

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

Área de concentração: Projeto e Processos de Fabricação

Dissertação de Mestrado

**DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL DE UM SISTEMA
DE FREIO DE VEÍCULO BAJA OFF-ROAD**

FÁBIO ANDRÉ ZIN

Passo Fundo

2020



CIP – Catalogação na Publicação

Z77d Zin, Fábio André
Desenvolvimento conceitual de um sistema de
freio de veículo Baja Off-Road [recurso eletrônico] /
Fábio André Zin. – 2020.
10MB ; PDF.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Walber.
Dissertação (Mestrado em Projeto e Processos de
Fabricação) – Universidade de Passo Fundo, 2020.

1. Processos de fabricação. 2. Sistema de freio.
3. Veículo Baja. I. Walber, Márcio, orientador. II.
Título.

CDU: 621

Fábio André Zin

**DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL DE UM SISTEMA
DE FREIO DE VEÍCULO BAJA OFF-ROAD**

Orientador: Prof. Dr. Márcio Walber

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Passo Fundo
2020

FÁBIO ANDRÉ ZIN

**DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL DE UM SISTEMA
DE FREIO DE VEÍCULO BAJA OFF-ROAD**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Data de aprovação: 14/08/2020.

Os componentes da Banca examinadora abaixo aprovaram a Dissertação:

Professor Doutor Márcio Walber
Orientador

Professor Doutor Alexandre Aparecido Buenos
Universidade de Santa Maria

Professor Doutor Agenor Dias de Meira Junior
Universidade de Passo Fundo

Professor Carlos Edmundo de Abreu e Lima Ipar
Universidade de Passo Fundo

RESUMO

O freio é um dos principais sistemas de segurança aplicado em mecanismos de paradas. Assim, o sistema de freio automotivo foram aplicado em veículos fora de estrada “off-road” projetado para terrenos normais e acidentados, o que exige muita eficiência do sistema. O objetivo deste trabalho é realizar um procedimento para auxiliar participantes do projeto Baja SAE Brasil de todos os níveis acadêmicos a elaborar a seleção de componentes para um veículo leve denominado Baja, com características de uso Off-Road, utilizado em uma competição realizada pela SAE BRASIL. Para isso foi aplicado as etapas de planejamento e concepção de projeto conforme metodologia de projeto na engenharia descrita por Pahl e Beitz 2013, desenvolvendo seu conceito e simplificando assim, o projeto do sistema de freio, visando a redução de componentes, manutenção, inovação em tipos de materiais aplicados nos componentes do sistema e demonstrando alto desempenho, durabilidade, confiabilidade, e que preencham os requisitos solicitados no regulamento elaborado pela organização da competição. Após descarte de soluções demonstrados neste trabalho, resultou em uma variante de solução, que orientara o desenvolvimento do sistema de freio. Sendo assim o procedimento direcionara para a elaboração de um procedimento do sistema de freio para veículo Baja SAE Brasil.

Palavras Chave: Sistema de Freio, Veículo Baja, Freio, Sistema, Projeto

ABSTRACT

The brake is one of the main safety systems applied to stop mechanisms. Thus, the automotive brake system was applied to off-road off-road vehicles designed for normal and rugged terrain, which requires a lot of system efficiency. The objective of this work is to carry out a procedure to assist participants in the Baja SAE Brasil project at all academic levels to elaborate the selection of components for a light vehicle called Baja, with characteristics off-road use, used in an academic competition held by SAE BRAZIL. For this, the stages of planning and project design were applied according to the design methodology in engineering described by Pahl and Beitz 2013, developing their concept and thus simplifying the design of the brake system, aiming at the reduction of components, maintenance, innovation in types of materials applied to the system components and assembly time. This project requires that its components have high performance, durability, reliability, and that they meet the requirements requested in the regulations prepared by the competition organization. After discarding solutions demonstrated in this work, it resulted in a solution variant, which had guided the development of the brake system. Therefore, the procedure will lead to the elaboration of a brake system procedure for the Baja SAE Brasil vehicle.

Key words: Methodology, Low, Brake, System, Project

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Baja SAE Brasil.	21
Figura 2– Chicote elétrico com solda em estanho no terminal elétrico.....	25
Figura 3 – Fatores que influenciam no desenvolvimento do Sistema de freio.	26
Figura 4 – Sistema de freio a tambor.	27
Figura 5 – Sistema de freio a disco.	29
Figura 6 – Tipos de disco de freio.	29
Figura 7 – Pinça flutuante.....	31
Figura 8 – Pinça fixa.	32
Figura 9 – Comportamento do retentor de vedação.	33
Figura 10 – Pastilha de freio e suas camadas constituintes.	34
Figura 11 – Cilindro mestre de freio e suas camadas constituintes.	36
Figura 12 – Cilindro mestre dupla ação.....	36
Figura 13 – Tipos de Circuito Hidráulico.	39
Figura 14 – Tubo de freio Rígido.....	39
Figura 15 – Tubo de freio Flexível.....	40
Figura 16 – Aeroquip.	40
Figura 17 – Pedal de freio.....	41
Figura 18 – Grafico de Variaveis de Temperatura final.....	42
Figura 19 – Gráfico de Coeficiente de atrito.....	43
Figura 20 – Gráfico de coeficiente de atrito.....	43
Figura 21 – Esquema hidráulico com válvula proporcional.....	44
Figura 22 – Válvula proporcional ajustável.	45
Figura 23 – Válvula equalizadora tipo alavanca.	45
Figura 24 – Válvula equalizadora tipo parafuso.	46
Figura 25 – Barra de equilíbrio.	47
Figura 26 – Coeficiente de atrito pneu pista	48
Figura 27 – Evolução do processo de desenvolvimento de produto em suas quatro fases.....	51
Figura 28 – Etapas de trabalho principais no planejamento e na concepção.	52
Figura 29 – Etapas de trabalho para a fase de concepção.	53
Figura 30 – Etapas de trabalho segundo a metodologia aplicada.....	57
Figura 31 – Linha mestra do projeto do sistema de freio.....	58
Figura 32 – Função global.....	64
Figura 33– Estrutura de funções: subfunções relacionadas ao projeto	65
Figura 34 – Concepção do projeto do sistema de freio.....	77
Figura 35 – Proposta para projeto conceitual.	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Regulamento SAE Brasil.....	23
Quadro 1 – Regulamento SAE Brasil (continuação).....	24
Quadro 1 – Regulamento SAE Brasil (continuação).....	25
Quadro 2 – Características desejadas para o dispositivo	59
Quadro 3 – Lista de requisitos do projeto.....	60
Quadro 3 – Lista de requisitos do projeto (continuação).....	61
Quadro 4 – Características e justificativa da lista de requisitos	61
Quadro 4 – Características e justificativa da lista de requisitos (Continuação)	62
Quadro 5 – Abstração.....	63
Quadro 6 – Matriz morfológica com soluções para cada função.....	69
Quadro 6 – Matriz morfológica com soluções para cada função.....	70
Quadro 7 – Procedimento concepção do sistema de freio.	76
Quadro 8 – Componente selecionados para o projeto de freio.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades de materiais de fricção.	35
Tabela 2 – Ponto de ebulição do fluído de freio.....	37
Tabela 3 - Coeficiente de atrito para pneus em pisos secos e molhados, a velocidade de 48km/h.	49
Tabela 4 – Soluções para funções principais	72
Tabela 4 – Soluções para funções principais (continuação)	73
Tabela 4 – Soluções para funções principais (continuação)	74

LISTA DE ABREVIATURAS

2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
PDP	Projeto de Produto
USP	Universidade de São Paulo
VDI	Verein Deutscher Ingenieure (<i>Associação dos Engenheiros Alemães</i>)
ABS	<i>Anti-lock Braking System</i>
EBD	<i>Electronic Brake Distribution</i>
ESC	<i>Electronic Stability Control</i>
SAE Brasil	Sociedade Automotiva de Engenharia do Brasil.

LISTA DE SÍMBOLOS

G	Peso total concentrado no CG
R_{0I}	Reação do eixo dianteiro medida com o carro na horizontal
R_{0II}	Reação do eixo traseiro medida com o carro na horizontal
α	Ângulo de inclinação
r_0	Distância eixo de rolagem até o CG
C	Razão de Pedal
$R'I$	Reação do eixo dianteiro medida com o carro na horizontal
$R'II$	Reação do eixo traseiro medida com o carro na vertical
$D1$	Distância entre o ponto de fixação do pedal e o centro do eixo do <i>pushrod</i>
$D2$	Força de acionamento realizada pelo operador
μ_e	Coefficiente de atrito
μ_{epneu}	Coefficiente de atrito pneus
M	Massa
V_0	Velocidade inicial
SD	Distância de parada
Q_r	Resistência ao rolamento
f	Coefficiente de resistência ao rolamento
F_{xt}	Total de todas as forças de desaceleração longitudinal do veículo
t_s	Tempo de parada
μ_p	Coefficiente de atrito de pista
m	Metro
F_f	Força de Frenagem
F_{fI}	Força de frenagem eixo dianteiro
F_{fII}	Força de frenagem eixo traseiro

Dx	Desaceleração
Qa	Resistência ao aclone
FI	Força de inércia
Qs	Resistência ao aclone
Fz	Força de sustentação
ML	Momento devido a resistência aerodinâmica e a força de sustentação
ΔG	Transferência de carga
Nr	Força de reação normal atuando no eixo traseiro
$rpneu$	Raio do pneu
FdI	Força de atuação das pastilhas sobre os discos de freio dianteiro
$FdII$	Força de atuação das pastilhas sobre os discos de freio Traseiro
h	Altura do centro de massa CG
l	Distância entre eixos
aI	Distância do eixo dianteiro até o centro de massa
aII	Distância do eixo traseiro até o centro de massa
\emptyset	Diâmetro
Acp	Área do cilindro da pinça de freio
μ_{past}	Coeficiente de atrito pastilha
Acm	Área do pistão do cilindro mestre
Fcm	Força necessária a ser aplicada no cilindro mestre
Ts	Tempo de parada
J	Joules
W	Watts
\mathcal{E}	Índice de Frenagem
ω	Velocidade Angular

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Contexto.....	15
1.2 Justificativa.....	17
1.3 Objetivo do trabalho	17
1.3.1 Objetivos específicos.....	17
1.4 Metodologia da pesquisa	18
1.5 Estrutura do documento.....	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 Métodos para desenvolvimento de produtos e projeto	20
2.1.1 Baja SAE Brasil.....	21
2.1.2 Regulamento do sistema de freio do baja SAE Brasil.....	23
2.1.3 Prova de frenagem.....	25
2.2 Sistema de Freio	26
2.3 Tipos de freios	27
2.3.1 Freio a tambor.....	27
2.3.2 Freio a disco.....	28
2.4 Procedimentos metodológicos de desenvolvimento de produtos.....	49
2.4.2 Metodologia Pahl, Beitz.	50
2.4.2 Brainstorming.....	54
2.5 Conclusão da Revisão.....	54
3 DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO DO PROJETO DE FREIO.....	56
3.1 Fase 1: Especificação do projeto	57
3.1.1 Linha mestra	57
3.1.2 Especificação da lista de requisitos	59
3.2 Fase 2: Projeto conceitual.....	62
3.2.1 Abstração	63
3.2.2 Elaboração da função global e da estrutura de funções.....	63
4 APRESENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DO CONCEITO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	68
4.1 Avaliação das variantes	68
4.2 Resultados e discussões	74
5 CONCLUSÃO.....	80
REFERÊNCIAS	82

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo introdutório, o tema do trabalho é apresentado através de uma descrição contextual dos objetivos, da justificativa e da metodologia utilizada para seu desenvolvimento.

