mm de diâmetro, a formulação matemática para obtenção do RPM na polia movida e a seguinte:

$$\frac{N1}{N2} = \frac{D2}{D1} = \frac{40}{1152} = \frac{D2}{1740} = D2 = 756.2 \text{ RPM} \quad \text{Equação 14}$$

A polia de 115 mm de diâmetro está ligada entre dois mancais a um eixo de 17 mm de diâmetro com uma engrenagem de 11 dentes (Fig.3.27), pelo fato de estar ligado mesmo eixo da polia a engrenagem transmite os mesmo 756 RPM para a catraca de 22 dentes ligada ao rolete de tração por meio da corrente,

Figura 3.27 - Detalhe inferior (sistema de transmissão).



Fonte: Elaboração Autor.

A formulação matemática para obtenção do RPM na polia movida e a seguinte:

$$\frac{N1}{N2} = \frac{D2}{D1} = \frac{756}{115} = \frac{22}{N1} = N1 = 378 \text{ RPM} \quad \text{Equação 15}$$

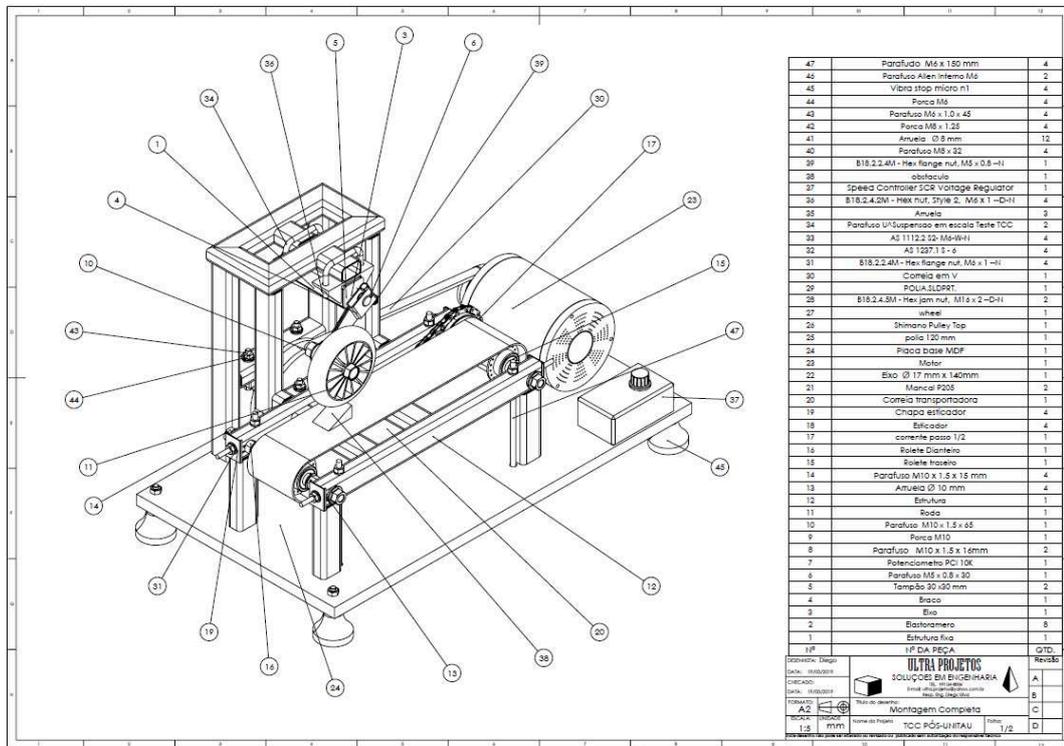
Como já descrito neste trabalho para um melhor refino da velocidade da correia transportadora durante o teste teremos um Dimmer de controle e variação do RPM conforme necessidade do ensaio.

3.2 Montagem protótipo.

Projeto foi concebido com intuito de atender os requisitos para o ensaio proposto usando componentes que desempenham características conforme foram projetados (JUNQUEIRA *et al*, 2012), os elementos de maquinas utilizados neste projetos foram baseados conforme modelos 3D disponibilizados pelos fabricantes tornando-o o projeto construído uma cópia fiel ao modelo projetado no ambiente CAD.

A Figura 3.28 ilustra o desenho de montagem (Apendice A) contemplando a lista de peças do protótipo.