1.1 Contexto

Os automóveis e outros veículos de transporte passaram ao longo dos anos por diversas mudanças e aprimoramentos tecnológicos, sendo motivadas por fatores que buscam a melhor performance de uma locomoção mais confortável e segura. Com o maior acesso da população a veículos automotores, assim a engenharia teve de se desenvolver a fim de alcançar níveis de segurança mais rigorosos. Para associar a segurança à eficiência da frenagem, os sistemas de freio tendem a ser aprimorados no mesmo ritmo, gerando a possibilidade de diversas pesquisas sobre o assunto.

Criado para alunos de engenharia de todos os níveis acadêmicos e com o intuito de aplicar os conhecimentos adquiridos em sala de aula foi criado o projeto estudantil Baja SAE Brasil, devido aos projetos ser elaborados para alunos de todos os níveis acadêmicos criou-se a necessidade de desenvolver um procedimento para orientar os alunos. Todos os anos a equipes universitárias participam de competições em níveis regionais, nacionais e mundial, as quais devem cumprir todas as regras do regulamento proposto. O maior desafio para o sistema de freio é atender o regulamento da competição é elaborar a frenagem nas quatro rodas o qual é composto por avaliações de caráter eliminatório visando a segurança do usuário.

Segundo Pinto (2014) pode se observar a evolução dos sistemas, o qual levou a criação de dois tipos, estes bem difundidos na indústria automobilística, os freios a tambor e os a disco. Em 1901 o automóvel Maybach recebeu o sistema pela primeira vez, este criado pelo francês Louis Renault em 1902. Já o sistema de freio a disco veio a ser aplicado e patenteado pelo inglês Frederick Lanchester em 1902, em um veículo Lanchester 20 HP.

Segundo Talati e Jalalifar (2009) freios são mecanismos que quando atuados produzem energia para elaborar a frenagem. Para Narayana *et al* (2014) durante a frenagem o sistema de freio faz com que a energia cinética é transformada em energia mecânica, esta dissipada em forma de calor. De acordo com Makrahy *et al* (2013) os freios tem o objetivo de diminuir ou estabilizar a velocidade de um veículo, e quando necessário fazer com que ele fique imóvel. Já Limpert (2011), afirma que para o veículo se manter com contato com o solo menciona que um veículo se mantém conectado à estrada devido às forças de aderência produzidas pelos pneus.

A operação segura de um veículo motorizado requer contínuo ajuste de sua velocidade às mudanças das condições de tráfego.

Segundo Limpert (2011), existem dois tipos de freios de veiculares este nomeados como: freios a tambor e freios a disco. Limpert (2011) demonstra que a principal característica do freio a disco o pequeno efeito fade durante sua operação, ou seja, o superaquecimento chega a temperaturas da ordem de 800 a 900°C assim, tendo um nesta faixa de temperatura uma pequena perda de eficiência. Comparado com o freio a disco, os freios a tambor perdem eficiência a uma temperatura de 400 a 427°C. Para Rehkopf e Halderman (2006), um dos principais problemas relacionados ao freio a disco é o ruído, destaca também que o número de componentes do freio a disco, o peso e a sua manutenção são fatores positivos quando comparados ao freio a tambor.

Segundo a Fras-le sistema de freios (2020), o sistema de freios tem vários componentes os quais são fundamentais para a levar o veículo a paradas bruscas ou diminuição de velocidade.

A diminuição de velocidade ocorre quando uma força é aplicada ao pedal de freio, este atua diretamente o fluido incompressível que está no cilindro mestre e assim pressuriza o sistema transmitindo o uma pressão nas linhas e pinças de freio fazendo com que a pastilhas exerçam uma força sobre o disco de freio.

Segundo Pinto (2017) a pastilha e o disco de freio devem-se ter uma para garantir a frenagem do veículo deve-se ter uma ação mutua. Assim para uma melhor eficiência vários estudos foram elaborados relacionados a tribologia dos materiais.

No automobilismo o sistema de freio é um componente fundamental para a performance de veículo. Porém, existem dois problemas principais relacionados ao sistema de freio a disco: superaquecimento e surgimento de trincas no disco de freio.

Atualmente os freios são compostos de sistemas tecnológicos que vem a agregar segurança durante a pilotagem. São eles: *ABS (Anti-lock Braking System)*, *EBD (Electronic Brake Distribution)*, *ESC (Electronic Stability Control)*.

Nesse cenário atual de mercado onde prima-se pela eficiência, qualidade e produtos economicamente viáveis, as ferramentas de metodologia de projeto e desenvolvimento de produtos são aliadas para realização de projetos que sejam planejados, com resultados satisfatórios gerando produtos com confiabilidade, e novas tecnologias com plano e etapas de trabalho bem definidos.

1.2 Justificativa

O projeto Baja Sae é desenvolvido para acadêmicos dos cursos de engenharia, devidamente matriculados a universidade.

A competição é elaborada para competidores de nível acadêmico, abrangendo alunos do primeiro ao último semestre, tendo em vista a necessidade de orientar estes alunos, o trabalho vem justificar a necessidade desenvolver um procedimento para orientar os participantes independente do nível que estejam cursando, ou de conhecimento através do desenvolvimento de um procedimento utilizando a metodologia conceitual.

O projeto do sistema de freio definido no presente trabalho consiste num importante desafio, que vem buscando soluções de diversas maneiras para elaboração de um projeto robusto selecionando os componentes ideais para aplicação e utilização durante a competição.

Sendo assim, a forma de contribuição encontrada e elaborada para minimização de falhas do sistema que venham a prejudicar durante a competição foi o desenvolvimento de um projeto conceitual para a seleção de componentes.

Tendo em vista que a elaboração e execução dos projetos são executadas por alunos dos cursos de engenharia mecânica e elétrica que na maioria das vezes tem seu contato com este tipo de experiencia que envolve o projeto e execução do sistema de freio através da participação do projeto estudantil ministrado pela SAE Brasil, visualizando esta condição se fez necessário a elaboração de um procedimento para auxiliar os participantes do projeto.

1.3 Objetivo do trabalho

O objetivo geral deste estudo é elaborar o procedimento de um desenvolvimento conceitual do sistema de freio para veículo baja SAE Brasil utilizado em competições universitárias com o intuito de orientar os participantes do projeto para o desenvolvimento, compreensão do regulamento vigente da competição e desenvolvimento do sistema de freio.

1.3.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos consistem em:

- a) Criar um procedimento para orientar acadêmicos para elaborar um projeto do sistema de freio;
- b) Desenvolver o conceito do sistema de frenagem utilizando uma metodologia de desenvolvimento de produtos;
- c) Selecionar componentes e materiais para o projeto.

1.4 Metodologia da pesquisa

O desenvolvimento do sistema de freio para veículo baja SAE Brasil foi concebido através do emprego da metodologia proposta por Pahl *et al.* (2005) para projetos de engenharia. Essa metodologia de pesquisa é formada por quatro fases. Neste trabalho foram aplicadas as duas primeiras: especificação de projeto e projeto conceitual. Estas etapas, somam-se a aplicação de outras metodologias auxiliares. As fases metodológicas deste trabalho desenvolvem-se da seguinte forma:

- **Primeira fase (especificação de projeto):** nesta fase utilizam-se ferramentas de projeto que auxiliam na tomada de decisões, estabelecendo-se uma linha mestra que contribui para fundamentar a criação da lista de requisitos e todo o embasamento teórico para o desenvolvimento do trabalho.
- **Segunda fase (projeto conceitual):** nesta fase desenvolve-se a lista de concepções alternativas e as análises quantitativas e qualitativas das soluções das diferentes subfunções que cada parte do dispositivo deve realizar, com o objetivo de escolher a melhor concepção final para o mesmo.

1.5 Estrutura do documento

Esta pesquisa está disposta em cinco capítulos delineados da seguinte forma:

- a) Capítulo 1 – é constituído da introdução da pesquisa, justificativas, motivações, bem como objetivo geral e específico, assim como a estruturação do trabalho e trata da temática a ser abordada através do levantamento dos conteúdos introdutórios.
- b) Capítulo 2 – engloba o referencial teórico utilizado para embasar o desenvolvimento do trabalho, inicialmente com conceitos de projeto conceitual na engenharia e metodologia para desenvolvimento de projeto.
- c) Capítulo 3 – apresenta o procedimento metodológico adotado através do desenvolvimento do trabalho em duas fases: especificação do projeto e projeto conceitual, somadas a aplicação das metodologias auxiliares, todas as equações envolvidas para o desenvolvimento ideal do dimensionamento do sistema de freio; também apresenta o descritivo da instrumentação laboratorial utilizada e o que se

espera evidenciar com sua utilização. Abordará ainda as condições de contorno utilizadas em uma simulação de frenagem.

- d) Capítulo 4 – apresenta a avaliação, o projeto conceitual do dispositivo e cálculos do sistema de freio e discussão dos resultados obtidos no desenvolvimento do trabalho;
- e) Capítulo 5 – é reservado às considerações finais, bem como às sugestões de trabalhos futuros oriundos do projeto conceitual realizado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A presente pesquisa é voltada ao desenvolvimento conceitual de um sistema de freios para veículo baja SAE Brasil, e este capítulo contempla o embasamento teórico interdisciplinar considerado necessário para seu desenvolvimento. Num primeiro momento, deverá atender alguns requisitos gerais do veículo como dimensionamentos, concepção do motor, capacidade ergonômica e também alguns requisitos mínimos de segurança conforme norma RATBSB2 emenda 2, dentre outras (SAE BAJA BRASIL, 2019). Conforme item B9 descrito no regulamento, especifica que o veículo deve ser equipado com um sistema de freio hidráulico, atuante em todas as rodas, que seja capaz de travar todas as rodas, em condição estática e dinâmica, em ruas pavimentadas e não pavimentadas, sendo acionado por um único pedal que deverá atuar diretamente no cilindro mestre por conexão rígida. Durante todo o andamento da competição o sistema estará sujeito a inspeções de funcionamento para garantia da segurança na competição. Como o sistema solicitado é independente, em casos que apresente falhas, este sistema deverá ser capaz de realizar a frenagem sendo acionado apenas por um pedal, o qual sustenta as justificativas da relevância deste estudo, somadas à apuração de alguns exemplares deste tipo de dispositivo existentes na atualidade. Na sequência são apresentados alguns conceitos que viabilizam o processo organizado e sistemático para um projeto de produto e seleção de materiais, bem como para auxiliar no desenvolvimento.

2.1 Métodos para desenvolvimento de produtos e projeto

Muitos projetos estudantis não possuem metodologia para nortear, assim, durante o desenvolvimento muitas informações acabam sendo perdidas ao longo do trabalho, tornando o processo de desenvolvimento do projeto dispendioso, dificultando e desviando da melhor solução em razão de ideias formadas, sendo que as ideias e soluções em função da adoção de pré-conceitos e concepções formadas, sendo que as melhores ideias e mais econômicas podem ser formadas através do emprego de novas matérias, processos e tecnologias.

Os aspectos de planejamento e projeto são baseados em um conceito amplo para o desenvolvimento do produto, nele é elaborado uma sequência para o estudo do processo de todas as atividades, desde a pesquisa de mercado, o projeto do produto, o projeto de processo de fabricação, plano de distribuição e de manutenção até o descarte ou desativação do mesmo.

Sendo assim pode-se entender com um conceito para o desenvolvimento de produto identificando todas as necessidades para elaborar a produção e uso do produto.

Efetuada por uma equipe multidisciplinar o desenvolvimento integrado do produto demonstra as transformações e gerações de informações relacionadas a restrições e soluções, para todas as fases do processo que devam ser considerados ou pensados simultaneamente.

O termo engenharia simultânea também será usado para expressar o desenvolvimento integrado do produto. Engenharia simultânea é a tradução adotada para *concurrent engineering*.

O projeto do sistema de freio automotivo para veículos off Road necessita de métodos e técnicas da engenharia para encontrar soluções de problemas relacionados a eficiência de frenagem. Trata-se de uma área em que se trabalha de forma interdisciplinar para o estudo dos sistemas de freio e seus componentes.

2.1.1 Baja SAE Brasil

Para a SAE BRASIL (RATBSB), o projeto SAE Baja é uma competição entre Instituições de Ensino Superior de Engenharia que desafia estudantes através do projeto e desenvolvimento de um veículo off road, visando à aplicação prática dos conhecimentos adquiridos em sala de aula.

O veículo é projetado através dos subsistemas de estrutura, powertrain, suspensão, direção, elétrica, freio, designer, ergonomia, vendas e marketing estes devem ser projetados conforme o regulamento da SAE Brasil. Na Figura 01 observa-se alguns dos subsistemas.

Figura 1– Baja SAE Brasil.



Fonte: Regulamento Baja SAE BRASIL (2019).

O veículo desenvolvido deve ser atrativo ao mercado consumidor pelo seu visual, desempenho, confiabilidade e facilidade de operação e manutenção. Além disso, deve ser fabricado com ferramental padrão, requerendo pouca ou nenhuma mão-de-obra especializada. A operação segura do veículo deve ser uma consideração essencial na definição do projeto.

O veículo deve ser capaz de operar seguramente sobre terrenos acidentados, incluindo pedras, areia, troncos de árvore, lama, grandes inclinações e lâminas de água em qualquer ou todas as combinações e em qualquer condição climática.

O setor Suspensão e Direção é responsável pelo comportamento dinâmico adequado para o protótipo. O *Powertrain* é responsável pelo projeto de toda a cadeia cinemática, ou seja, todos os elementos que levam torque do motor para as rodas. O subsistema Freio tem como objetivo reduzir a rotação das rodas e conseqüentemente a velocidade do protótipo. O Design e Ergonomia é responsável em garantir segurança e conforto ao piloto, bem como a funcionalidade do chassi e um design atraente ao público alvo mantendo a identidade visual da equipe através de seus protótipos. O subsistema Elétrica é responsável pelo projeto do sistema de luz de freio, corte da ignição do motor e aquisição de dados que captam a rotação do motor, velocidade, temperaturas, nível de combustível, gerando um painel de informações. O subsistema de Estruturas é responsável por projetar o chassi e garantir o alto desempenho e auxiliar na otimização dos projetos de outros subsistemas, buscando, principalmente, evitar possíveis falhas. O subsistema Vendas e Marketing é responsável pelo controle dos recursos financeiros da equipe, garantir a satisfação do consumidor, criar Plano de Negócios pela busca de patrocínios e apoios, e divulgar o trabalho da equipe.

2.1.2 Regulamento do sistema de freio do baja SAE Brasil

Observa-se no Regulamento Baja SAE BRASIL (RATBSB) – emenda 2 os requisitos mínimos para o projeto e desenvolvimento do sistema de freio segue no Quadro 01 os itens e subitens exigidos.

Quadro 1 – Regulamento SAE Brasil.

Regulamento SAE BRASIL (RATBSB) – emenda 2	
Item / Subitens	Descrição
B9.1	O freio principal é citado e demonstra as seguintes condições para aplicação no veículo baja;
B9.1.1	O veículo deve possuir um sistema de freio hidráulico que atue em todas as rodas e seja atuado por um único pé. O pedal deve atuar diretamente o cilindro mestre por uma conexão rígida, isto é, cabos não são permitidos. O sistema deve ser capaz de travar todas as rodas, tanto em condição estática como em movimento em superfícies pavimentadas e não pavimentadas;
B9.1.2	A efetividade do sistema de freio será verificada ao longo de toda a competição. Se falhas forem detectadas, o veículo será removido da competição até que o problema seja resolvido;
B9.2	Circuitos de freios independente;
B9.2.1	O sistema de freios deve ser segregado em ao menos dois circuitos hidráulicos independentes de tal forma que, mesmo com qualquer falha ou vazamento em um ponto do sistema, a capacidade de frear efetivamente seja mantida em pelo menos duas rodas;
B9.3	Posicionamento dos freios;
B9.3.1	Os freios no eixo motor devem atuar no eixo final, ou seja, no eixo das rodas. Freios centrais atuando nas rodas por meio de semieixos são permitidos. Freios atuando em eixos de transmissão intermediários são proibidos;
B9.4	Cutting brakes (freios de corte);
B9.4.1	Freios complementares que atuam seletivamente em algumas rodas, são permitidos desde que a seção B9.1 também seja cumprida. Um freio principal deve ser capaz de travar as quatro rodas
B9.4.2	Sendo operado por um único pé. Nenhum freio, incluindo cutting brakes, pode operar sem que a luz de freio se ilumine;
B9.5	Linhas de freio pode-se observar os requisitos mínimos para a construção;
B9.5.1	Todas as linhas de freio devem ser firmemente fixadas e não passar por baixo do veículo, por exemplo, em baixo da gaiola, braços de suspensão ou eixos oscilantes;

Fonte: SAE Brasil (2019).

Quadro 2 – Regulamento SAE Brasil (continuação).

Regulamento SAE BRASIL (RATBSB) – emenda 2	
Item / Subitens	Descrição
B9.5.2	As linhas não podem encostar em arestas cortantes;
B9.5.3	As linhas devem possuir faixa de movimento completa com o movimento da suspensão e direção e não serem esmagadas por outras peças em nenhuma posição;
B9.5.4	As linhas nunca podem ser carregadas em tração com o movimento da suspensão e direção;
B9.5.5	As linhas precisam ser projetadas para a pressão esperada no sistema de freio, e devem ser quimicamente compatíveis com o fluido de freio utilizado;
B9.5.6	Linhas de freio de plástico são estritamente proibidas;
B3.1.1	O sistema elétrico deve incluir pelo menos duas chaves gerais, uma luz de freio e uma bateria. As chaves gerais devem desativar a ignição do motor;
B3.3	Demonstra os requisitos das chaves gerais do veículo assim demonstrando que no subitem;
B3.3.2	A luz de freio e a luz e alarme de marcha ré não podem ser desativados pela chave geral, sendo assim quando a mesma estiver na posição off o sistema elétrico relacionado à luz de freios e a sirena da marcha ré deve continuar funcionando;
B3.4	Os requisitos solicitados para aplicação da luz de freio;
B3.4.1	O veículo deve ser equipado com uma luz de freio, de tecnologia LED, reconhecidamente automotiva;
B3.4.2	Alternativas são apresentadas no subitem estas também são aceitas para aplicações de luzes de freio dos seguintes modelos específicos: <ul style="list-style-type: none"> • Polaris # 2411450; • Polaris # 2411099; • Polaris # 2411092-432; • Haul-Master # 93263; • Command Electronics # 003-6018R; • Command Electronics # 003-6016
B3.4.3	O regulamento solicita que a luz deve acender quando o freio for acionado e apagar completamente quando o freio for desacionado;
B3.4.4	A luz de freio deve estar montada a, no mínimo, 1,0 m de altura a partir do solo na altura estática de rodagem, e o fecho de luz direcionado paralelo ao chão, ou levemente descendente, não podendo ser direcionada ascendente;
B3.4.5	O estado da luz de freio deve ser facilmente distinguível a uma distância mínima de 20 m, em um dia ensolarado;
B3.5	Requisitos mínimos para a instalação do interruptor da luz de freio;

Fonte: SAE Brasil (2019).