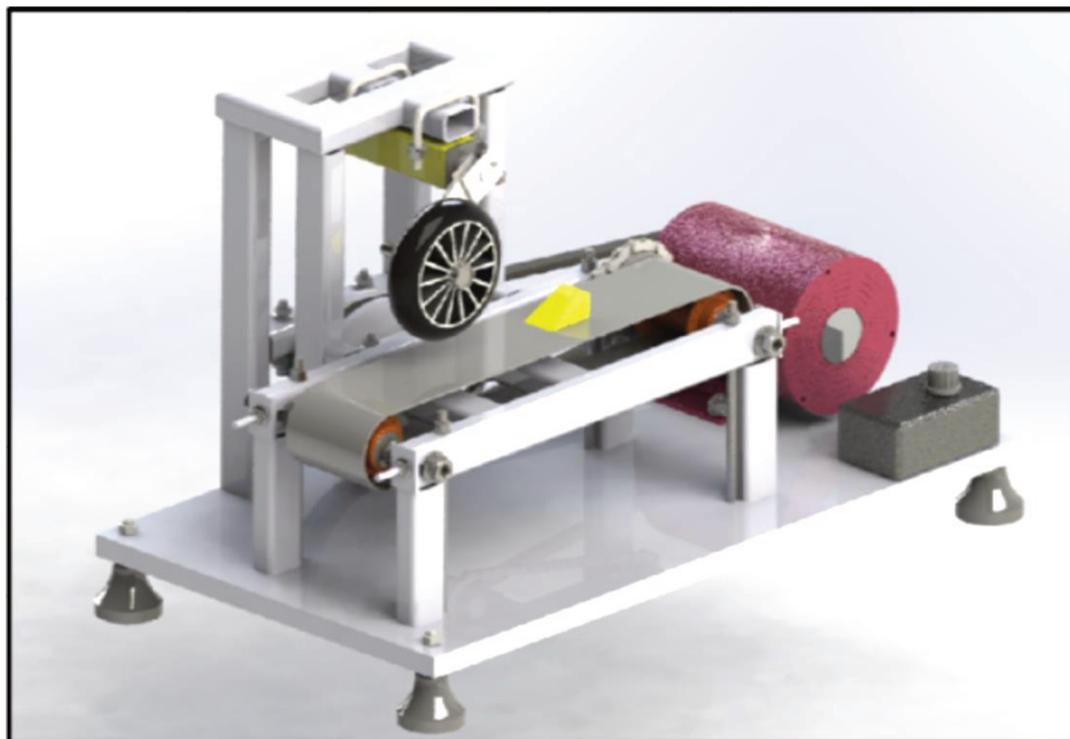
Figura 3.28 - Montagem Completa.



Fonte: Elaboração Autor.

A Figura 3.29 ilustra o modelo final do protótipo para teste de bancada para testes da suspensão por torção de elastômero

Figura 3.29 - Projeto virtual.



Fonte: Elaboração Autor.

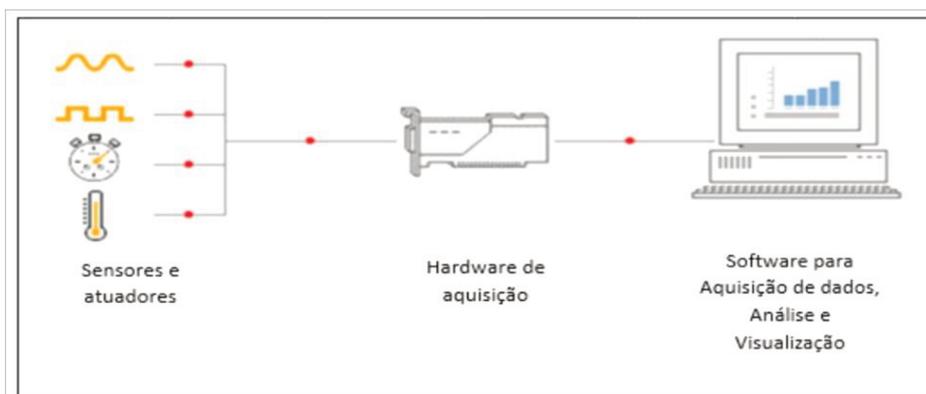
3.3 Sistema de aquisição de dados.

Sistemas de aquisição de dados são dispositivos usados em instrumentação científica e englobam conjuntos de processos de coleta de sinais que medem condições físicas do mundo real e convertem os sinais coletados primeiramente em sinais elétricos e em seguida em valores numéricos digitais que podem ser armazenados por um computador para análise e tratamento posterior (MAURIZIO DI PAOLO, 2013).

A grande maioria dos cientistas e pesquisadores utiliza computadores pessoais com placas de expansão para aquisição de dados em pesquisas laboratoriais, controle industrial e em testes e medições (GARCIA *et al*,2015); Um sistema de aquisição de dados é geralmente composto por: sensores e transdutores (que convertem os parâmetros físicos em sinais elétricos, o sensor é um dispositivo que responde com um sinal elétrico a um estímulo físico de uma maneira específica.

Conforme Bolton, (2009), o termo Aquisição de Dados tende a ser usados frequentemente para sistemas nos quais as entradas dos sensores são convertidas do formato analógico para o formato digital para processamento, análise e apresentação de resultados por meio de um computador, conforme demonstrado na Figura 2.32.

Figura 3.30 - Planta de aquisição de dados.



Fonte : Pinto e Degasperri (2015).

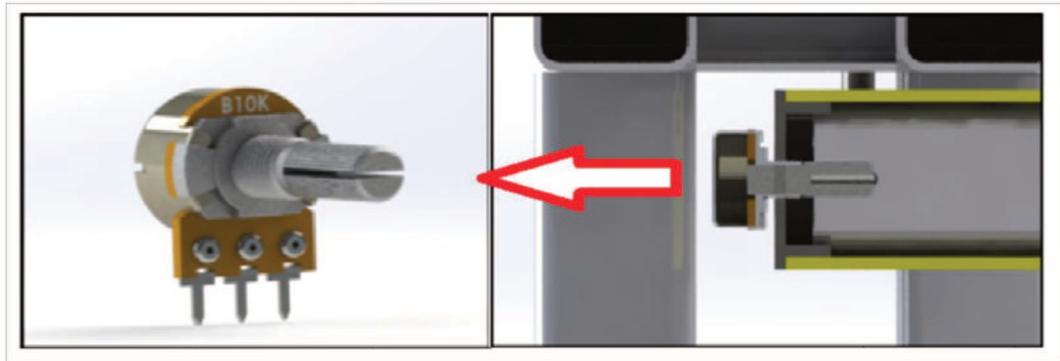
Utilizando o conceito apresentado na figura acima utilizaremos neste projeto de obtenção de dados da suspensão em estudo os seguintes elementos :

- Como sensor um potenciômetro de 10 K;
- Como hardware de aquisição um micro controlador Arduino e
- Como software de tratamento e análise o programa Scilab.