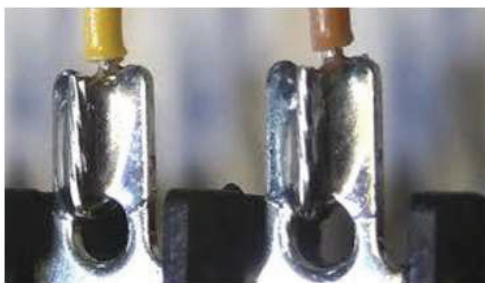
Quadro 3 – Regulamento SAE Brasil (continuação).

Regulamento SAE BRASIL (RATBSB) – emenda 2	
Item / Subitens	Descrição
B3.5.1	a luz de freio deve ser ativada por meio de interruptor de pressão hidráulica. Cada circuito hidráulico independente de freio deve ser equipado com um interruptor de luz de freio. Isso significa que cada veículo deve possuir pelo menos dois interruptores de pressão hidráulica e os interruptores devem estar conectados eletricamente de tal forma que a falta de pressão em uma linha não impeça a luz de freio de acender;
B3.5.2	Os interruptores de acionamento mecânico não são permitidos, as conexões elétricas;
B3.5.3	O sensor de pressão com o restante do chicote do veículo deve ser feito através do conector específico pretendido pelo fabricante, ou soldado adequadamente Figura 02.

Fonte: SAE Brasil (2018).

Conforme o item B3.5.3 pode-se visualizar na Figura 02, um exemplo de um item mencionado nos requisitos do regulamento, demonstrando a forma correta para soldar os terminais elétricos, a norma explica didaticamente todos os itens ilustrando qual o método deve ser utilizado para garantir que as normas do regulamento sejam cumpridas.

Figura 2– Chicote elétrico com solda em estanho no terminal elétrico.



Fonte: Regulamento Baja SAE BRASIL (2019).

2.1.3 Prova de frenagem

A prova de frenagem é determinante para competição. Nela verifica-se a eficiência de frenagem do Baja. O veículo é acelerado até uma velocidade e distância pré-determinada, sobre a pista pavimentada ou não pavimentada. Em seguida, deve desacelerar até a imobilidade, dentro de um espaço demarcado, cumprindo o requisito de que as quatro rodas devem ser travadas.

Por tanto, conforme a SAE Brasil (2019) o protótipo deve cumprir o requisito do regulamento de possuir um sistema de freios hidráulicos e que sejam corretamente

dimensionados para que o veículo e travar as quatro rodas, está prova tem avaliação eliminatória, fazendo com que o veículo seja reprovado caso não efetue as normas do regulamento. A distância e a velocidade são determinadas pela comissão organizadora.

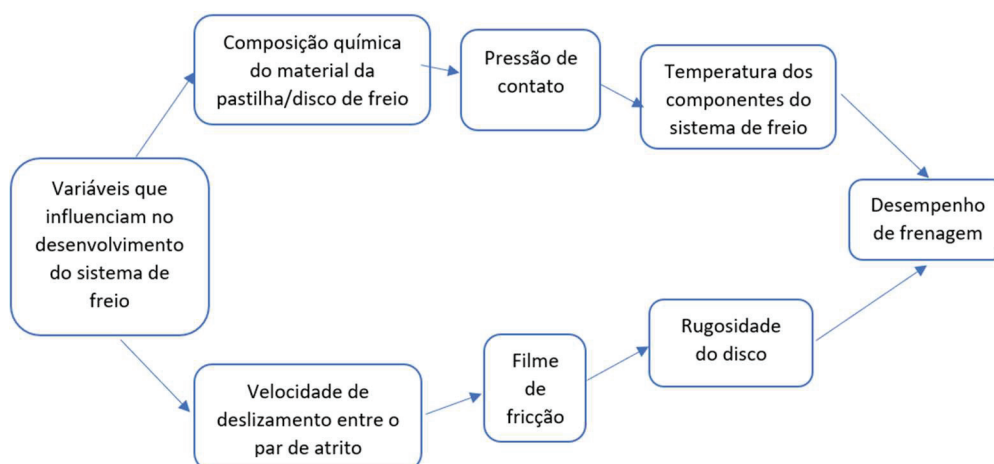
As normas de segurança segundo SAE Brasil (2019) exigem que os sistemas de freio seja a prova de falhas, ou seja, tenha a menor possibilidade de falha devido a ser um sistema de extrema importância para os veículos automotores.

2.2 Sistema de Freio

Para Neis (2012) os fatores que estão relacionados ao desempenho do sistema de freio são relacionados ao desgaste e atrito dos materiais, estes estão relacionados diretamente a microestrutura e composição química das pastilha e discos de freio, a velocidade de deslizamento dos componentes, as forças de contato, temperaturas, rugosidade do disco e condições térmica.

Para Pinto (2017) em relação aos fatores que influenciam no desempenho do freio – indivíduo *versus* produto técnico – abordando-se neste trabalho dando ênfase aos danos mais recorrentes resultantes dessa interface. As variáveis que influenciam no desenvolvimento do sistema de freio do produto são quantificadas de acordo com o tipo do material utilizado e suas respectivas propriedades gerais, a exemplo dos componentes selecionados, resistência mecânica e aplicações (Figura 3).

Figura 3 – Fatores que influenciam no desenvolvimento do Sistema de freio.



Fonte: Pahl (2005, adaptada).

De acordo com Xiao *et al.* (2016) as características dos materiais, as condições de frenagem, de contorno, tribológicas e estruturais afetam diretamente no comportamento do

atrito e do desgaste dos componentes de freio. Para Xiao *et al.* (2016), a vários fatores conhecidos devido a estudo dos colaboradores pois há várias limitações teóricas e tecnológicas que não são conhecidas.

2.3 Tipos de freios

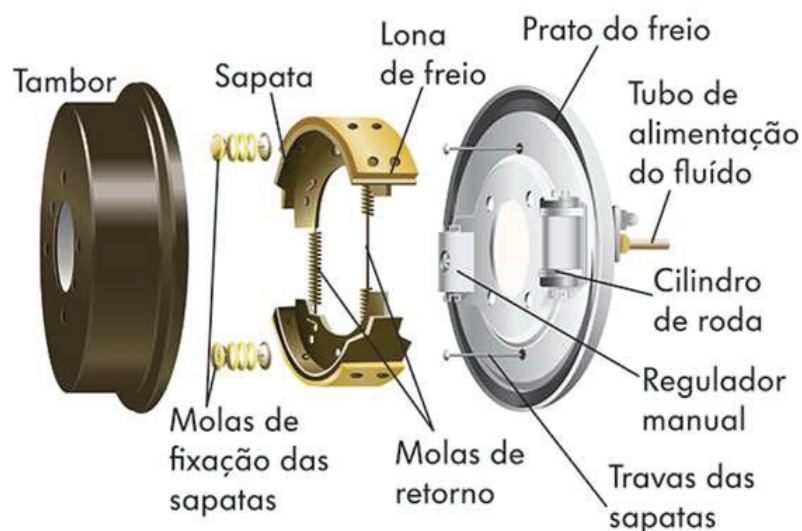
Segundo ASSOBRAV (2018), o freio é um dos elementos mais importantes que compõem os componentes de um veículo, estes podem ser exemplificados e caracterizados como freio a disco e a tambor.

2.3.1 Freio a tambor

Segundo Diulgheroglo (2007), o freio a Tambor foi inventado por Louis Renault em 1902. Foram os primeiros freios utilizados em veículos automotores e até hoje é muito utilizado nos carros mais populares, o sistema de freio a tambor foi montado primeiramente no eixo traseiro em virtude dos materiais e geometria da época.

O sistema de freio a tambor e composto por cilindro hidráulico de roda, sapata de freio, molas de fixação das sapatas, molas de retorno, tubo de alimentação de fluido, prato ou espelho de freio (*Backing plate*), regulador de freio e travas das sapatas. Estes se visualizam na Figura 4, a qual mostra o sistema de freio a tambor e seus componentes.

Figura 4 – Sistema de freio a tambor.



Fonte: Dpk (2019), adaptado pelo autor.

Segundo Costa (2002), os freios a tambor foram desenvolvidos de modo que a chuva, neve, gelo e as impurezas de estrada de terra não entrem em contato com as sapatas de freio e

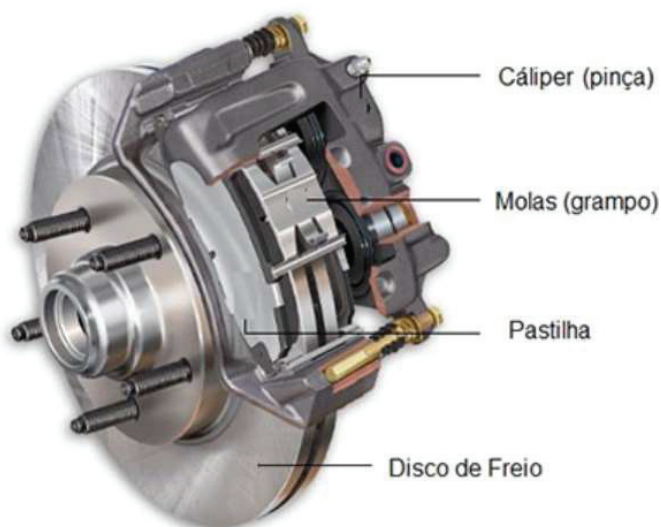
o tambor, já que o sistema não é totalmente estanque, e em pavimentos inundados fica úmido. Devido ao sistema de freio ser construído para que o mesmo não entre em contato interperes, o sistema sofre com a troca de calor com o ambiente e a umidade, o qual quando exigido por um longo período superaquece provocando uma significativa perda de eficiência e quando úmido e solicitado ao motorista que acione para com o atrito produzido entre as sapatas de freio e o tambor eliminem a umidade, pois, ela faz com que o sistema também perda eficiência. Devido à atuação da sapata e seus atuadores classifica-se os diferentes tipos de freio a tambor, tipos de freios a tambor com atuação hidráulica: Freio Simplex, Freio Duplex, Freio Uni-Servo, Freio Duo-Servo.

2.3.2 Freio a disco

Segundo Diulgheroglo (2007) o freio a disco foi inventado Browett & Harrison para bicicletas em 1876 e reinventado por Frederick Lanchester (1902) equipado em 1910 o Lanchester 20 HP, primeiro automóvel por freio a disco no eixo traseiro. Os freios a disco chegaram a Europa em 1955 e entraram em produção seriada de automóveis. Segundo Maurice Hardy, pesquisador americano, os primeiros carros com freio a disco vinham com um aviso “*Warning – Disc Brakes*”. Este aviso informava que o veículo está equipado com um novo sistema de Freio e poderia parar muito mais rápido. Muitos veículos vinham equipados com rotores (discos) ventilados ou não. Os rotores ventilados permitem que o ar passe por aletas projetadas para refrigeração rápida do sistema.

O freio a disco é um sistema simples de construir quando comparado ao freio a tambor e utiliza menos componentes para a montagem. Possuem melhor desempenho do que os freios a tambor e melhor resposta durante a frenagem. Um sistema de auto ajuste bem dimensionado e maior grau de recuperação térmica, pois dissipam mais rapidamente o calor para o ambiente em função de o sistema ser aberto. Na Figura 5 visualiza-se o sistema do freio a disco e seus componentes. O sistema de freio a disco é composto basicamente por três componentes básicos: o disco, a pinça, e as pastilhas de freio.

Figura 5 – Sistema de freio a disco.

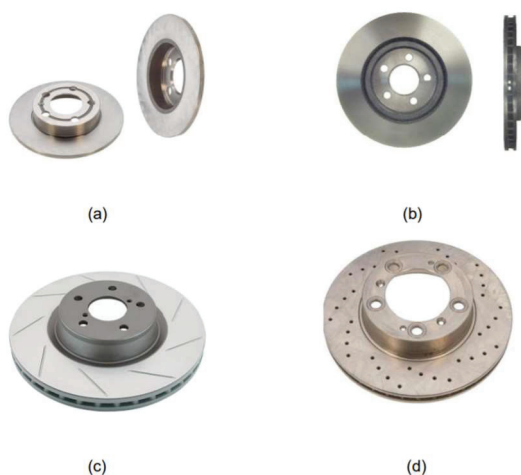


Fonte: Frasle (2020), adaptado pelo autor.

2.3.2.1 Disco de freio

Pinto (2017) considera o rotor ou elemento rotativo de um sistema de freio a disco normalmente são produzidos de ferro fundido cinzento ou aço. Segundo Abreu (2012) o disco de freio tem que suportar a o esforço que é elaborado pela pastilha de freio e assim reduzir a velocidade de rotação do disco durante a atuação do freio, o freio a disco tem a facilidade de se resfriar rapidamente devido a sua estrutura aberta o qual permite uma troca de calor mais eficiente Figura 6.

Figura 6 – Tipos de disco de freio.



Fonte: SHARP (2019), adaptado autor.

A Figura 6 ilustra algumas alternativas de geometrias utilizadas nos discos freio. A Figura 6 (a) representa um disco de freio sólido, que é a solução mais simples e mais utilizada

nos veículos de passeio. A Figura 6 (b) representa um disco de freio ventilado, que permite uma troca térmica mais rápida. A Figura 6 (c) ilustra um disco de freio ventilado e com superfície ranhurada, que, segundo Abreu (2013), permitem melhor limpeza da superfície de atrito, eliminação de filme de água e eliminação de gases que surgem devido às altas temperaturas geradas nessa superfície. Já a Figura 6 (d) representa um disco de freio ventilado e com superfície furada, que permite melhor troca gasosa e saída de resíduos, devido aos gases liberados e as partículas geradas pelas pastilhas de freio quando solicitadas ao extremo, melhor escoamento da água quando o veículo trafega em pista úmida.

Entretanto, Serbino (2005), salienta que os furos reduzem a superfície de contato do disco com a pastilha, o que provoca redução na força de atrito. Os discos de freios representados em (b), (c) e (d) são empregados para otimizar a capacidade de resfriamento e performance dos discos de freio. De acordo com Gao e Lin (2002), freios a disco são amplamente usados para reduzir velocidade devido às suas características de estabilidade durante a frenagem, confiabilidade e a capacidade de promover uma ampla faixa de torque ao freio. Ao longo da frenagem, todos os parâmetros do processo (velocidade, carga, temperatura, características tribológicas e físico-químicas do material do par pastilha-disco, e as condições de contato) variam com o tempo.

O calor gerado por atrito na interface do rotor (disco) e as pastilhas pode causar aumento de temperatura. Particularmente, a temperatura pode exceder o valor crítico para um dado material, causando superaquecimento do sistema, especialmente do fluido de freio e material de fricção (pastilhas), o que leva a efeitos indesejáveis, como o efeito fade.

2.3.2.2 Pinça de freio

De acordo com Kruze (2009) pastilhas de freio são fabricadas de material de fricção e devem ser capazes de suportar e realizar a transformação da energia cinética em calor. Para Serbino (2005), pastilhas de freio devem manter suas propriedades mecânicas em altas temperaturas, uma vez que sistemas de freio aquecem quando acionados. Pastilhas de freio são produzidas utilizando-se materiais compósitos.

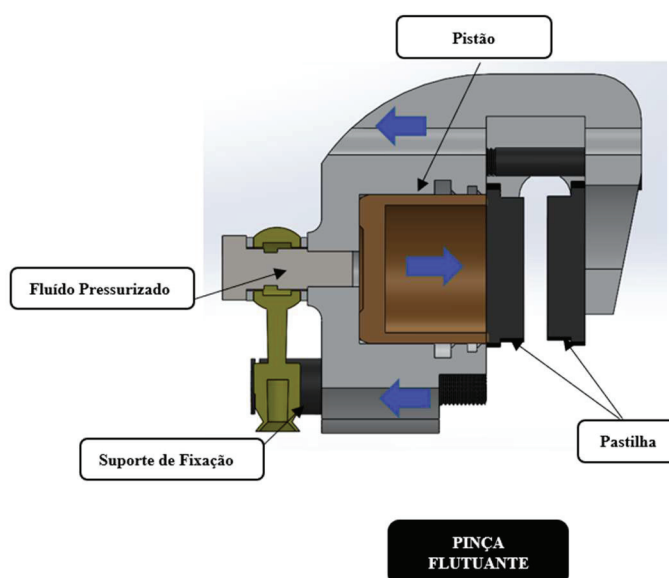
Pinça de freio ou cãliper é um mecanismo que contém as pastilhas e o pistão. De acordo com Infantini (2008) o cãliper precisa ser capaz de resistir às elevadas pressões nos sistemas hidráulicos e às forças axiais e tangenciais produzidas na frenagem. Segundo Limpert (1999), a busca por um compromisso entre performance, dimensões, conforto, peso e custos levaram

ao desenvolvimento de dois tipos de cálipers: fixos e flutuantes. A Figura 8 ilustra esses dois sistemas.

2.3.2.3 Pinça de freio flutuante

O sistema de freio a disco por cáliper flutuante, ilustrado pela Figura 7, possui pistões apenas do lado interno do cáliper Infantini (2008). Neste sistema, quando a pressão é aplicada o pistão avança até a pastilha de freio entrar em contato com o disco. Neste ponto, o cáliper desloca-se por meio de 36 guias que, por reação à força aplicada pelo pistão na pastilha interna, retraindo-se, a pastilha externa automaticamente exerce contato com o disco, promovendo a ação de frenagem. Conforme Limpert (1992), este tipo de cálipers normalmente tem somente um pistão, que pode ser controlado hidráulicamente ou pneumaticamente (no caso de freios de caminhões pesados). Alguns cálipers flutuantes tem 2 pistões, mas ambos estão localizados do mesmo lado. Comparando-se os dois tipos de sistemas de freio a disco, o cáliper flutuante apresenta o comprimento do curso duas vezes maior, gera mais ruído porque é menos rígido, causando mais vibração, Brembo (1997). Este tipo de cáliper é menos eficiente se comparado ao cáliper fixo, pois parte da força é absorvida pela deformação elástica do seu corpo. Em altas temperaturas, esta diferença torna-se mais evidente.

Figura 7 – Pinça flutuante.

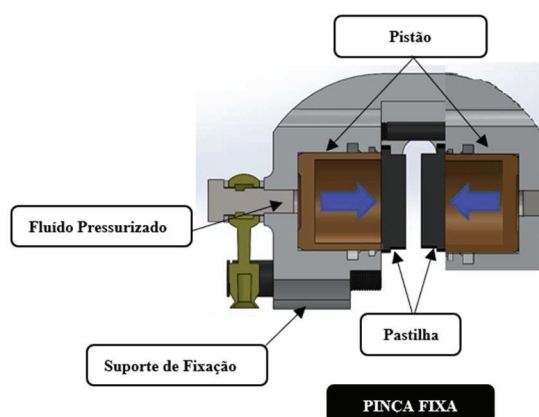


Fonte: Masbajatchê (2007), adaptado pelo autor.

2.3.2.4 Pinça de freio fixa

O Cáliper fixo, representado pela Figura 8, é rigidamente fixado à suspensão e tem no mínimo 2 pistões opostos, que são ativados pelo mesmo circuito hidráulico Brembo (1997). Este tipo de cáliper é sempre hidráulico. A pressão hidráulica do sistema é exercida inicialmente no primeiro pistão, que avança em direção ao disco. Somente após o primeiro pistão entrar em contato com o disco é que o pistão oposto é acionado, fornecendo o momento de força de frenagem. O movimento real é mínimo, na ordem de poucos décimos de milímetros. Segundo Halderman (1996), o sistema de cáliper fixo apresenta distribuição de pressão mais uniforme nas pastilhas, sendo o desgaste da pastilha mais regular. Com relação ao custo, o cáliper fixo é mais caro em relação ao flutuante. O freio a disco com pinça fixa, diferente do freio a tambor não necessita de dispositivos de regulagem, pois, devido a sua concepção o mesmo é auto regulável. Na aplicação do freio, o êmbolo se desloca de maneira a pressionar a pastilha (Bauer 2003).