Neste projeto de estudo foi utilizado um potenciômetro 10K do tipo rotativo de instalado diretamente no eixo torçor da suspensão em estudo (Fig. 3.33), o potenciômetro possui as seguintes características:

- Tensão de operação (máxima): 200VAC;
- Resistência (máxima): 10K Ω ;
- Potência (máxima): 200mW;

Figura 3.31 - Sistema de obtenção de dados.



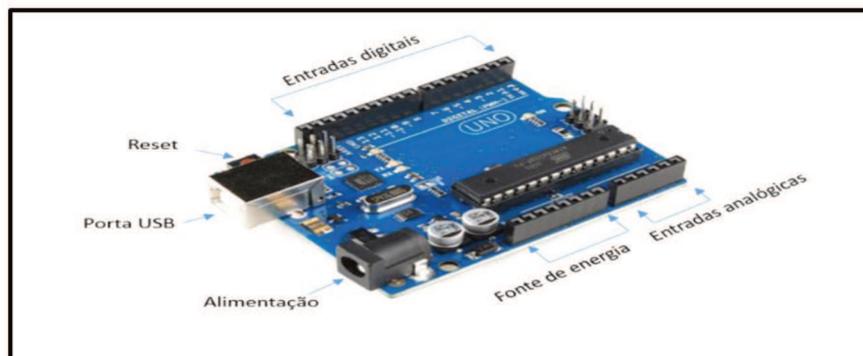
Fonte: Elaboração Autor.

A partir de experiências bem sucedidas de trabalhos acadêmicos utilizando o micro controlador Arduino para aquisição de dados, faremos a compilação dos dados fornecidos pelo potenciômetro instalados no sistema de suspensão pelo micro controlador Arduino(MCROBERTS.2011).

O projeto Arduino foi desenvolvido na Itália em 2005 com o objetivo de oferecer uma plataforma de programação de baixo custo, de simples linguagem e destinado a pessoas interessadas em criar projetos com objetos e ambientes interativos com pouco recurso financeiro (MCROBERTS, 2015).

A Figura 3.32 ilustra a da placa de Arduino UNO, a placa e composta por quatorze entradas digitais e seis analógicas, a placa possui entrada USB que serve tanto para alimentação como carregamento de informações para placa e computador, possui oito pinos de fonte de energia auxiliar e um botão reset do sistema.

Figura 3.32 - Detalhamento da placa Arduino UNO.



Fonte: Elaboração Autor.

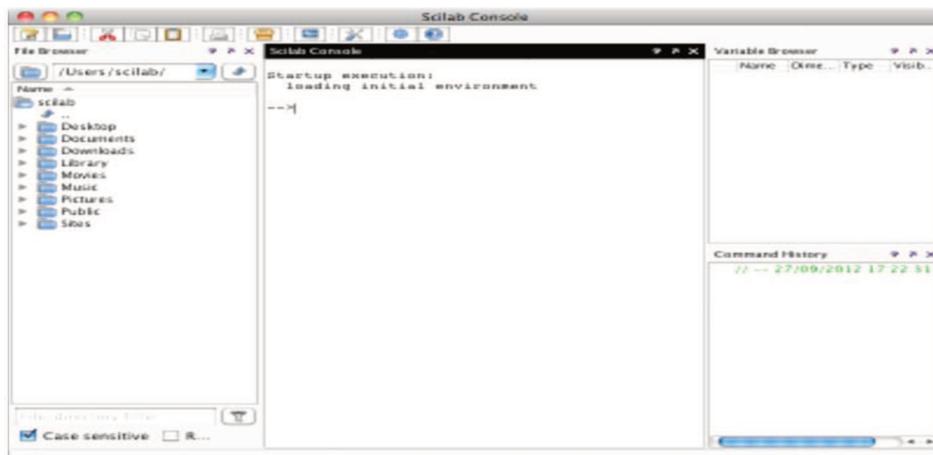
A conexão entre o potenciômetro (usado como sensor) e micro controlador Arduino foi feita seguinte maneira:

- Um conector ligado do pino de alimentação 5V da fonte de energia da placa Arduino ao um dos pinos da extremidade do potenciômetro.
- Um segundo conector ligado a entrada analógica A0 ao pino central do potenciômetro
- Um terceiro conector ligado do pino GND da fonte de energia da placa do Arduino no terceiro pino do potenciômetro.

Seguindo o arquitetura descrita por de Pinto e Degasperi (2015), foi utilizado o Scilab como software para tratamento de dados fornecidos ao micro controlador Arduino pelo sensor (potenciômetro) ligado a suspensão em teste; O Scilab se encaixa como software com licença gratuita (freeware) utilizado hoje em ambientes acadêmicos e industriais, desenvolvido na França em 1993 por um grupo de pesquisadores do Institute National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA) e École Nationale des ponts et Chaussées (ENPC).

O fato de ser uma linguagem de programação permite ao utilizador desenvolver comandos para seu uso próprio direto no console (Figura 3.33), ou programá-los em linguagem C ou FORTRAN (BARRETO,2011).

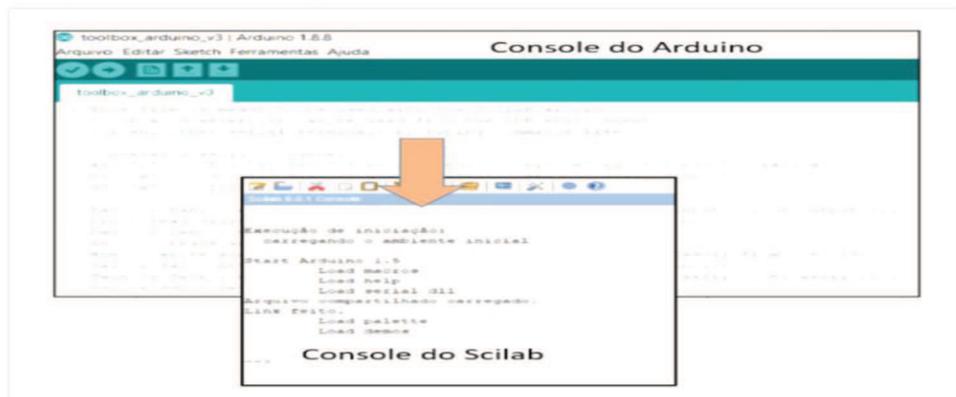
Figura 3.33 - Janela Scilab



Fonte: Elaboração Autor.

O Scilab faz a interface (Fig.3.34) com o Arduino após a execução de um módulo destinado a conexão entre eles, após execução do módulo de interface o Software Scilab está apto a usar os dados da porta da placa do Arduino e transformar em resposta conforme necessidades do usuário, plotando gráficos, resoluções matemáticas entre outros fins.

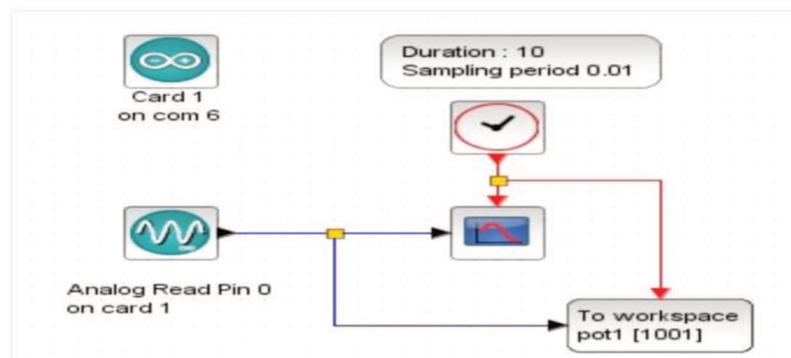
Figura 3.34 - Execução do Módulo de interface Arduino/Scilab.



Fonte: Elaboração Autor.

Dentro Scilab utilizamos o módulo especial de programação por blocos, editor gráfico para desenvolvimento de sistemas dinâmicos (hidráulicos, mecânicos, de controle), bastante semelhante ao Simulink (velho conhecido dos usuários do Matlab), ferramenta é aberta através de botão na barra de ferramentas ou através de código no script, a Figura 3.35 mostra o diagrama de bloco usado para plotar o resultado do ensaio.

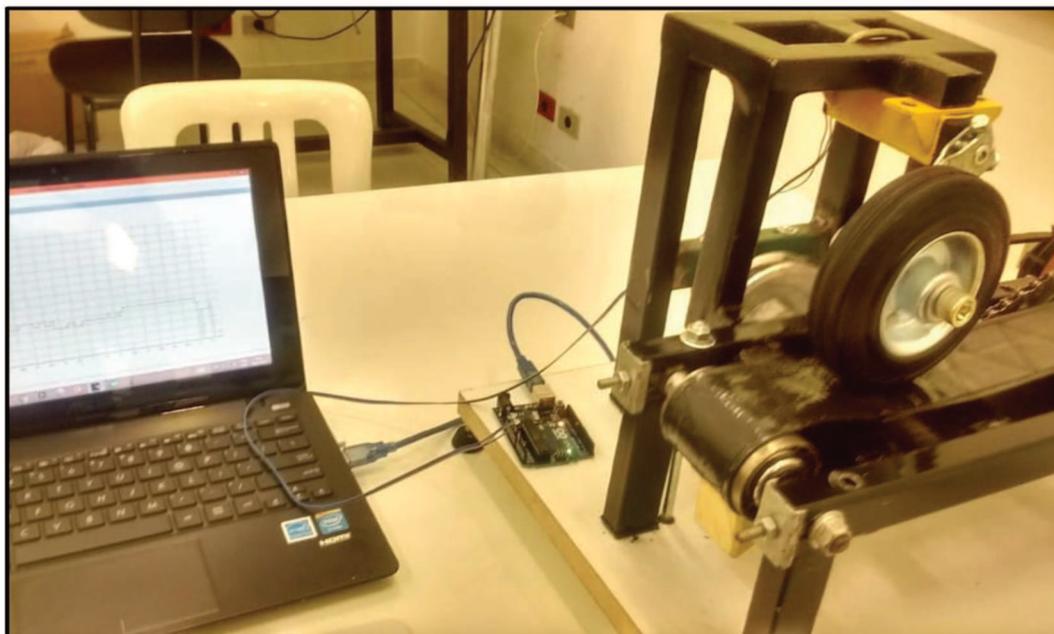
Figura 3.35 - Modulo Xcos Scilab.



Fonte: Elaboração Autor.

A Figura 3.36 ilustra a planta do projeto proposto para este trabalho, bancada de teste projetada e construída, micro controlador Arduino interligada ao potenciômetro adquirindo dados e simultaneamente enviando resposta ao software Scilab que copia as informações e plotam em gráficos o comportamento oscilatório do sistema em estudo.

Figura 3.36 - Projeto montado.