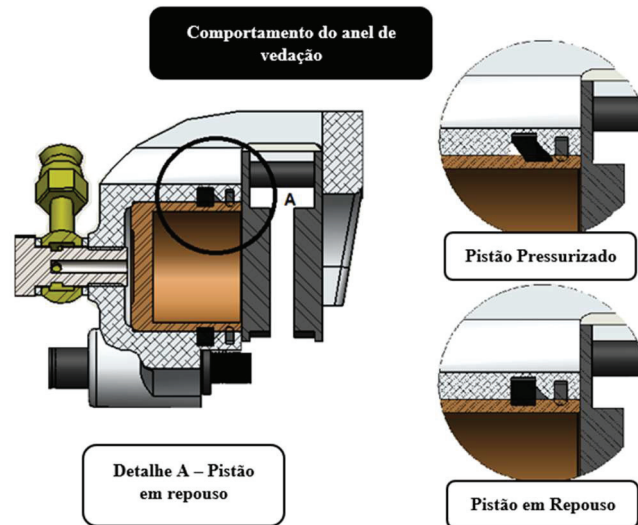
Figura 8 – Pinça fixa.



Fonte: Masbajatchê (2007), adaptado pelo autor).

O comportamento do anel de vedação, quando o pistão da pinça é submetido a pressão do fluido de freio, no sistema de pinça fixa ou flutuante, é projetado com o objetivo de elaborar a vedação entre o pistão e o corpo da pinça Figura 9. Este tem o objetivo de vedar o sistema e foi projetado para sofrer deformação elástica. Com o desgaste da pastilha, o anel de vedação faz com que o êmbolo retorne a sua posição de repouso, criando uma folga entre o disco e a pastilha de 0,15mm, assim, permitindo que o disco gire livremente (Bauer, 2003).

Figura 9 – Comportamento do retentor de vedação.

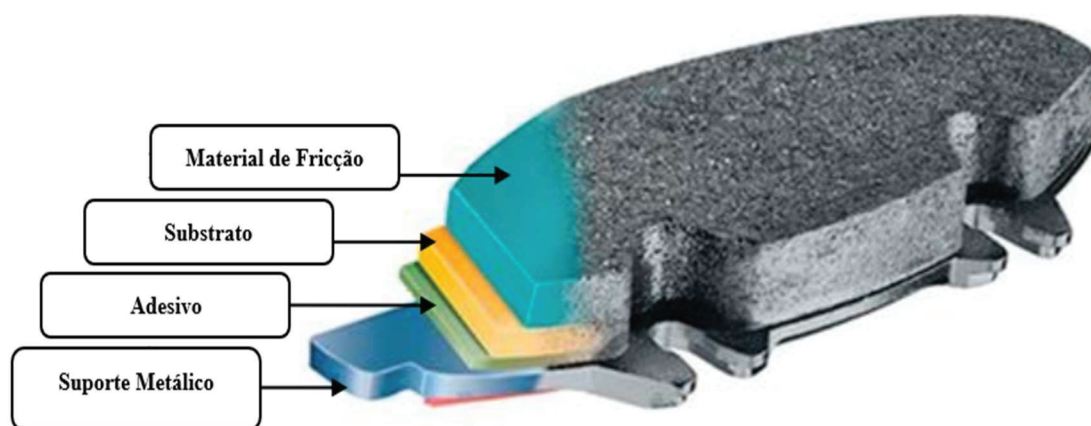


Fonte: Masbajatchê (2007, adaptado pelo autor).

2.3.3 Pastilha de freio

As pastilhas de freio têm a função de transformar a energia cinética produzidas com material de fricção devem manter suas características para manter suas propriedades mecânicas em elevadas temperaturas (KRUZE 2009). De acordo com Brembo (1997), compostas por varias camadas as pastilhas de freio são confeccionadas com material de fricção, este entra em contato com a superfície do disco de freio, para que este material de fricção tenha uma excelente performace e melhor ancoragem mecânica é utilizado um substrato ou material de fundo com excelente resistência entre o adesivo e o material de fricção, este tem a função de absorção de vibrações que são feita durante a frenagem, o material de fricção está fixado ao um suporte metálico, este é tem a função de distribuir a força executada pelo do cilindro hidráulico de freio uniformemente fazendo com que o material de fricção tenha uma excelente performance. A Pastilha e suas camadas estão ilustradas na Figura 10.

Figura 10 – Pastilha de freio e suas camadas constituintes.



Fonte: Menezes, 2016.

Segundo Birch (1999), os materiais utilizados na fabricação de pastilhas e suas características são: pastilhas orgânicas, pastilhas inorgânicas ou semi metálicas, pastilhas metálicas e pastilhas cerâmicas.

Birch (1999) observa que os materiais de fricção utilizados nas pastilhas de freio automotivo podem ser orgânicos ou inorgânicos. Devido a proibição do uso de asbesto, são considerados “No Abestos *Organic* (NAO)”. Para este material são utilizados componentes como materiais inorgânicos e orgânicos, grafite, fibras metálicas e de aramidas responsável pela substituição do amianto. Os materiais semimetálicos são constituídos por uma carga de fibras de aço em sua constituição, este material pode chegar a 50%.

Para Puhn (1987), quando se deseja uma frenagem agressiva deve ser utilizado pastilhas de freio metálica devido a sua alta dissipação de calor. Estas são construídas para ser utilizadas em altas temperaturas.

Já as pastilhas semimetálicas, conforme citado por Rothbart e Brown (2006), caracterizados pela combinação de materiais orgânico e metálico. Na sua composição parte das fibras que está na composição da pastilha é substituído por fios de aço, melhorando seu desempenho aumentando o efeito “*fade*” o que faz com que suas condições de operação sejam superiores a 235°C e retardando o desgaste no disco de freio.

A Tabela 1, elaborada por Budynas e Nisbett (2006), mostra típicas propriedades encontradas em pastilhas e lonas de diversos materiais para emprego em freios.

Tabela 1 – Propriedades de materiais de fricção.

Propriedades de Materiais de Fricção					
Materiais de Fricção	Coefficiente de Atrito μ_e	Máx. Pressão (MPa)	Máx. Temperatura (°C)		Velocidade Máx. (m/s)
			Instantânea	Continua	
Cermet	0,32	1,0	815	400	18,3
Metal Sinterizado Seco	0,29-0,33	2,0- 2,8	500-550	300-400	18,3
Lona com Amianto Seco	0,35-0,41	0,7	350-400	175	18,3
Pastilha com Amianto Moldado	0,31-0,49	5,2	500-750	225-350	24,3
Moldado Rígido sem Amianto	0,33-0,63	0,7 – 1,0	---	260-400	24,3 – 38,1
Moldado Semi Rígido sem Amianto	0,37 – 0,41	0,7	350	150	18,3
Moldado flexível com Amianto	0,39 – 0,45	0,7	350-400	150-175	18,3
Fibras de Algodão	0,47	0,7	110	75	18,3

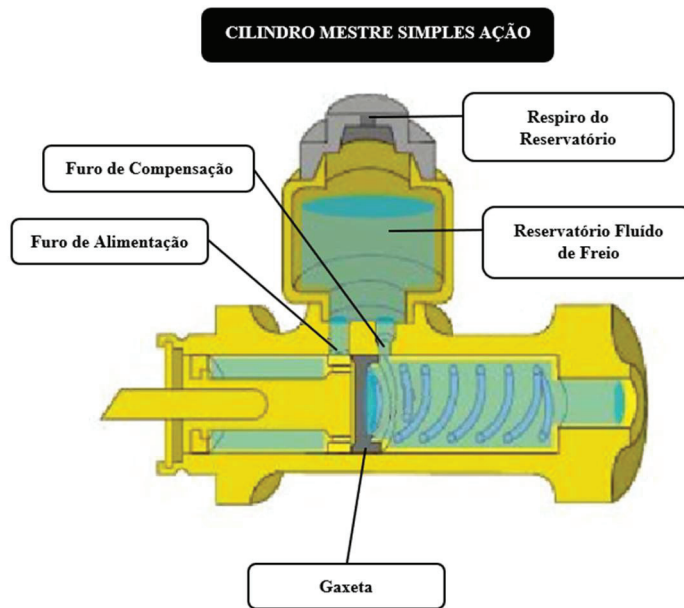
Fonte: Budynas, 2006.

2.3.4 Cilindro mestre de freio

Segundo Machado (1995), o cilindro mestre de freio elabora a conversão da força aplicada pelo piloto no pedal de freio transformando a pressão do circuito hidráulico, esta faz com que o circuito de freio seja pressurizado, e seja transmitida para os atuadores de freios, o cilindro mestre de freio é utilizado no sistema de freio a tambor e sistema de freio a disco, o mesmo é selecionado conforme os atuadores e forças necessária para efetuar a força necessária para freiar o veículo automotor.

Segundo Limpert (1999), quando é acionado o pedal de freio, o pistão do cilindro mestre, passa a comprimir o fluido incompressível que está em seu compartimento, e iniciando a geração de pressão em todo o circuito de atuação hidráulica. Sua função também é a de manter a pressão residual nos circuitos de freio. Para atuação dos sistemas de freio independente, utilizou-se dois cilindros mestres simples ação ou um cilindro mestre dupla ação. Na Figura 11 visualiza se o cilindro mestre de freio simples, o qual tem um só pistão de freio para exercer a compressão no sistema hidráulico.