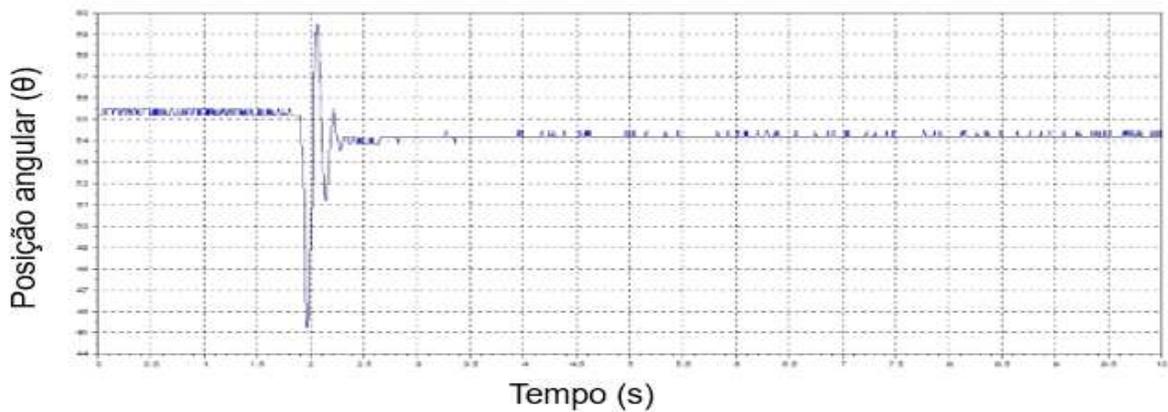


Fonte: Elaboração Autor.

4 RESULTADOS.

A primeira coleta de dados observa-se o comportamento oscilatório do sistema de suspensão de torção por elastômero em escala reduzida, nota-se que o comportamento oscilatório corresponde ao comportamento de um sistema de suspensão que classifica-se em um amortecimento subamortecido, ou seja, com $\zeta < 1$, a Figura 4.1 ilustra o gráfico do energia dissipada em função do tempo.

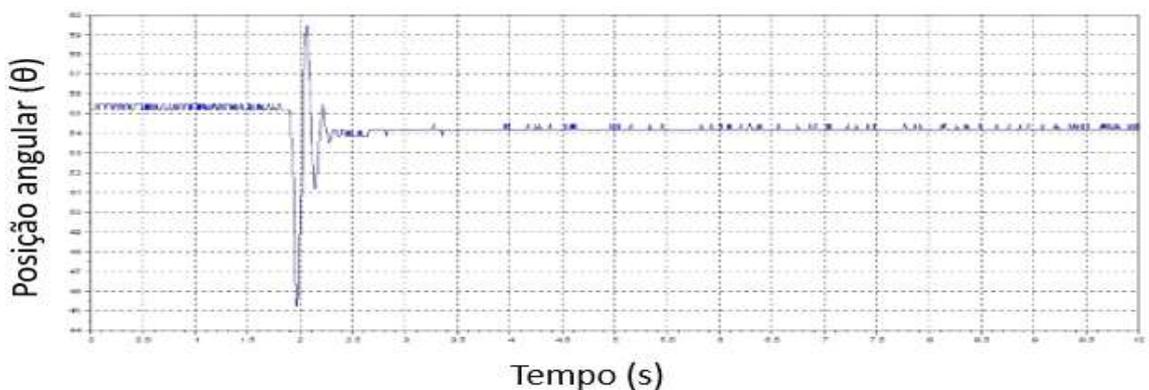
Figura 4.1 - Primeira aquisição .



Fonte: Elaboração Autor.

A segunda coleta de dados teve como objetivo principal verificar a repetitividade do teste, ou seja, verificar se o sistema de aquisição apresentava uma confiabilidade nos resultados, a Figura 4.2 ilustra semelhante ao primeiro dando credibilidade ao sistema de ensaio.

Figura 4.2 - Segunda aquisição.



Fonte: Elaboração Autor.

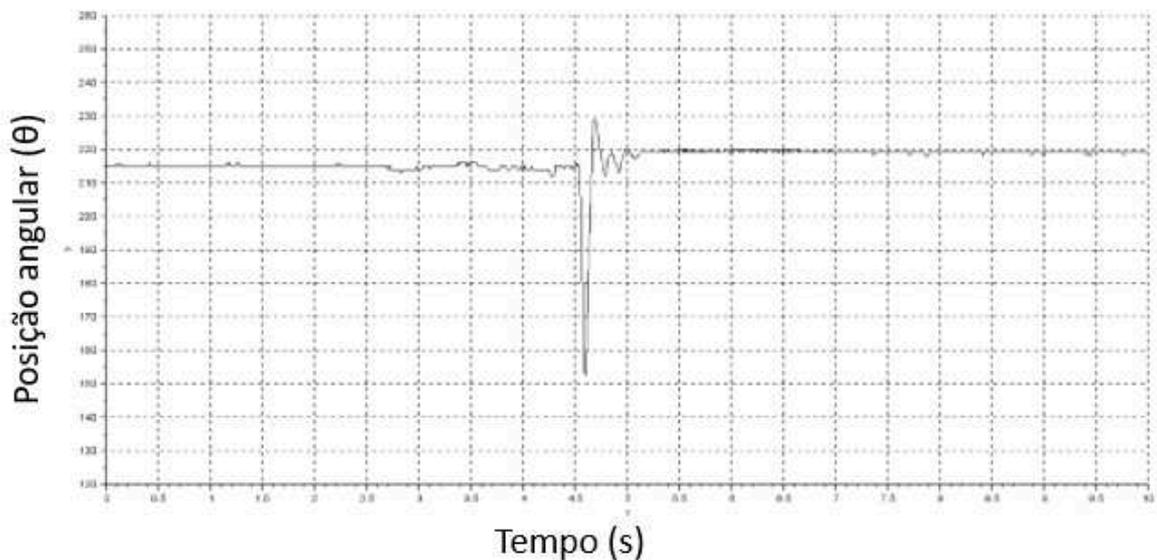
Foi feita uma calibragem nos dados entregues pelo potenciômetro de modo a plotar uma resposta mais suave no gráfico tornando-o comportamento oscilatório mais suave e melhorando a visualização amplitude gerada pela excitação do obstáculo, a calibragem do sistema adotou com as seguintes considerações:

- Limitou se o range de trabalho do potenciômetro em 340 graus.
- Utilizou se da Equação 16 para corrigir valor lido para plotagem no gráfico em função do tempo.

$$\frac{340}{\theta} = \frac{1023}{d} \therefore \theta = \frac{340}{1023} d \quad \text{Equação 16}$$

Logo todo valor θ calibrado conforme consideração acima a será plotado pelo software em função do tempo, buscando uma resposta mais suave no comportamento oscilatório da suspensão por torção de elastômeros, a Figura 4.3 ilustra o resultado obtido após a calibragem da dados recebidos pelo software Scilab.

Figura 4.3 - Aquisição após calibragem.



Fonte: Elaboração Autor.

Os resultados apresentados demonstram que o sistema correspondeu de maneira satisfatória ao ensaio, fornecendo informações necessárias para modelagem matemática do sistema de amortecimento.

5 CONCLUSÃO

O objetivo inicial do projeto foi concluído com sucesso, visto que o desenvolvimento e construção do protótipo proposto para este trabalho cumpriu os requisitos esperados durante os teste aplicados ao sistema de suspensão por torção de elastômeros, ressalta que o uso de ferramentas de modelagem CAD é indispensável no desenvolvimento de qualquer projeto visto que o tempo e custos são reduzidos.

Outro ponto importante foi notado que a planta de aquisição de dados utilizada atendeu de maneira eficaz os objetivos pretendidos, obtendo as oscilações do comportamento dinâmico da suspensão posta a condições de trabalho em formas de gráficos.

Conclui se que o projeto atendeu o objetivo inicial proposto, obtendo assim a resposta em forma de plotagem gráfica do comportamento do sistema de suspensão por torção de elastômero durante ensaios realizado semelhantes à condições reais de uso, possibilitando um estudo mais aprofundado do sistema em estudo.

REFERÊNCIAS

ALMANAQUE DO IPEM: **Relação entre o ônibus espacial e a biga romana**. 2010. Disponível em: <<https://ipemsp.wordpress.com/2010/01/23/qual-e-a-relacao-entre-o-onibus-espacial-e-a-biga-romana/>>. Acesso em: 21 jan. 2019.

BARRETO, Luís Soares. **Iniciação ao Scilab**. 2011.

BOLTON, W. **Mecatrônica uma abordagem multidisciplinar**, 4ª Edição, São Paulo, Bookman, 2008, 664p.

CONCEITO.DE. **Conceito de protótipo**. [S. l.], 30 ago. 2015. Disponível em: <https://conceito.de/prototipo>. Acesso em: 13 mar. 2019.

CORREIA, António Araújo. **Vibrações de sistemas com 1 grau de liberdade**. Instituto Superior Técnico, 2007.

COSTA, Guilherme. **Autopédia: Os vários tipos de suspensões**. [S. l.], 2012. Disponível em: <https://www.razaoautomovel.com/2011/12/autopedia-os-varios-tipos-de-suspensoes-2>. Acesso em: 23 jan. 2019.

COSSOLINO L.C.; PEREIRA A.H.A. –**Amortecimento: classificação e métodos de determinação**” – Universidade de São Carlos, 2010.

DA SILVA, Samuel. **Vibrações Mecânicas-Notas de Aulas - 2 Versão**. Foz Do Iguaçu, 2009. Disponível em: <http://www.joinville.ifsc.edu.br/~pauloboni/MECANISMOS/DIN%C3%82MICA%20DE%20M%C3%81QUINAS/Apostila%20-%20Samuel%20da%20Silva%20-%20MUITO%20BOA%20-%20Did%C3%A1tica.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2019.

DIXON, J. C., 1996, **Tires, Suspension and Handling**, 2ª ed., Society of Automotive Engineers, Warrendalle, ISBN 1-56091-831-4, 621p.

EMÍLIO, A. B. V. ; SANTIN, E. G.; MARQUES, F. **FISICA II**. [S. l.], 2013. Disponível em:<http://www.ifsc.usp.br/~strontium/Teaching/Material20132%20FCM0102%20Fisica%20II-EESC/Exercicio%20T14.79.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2019.

FERREIRA, P.; FALEIRO H. T.; DE SOUZA R. F. **Desenho técnico. Apostila de Circulação interna da Escola de Agronomia e Eng. de Alimentos da Universidade Federal de Goiás**. Goiânia: UFG, 2008.

FREITAS, F. D.; **Utilização Do Software Scilab Como Ferramenta Computacional Em Substituição Ao Matlab®–Aplicação Em Sistemas Com Representação Linear**. In: COBENGE 2004–Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. 2004.

FREITAS, L. M. P. J. **Estudo da dinâmica vertical de uma suspensão veicular do tipo Macpherson**. São Carlos, 2006.

FOGGIATTO, José Aguiomar; VOLPATO, Neri; BONTORIN, Ana Carolina Bueno. **Recomendações para modelagem em sistemas CAD-3D**. In: 4º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. 2007.