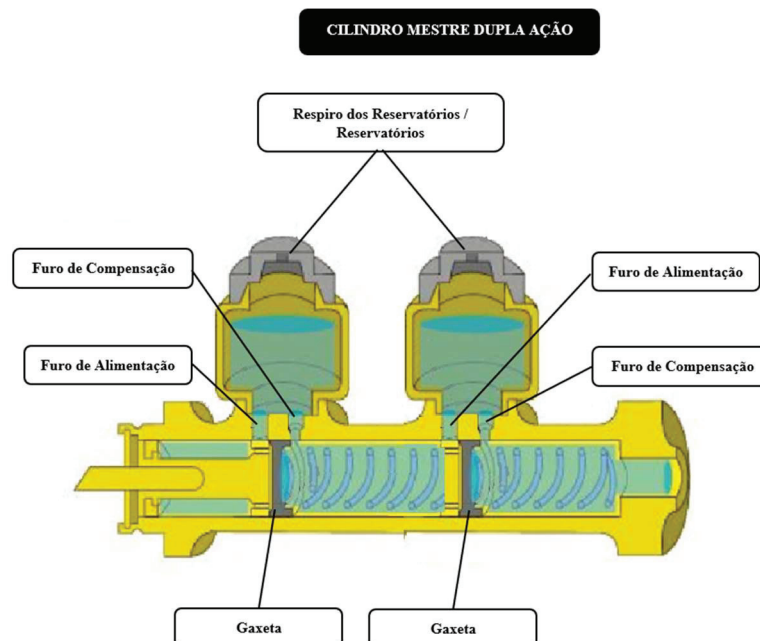
Figura 11 – Cilindro mestre de freio e suas camadas constituintes.



Fonte: Pietro, 2014 (adaptado autor).

Na Figura 12 visualiza-se o cilindro mestre duplo (tipo Tandem), o qual contém dois pistões de freio para exercer a compressão no sistema hidráulico. O pistão que fica mais próximo a atuação do pedal de freio é chamado de pistão principal. Ambos os pistões ficam alojados no mesmo cilindro, com o mesmo diâmetro.

Figura 12 – Cilindro mestre dupla ação.



Fonte: Pietro, 2014 (adaptado autor).

Segundo Girling (1995), os êmbolos são aplicados praticamente ao mesmo tempo, a diferença de pressão entre as câmaras é de 0,5 bar, as condições de retorno do pistão para o ponto de repouso são imediatas devido as molas que auxiliam os êmbolos das duas câmaras dos cilindros.

A configuração do cilindro mestre de freio duplo (tipo Tandem), a possibilidade de falha no sistema de freio falhar é pouca, devido ao mesmo alimentar circuitos de freio independentes ao mesmo tempo, sem perdas em sua eficiência, o que o torna confiável. Todos os pontos onde estiver contido o líquido teria pressão igual, então o princípio criado foi “os fluídos transmitem em todos os sentidos, as pressões que suportam”, isto acontece porque os líquidos são incompreensíveis, ou seja, mesmo estando sobre pressão não se consegue alterar o volume, assim, a pressão se dá por uma força aplicada em uma determinada área.

2.3.4.1 Fluido de freio

Basicamente há dois tipos de fluido de freio: os baseados em glicol e silicone. Os baseados em glicol são os: DOT 3, 4 e 5.1 e os baseados em Silicone DOT 5, ambos possuem prós e contras.

Quanto maior é o número do DOT maior é o ponto de ebulição do fluido. A Tabela 2 apresenta o ponto de ebulição de vários fluídos.

Tabela 2 – Ponto de ebulição do fluido de freio.

Tipo	Especificação Mínima		Fluido de freio Bosch	
	Seco (°C)	Úmido (°C)	Seco (°C)	úmido (°C)
DOT 3	205	140	230	145
DOT 4	230	155	250	170
DOT 5	260	180	270	190
DOT 5.1	260	180	270	190

Fonte: Fluidos de Freio Bosch, 2013.

Os fluídos de freios hidráulicos para veículos automotores são controlados pela norma ABNT NBR 9292 - Veículos rodoviários automotores - Líquido para freios hidráulicos, tipos 3, 4 e 5 - Requisitos e métodos de análise, onde especifica que o fluido é elaborado para transmitir pressão ao circuito hidráulico de freio, classificados de acordo com os tipos, mais conhecidos como DOT, cada classificação possui características de desempenho (BOSCH, 2020).

- Tipo 3 (DOT3), possui ponto de ebulição úmido mínimo de 140 °C e viscosidade cinemática a -40 °C máxima de 1500 mm²/s.

- Tipo 4 (DOT4), possui o ponto de ebulição úmido mínimo de 155 °C e viscosidade cinemática a -40°C máxima de 1800 mm²/s.
- Tipo 5 (DOT5.1), possui ponto de ebulição úmido mínimo de 180 °C e viscosidade cinemática a -40 °C máxima de 900 mm²/s.

Conforme Bosch (2015) a absorção de água reduz o ponto de ebulição do fluido de freio, influenciando o desempenho do sistema. O fluido DOT3 oferece eficiência com maior economia. O DOT4 oferece alto desempenho e melhor custo benefício. O DOT5.1 é recomendado para veículos de alta performance e condições severas de utilização.

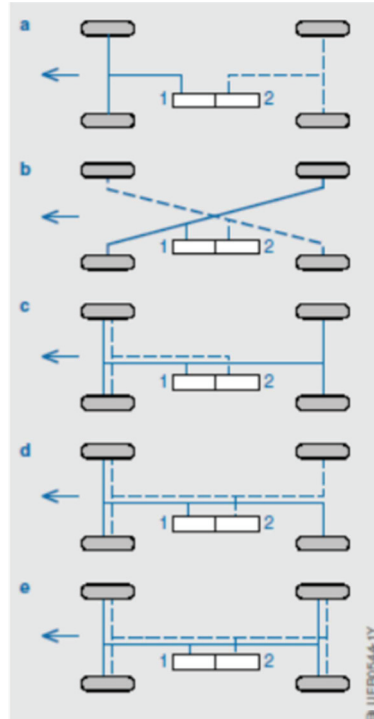
Segundo Thomaz (2013), outro fator que influencia diretamente na seleção do fluido de freio é a absorção de umidade do ambiente ou pelos componentes do sistema de freio, os melhores fluidos são os DOT 4 sintéticos, pois, o mesmo não contém uma propriedade chamada higroscopia. Esta propriedade faz com que o fluido absorva com facilidade a umidade do ambiente.

2.3.4.2 Circuito hidráulico

Conforme Puhn (1985), os primeiros veículos tinham no seu sistema de freio apenas um cilindro mestre simples para pressurizar o sistema de freio. Sendo assim quando acontecia alguma falha no sistema, perdia-se a frenagem total.

Sendo assim foi criada a norma DIN74000 a qual cita que todos os sistemas de freio dos veículos devem ser aprova de falhas, com isso se criou dois circuitos independentes (REIF, 2014). Para um melhor entendimento optou-se por configurações as quais os dois circuitos de freio eram divididos. A norma cita combinações de letras para demonstrar as diferentes configurações: II (a), X (b), HI (c), LL (d) e HH (e). Esta escolha foi elaborada pois demonstram as formas as quais representam os traçados das linhas do circuito que fazem a ligação com o cilindro mestre aos cilindros de rodas/pinças (REIF, 2014). Na Figura 13 demonstra-se as configurações que podem -se construir os circuitos hidráulicos os quais podem ser rígidos ou flexíveis.

Figura 13 – Tipos de Circuito Hidráulico.



Fonte: Reif (2014, p. 39).

Na Figura 14 visualiza-se um tubo de aço, este tem uma melhor eficiência no sistema causada pela baixa expansão. Porém, não são flexíveis o qual não podem ser montados diretamente as pinças de freio e a suspensão devido as mesmas sofrer intervenção dinâmica. Os principais requisitos para esses tubos são a capacidade de suportar cargas mecânicas e de pressão, baixa expansão, resiliência térmica e resistência a produtos químicos, como óleo, combustíveis e água salgada.

Figura 14 – Tubo de freio Rígido.



Fonte: Rigitec (2019).

Para Reif (2014), as mangueiras flexíveis efetuam a ligação entre os sistemas que ligam estruturas como a suspensão a estruturas rígidas, são utilizadas tubulações flexíveis, estas têm a função de garantir a pressão e a transmissão do fluido de freio. Normalmente estas mangueiras

de freio são compostas por uma camada interna, trama de aço ou nylon para resistir à pressão do sistema e borracha na parte externa para proteger a mesma, na Figura 15 visualiza-se o tubo de freio flexível.

Figura 15 – Tubo de freio Flexível.



Fonte: Rigitec (2019).

Segundo a Eaton, (2020) fabricante do Aeroquip visualizada na Figura 16, este tipo de circuito flexível foi projetado para obter alta performance, esta devido a sua construção ser elaborada por um mangueira interna e seu revestimento ser envolvido por uma trama de aço faz com que a mesma seja aplicada em sistema que apresentam maior pressão que os sistemas convencionais. Sendo assim a mesma são indicadas para veículos que necessitam de um sistema que não sofram alteração de pressão durante a frenagem o qual faz com que a precisão e eficiência sejam melhores.

Figura 16 – Aeroquip.

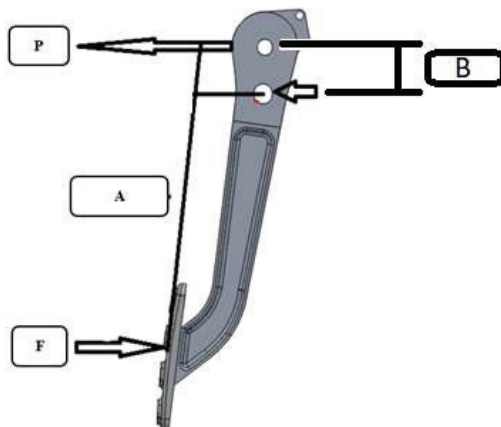


Fonte: Eaton, (2019).

2.3.5 Pedal de freio

Segundo Motta (2016) o pedal de freio é o elemento que fica em contato direto com o acionador. Consiste em uma haste pivotada, que tem a função de transmitir e ampliar a força exercida pelo motorista. Esta força é multiplicada pelo ganho, e transmitida aos cilindros mestre. Segundo Puhn (1987), a razão de pedal para freios sem acionamento externo deve girar em uma proporção de 5:1. A Figura 17 mostra o diagrama de corpo livre de um típico pedal de freio, sendo F a força de acionamento do motorista e P o ponto de pivô do pedal. O ganho do pedal é a razão entre as distâncias A e B .