GARCIA, Ricardo Ferreira; DE LIMA, Rodrigo Cavalcante; MANHÃES, Carmen Maria Coimbra. **Nota técnica: avaliação de um sensor de fluxo utilizando placa micro controladora Arduino**. Revista engenharia na agricultura-reveng, v. 23, n. 2, p. 162-168, 2015.

GRAND Prix History. [S. l.], 2009. Disponível em: <http://www.grandprixhistory.org/auto_d.htm>. Acesso em: 21 mar. 2019.

GUERRA, M. V. R.; **Desenvolvimento e Análise de um Projeto de Feixe de Molas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)-Universidade de Brasília-UnB, Faculdade UnB Gama–FGA. Brasília, 2016.

GUERRA, P. H. L. **Educação Automotiva: 5 tipos de suspensão mais comuns.** 2018. Disponível em: <https://educacaoautomotiva.com/2018/02/28/5-tipos-suspensao/>. Acesso em: 14 jan. 2019.

HELLMEISTER, L.A.V.; DEGANUTTI, R.; RENÓFIO A.; HELLMEISTER, V. **Modelagem eletrônica, simulação e ensaios de materiais, aplicados no desenvolvimento de suspensão elastomérica para uso rodoviário.** In III Workshop Design e Materiais: Seleção de Materiais e Processos de Fabricação, UFRGS, PORTO ALEGRE, 2007.

IEZZO, Robson et al. **Desenvolvimento de um sistema de suspensão com amortecimento semi-ativo" slow-active" com custo competitivo.** 2010

JUNQUEIRA, E. L.; DO PATROCÍNIO N., NICOLINI L.E.; CORRÊA, V.A.; **Modelagem do eixo árvore de uma bomba de pistões axiais swashplate em software CAD/CAE 3D,** 2012.

KOTHARI, P. **A review paper on design and analysis of leaf spring.** International Journal of Engineering Research, 2014.

LEAL, V.; **Estudo Cinemático de Suspensões Veiculares do Tipo Eixo de Torção.** Dissertação de Mestrado. PUC-Minas, Belo Horizonte, 2007

MAURIZIO DI PAOLO EMILIO. **Data Acquisition Systems: From Fundamentals to Applied Design.** 1 st Edition, U.S.A, Springer; 2013

MCROBERTS, Michael. **Arduino Básico-2ª edição: Tudo sobre o popular micro controlador Arduino.** Novatec Editora, 2015.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico.** Novatec Editora. São Paulo: Novatec, 2011

MERCADO LIVRE. **Suspensão eixo de torção bipartido 500kg para reboques.** [S. I.], 2019. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-772651848-suspensao-eixo-de-torcao-bipartido-500kg-para-reboques-JM>. Acesso em: 15 jan. 2019.

NAVEIRO, R. M.; ARAUJO, M. R. **Desenvolvimento de novos materiais e novos produtos na indústria automobilística.** [Rio de Janeiro], 1999. Disponível em: < http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENECEP1999_A0164.PDF>. Acesso em: 17 Dez., 2019.

PERSEGUIM, O. T.; **Dinâmica veicular relativa ao ride de veículos e métricas para sua avaliação.** 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PINTO, CLAUDEMIR SANTOS; DEGASPERI, FRANCISCO TADEU. **Desenvolvimento de uma interface para aquisição de dados experimentais utilizando o micro controlador Arduino UNO.** In: WORKSHOP DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO PAULO SOUZA. 2015.

PROCONCEPT SISTEMAS. **A História e a Evolução do Software CAD.** 2018. Disponível em: <http://www.proconcept.com.br/blog/a-historia-do-software-cad/> -. Acesso em: 03 mar. 2019.

OKABE, E. P., 2003, **Metodologia de projeto para desenvolvimento de suspensão veicular**, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas.

RAO, S. S. **Vibrações Mecânicas.** 1. ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2008.

REIMPELL, J., Stoll, H., and BETZLER, J.W. **The Automotive Chassis: Engineering Principles**, Ed. Butterworth Heinemann, Oxford University, 2001.

REZENDE, Jean Carlos Campos; BORGES, José Antônio Ferreira. **Desenvolvimento, projeto e construção de um protótipo de suspensão**

automotiva para bancada de laboratório. 13º POSMEC, FEMEC/UFU, Uberlândia-MG, 2003.

SHARMA, A. et al.; **Design and analysis of composite leaf spring** – a review. International Journal of Engineering Trends and Technology, 2014.

SPECK, H. J. **Proposta de método para facilitar a mudança de técnicas de projetos: da prancheta à modelagem sólida (CAD) para empresas de engenharia de pequeno e médio porte.** 2005. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SOARES, A. L. V. **Análise de conforto e elastocinemática das suspensões de duplo estágio de um veículo de competição off-Road em ambiente multi corpos,** 2005.

SOUZA, Antônio Carlos de et al. **AutoCad R14: Guia prático para desenhos em 3D.** Florianópolis: Ed. da UFSC, 1999.

SORIANO, H. L.; **Introdução à dinâmica das estruturas.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

STONE, Richard; BALL, Jeffrey K. **Automotive engineering fundamentals.** SAE Technical Paper, 2004.

TELECURSO 2000. **Curso Profissionalizante: Elementos de Máquina -Volume 2.** São Paulo: Globo. 2000.

UHLMANN, Carlos Eduardo. **Análise da influência da barra estabilizadora no ângulo de rolagem da suspensão dianteira de ônibus.** 2009.

WIKIMEDIA. **L'Obéissante de Amédée Bollée.** Disponível em: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/ff/Autobus_amedee-bollee.jpg>.

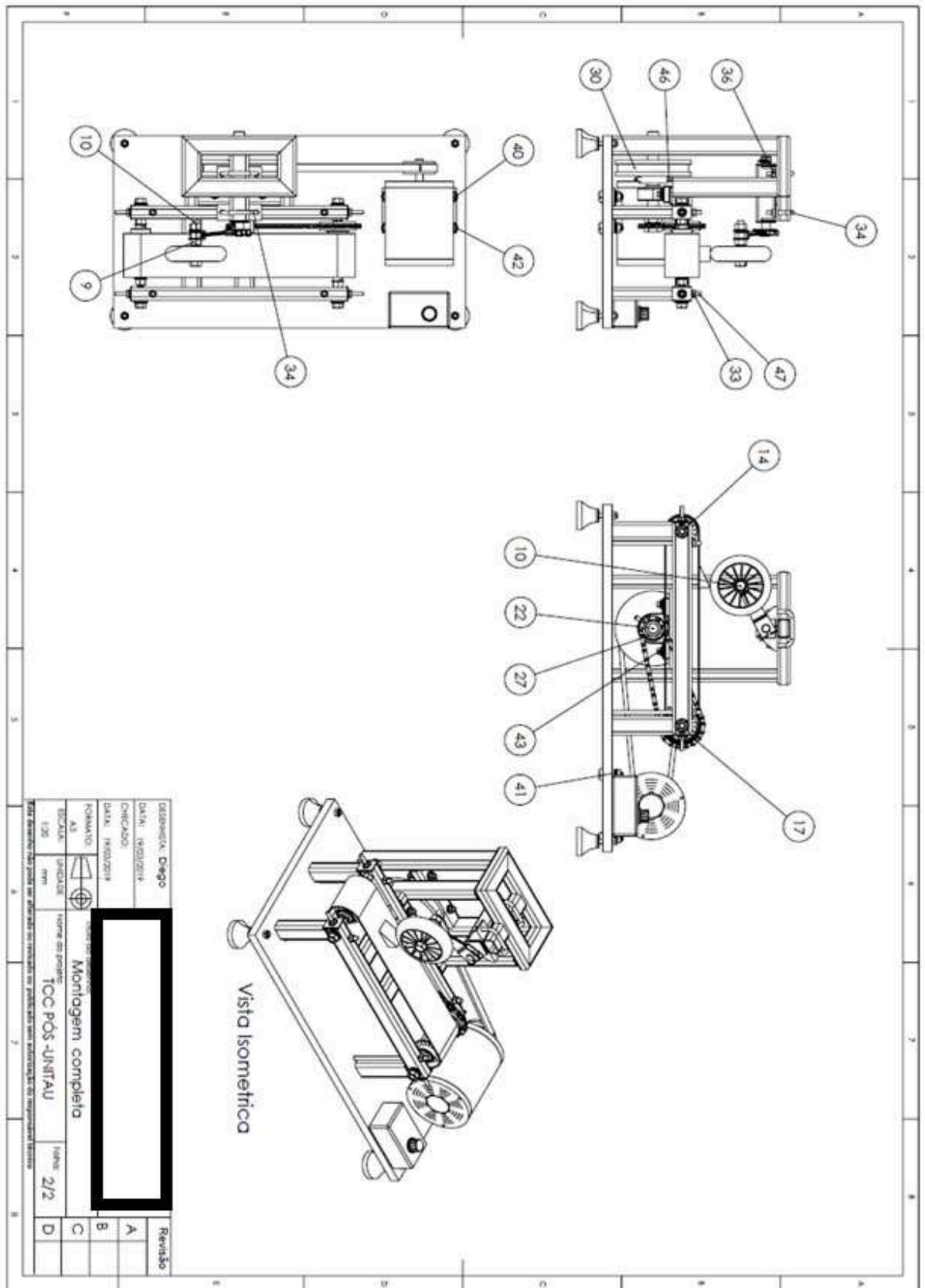
Acesso em: 21 jan. 2019.

APÊNDICE A

Vista explodida

Vista isométrica

| | | |
|--|--|-------------|
| 13 | Arruela plana | 3 |
| 12 | Parafuso M12 x 1,75 x 70 Hex SHCS -- 38MMX | 1 |
| 11 | Porca 1,75 --D-N | 3 |
| 10 | Roda 5" | 1 |
| 9 | Plugues de Silicone | 8 |
| 8 | Porca M6 x 1 | 1 |
| 7 | Parafuso M6 x1 x30 | 1 |
| 6 | Potenciometro PCI 10K | 1 |
| 5 | Tampão 30 x30 mm | 2 |
| 4 | Eixo | 1 |
| 3 | Braco | 1 |
| 2 | Canhoneira | 2 |
| 1 | Estrutura base | 1 |
| Nº DA PEÇA | | QTD. |
| Desenhista: Diego Data: 20/03/2019 Checado: Data: 20/03/2019 Formato: Escala: 1:20 Unidade: mm | | |
| Tíulo do desenho: Suspensão em escada reduzida Nome do projeto: TCC POS-UNITAU | | Folha: D |
| Este desenho não pode ser alterado ou revisto ou publicado sem autorização do responsável técnico | | |



| | | |
|--|-------------|------------|
| DESIGNER: Diego | | Revisão |
| DATA: 18/02/2019 | | A |
| CHARGADO: | | B |
| DATA: 18/02/2019 | | C |
| NOME DO PROJETO: Montagem completa TÍTULO: TOC PÓS-UNITAU | | D |
| ESCALA: 1:20 | FORMATO: A3 | FOLHA: 2/2 |