Figura 17 – Pedal de freio.



Fonte: Limpert, (adaptado autor 2019).

2.3.6 Condições de operação

Segundo Alfredo *et al.* (2008), existem três fatores ligados a operação do sistema de freio que implicam na eficiência de frenagem, “*fade*” e recuperação, assentamento pastilha e disco e sensibilidade a velocidade.

2.3.6.1 *Fade* e recuperação

Limpert (1999), explica que o coeficiente de atrito dos materiais de fricção tende a aumentar até temperaturas da ordem de 200 °C. No entanto, em temperaturas muito elevadas (acima de 300 °C), o material de fricção tende a se desintegrar e o coeficiente de atrito a diminuir. Esse fenômeno é conhecido por “*fade*”.

A eficiência do sistema de freio depende do seu regime de operação, ou seja, com que frequência o freio é acionado pelo condutor e as características de acionamento. O material atritado quando submetido a temperaturas elevadas, acima de 350° C, por exemplo, apresenta redução no seu coeficiente de atrito. A este fato chama-se de “*fade*”, esta redução de atrito deve-se manter dentro dos limites toleráveis, para apresentar um bom desempenho.

2.3.6.2 Assentamento pastilha e disco de freio

Para Pinto (2017) quando os materiais da pastilha e do disco são novos e eles ainda não se encontram polidos, o contato entre o disco de freio e a pastilha não apresenta bom assentamento. A pastilha nova então apresenta, portanto, menor eficiência e performance durante a frenagem.

O maior desafio para os fabricantes de pastilha de freio é desenvolver a composição para obter um excelente material de fricção.

Ostermeyer (2001) cita que são necessários mais de 20 componentes para fabricar uma pastilha de freio,

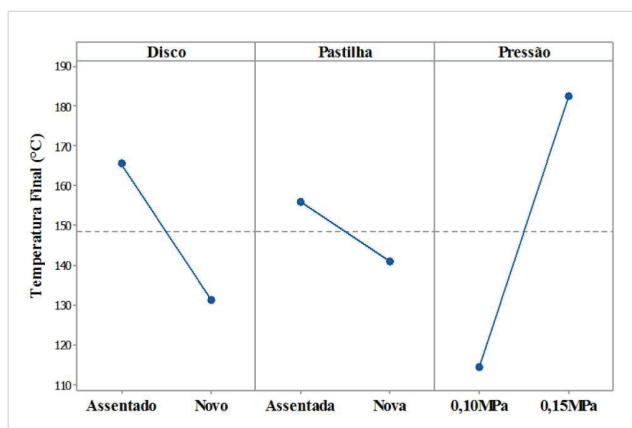
Segundo Ostermeyer e Muller (2008), as lonas e patilhas de freio são construídas com o objetivo de resistir altas temperatura durante a fricção com o disco de freio ou tambor apresentando boa durabilidade no material de atrito, importante salientar que durante a frenagem são gerados ruídos e vibrações os quais influenciam diretamente no material que compõe as pastilhas e lonas de freio.

Além disso, Blau (2001) ressalta que a composição dos materiais de fricção é construída para ser resistentes à corrosão e Lee e Kang (2007) cita que o peso influencia diretamente nestes fatores. De acordo com Erikson, Bergman e Jacobsom (2002), os materiais de fricção podem ser, semimetálicos ou orgânicos. Já para os discos de freio, os materiais devem ter resistência térmica, mecânica, à corrosão e ao desgaste, e ter características que permitam ter boa usinabilidade. De acordo com Brembo (1997), o ferro fundido cinzento é utilizado desde os anos 50 nos discos e tambores de freio automotivo este é constituído com a fase perlítica e grafita lamelar.

Pinto (2017) demonstrou através de um ensaio em laboratório as variáveis que resultam a combinação de pastilhas e um disco de freio ambos já passaram pelo processo de assentamento e outro conjunto sem ter passado por este processo.

Segundo Pinto (2017), na Figura 18 pode-se observar através do gráfico os efeitos e resultados do ensaio,

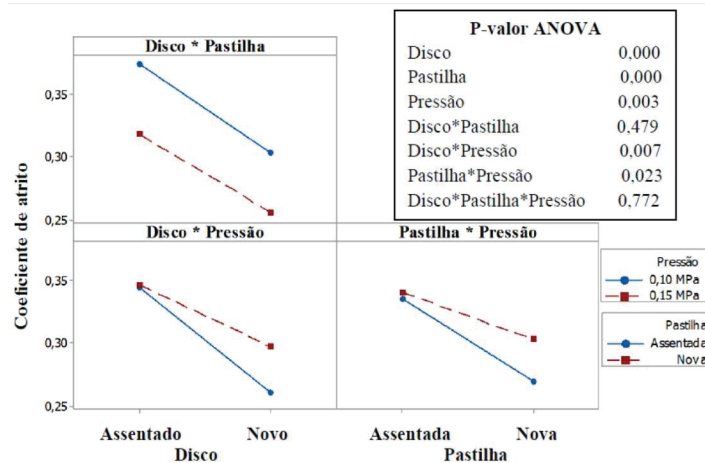
Figura 18 – Gráfico de Variáveis de Temperatura final.



Fonte: Pinto, (2017).

Segundo Pinto (2017), a Figura 19 representa o gráfico de interações para a variável resposta coeficiente de atrito. Nesta pode-se observar que a pastilha e disco de freio que passaram pelo processo de assentamento tem um resultado eficiente a pressão de acionamento de 0,15 MPa.

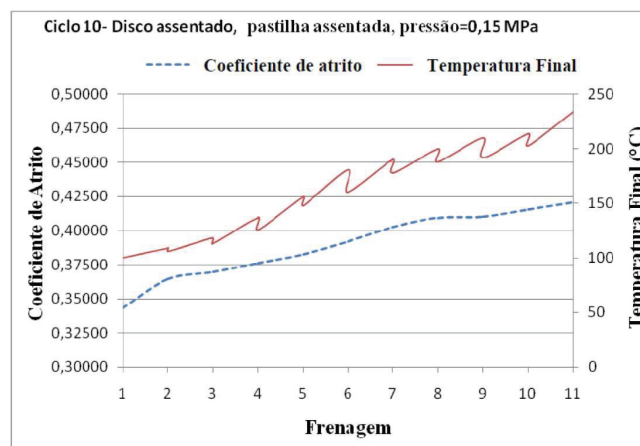
Figura 19 – Gráfico de Coeficiente de atrito.



Fonte: Pinto, (2017).

No gráfico da Figura 20, apresenta as interações entre a pressão de acionamento do disco e pastilha de freio, as retas paralelas indicam haver interseção entre eles. As retas não paralelas indica, evidências de considerado nível de significância, a interação entre estes fatores também pode ser observada através da análise do P-valor presente na figura 20, ambas apresentam P-valor menor que a significância $\alpha = 0,05$.

Figura 20 – Gráfico de coeficiente de atrito.



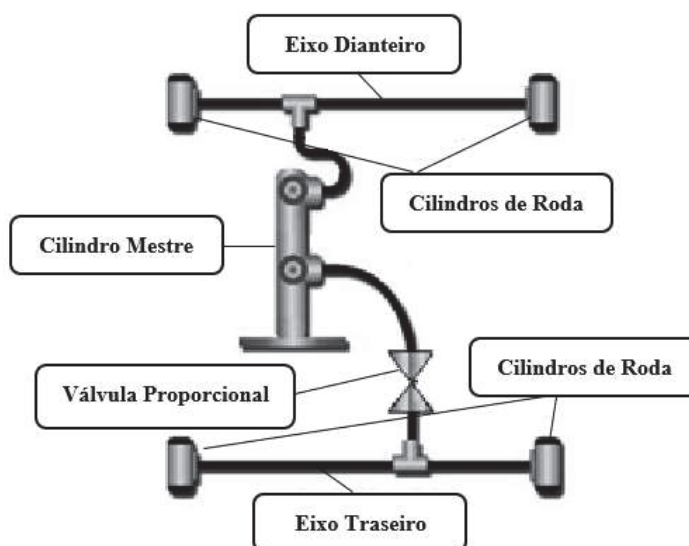
Fonte: Pinto, (2017).

No gráfico assim pode-se observar que com o aumento do número de frenagem o comportamento entre o coeficiente de atrito e a temperatura tem um aumento significativo, fazendo com que o nível de significância seja satisfatório após o acionamento entre a pastilha e o disco de freio.

2.3.6.3 Válvula equalizadora e barra de equilíbrio

De acordo com Bosch (2003), a válvula reguladora de pressão (*“proportioning valve”*) está localizada na linha hidráulica entre o cilindro mestre e a linha de freio traseira a qual pode ser visualizada na Figura 21, esta tem a função de equalizar a pressão do fluido fazendo com que o controle do veículo durante a frenagem.

Figura 21 – Esquema hidráulico com válvula proporcional.



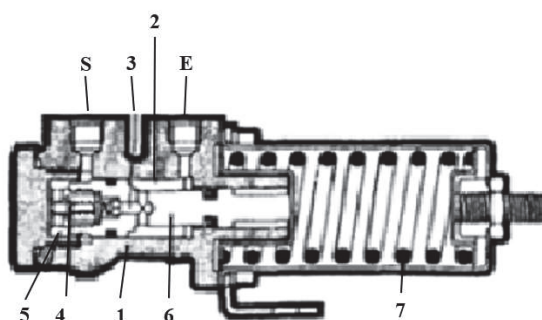
Fonte: Puhn, 1987.

Na figura 22 Limpert (1999) explica o funcionamento na válvula equalizadora, nesta podemos analisar a direção que o fluido é pressurizado onde o mesmo passa pelo cilindro mestre em direção às rodas traseiras, entrando no ponto E da válvula, os espaços dos pontos 2, 3, e 5 são preenchidos e sua saída é pelo ponto S a saída deste ponto só é possível quando a válvula do ponto 4 está aberta, esta abertura está condicionada ao pistão 6, este é deslocado para a esquerda devido ao esforço feito pela mola principal 7, sendo assim, ao atingir a pressão determinada o pistão se desloca para a direita fazendo com que a válvula 4 se feche.

Para ocorrer o desbalanceamento da válvula equalizadora é necessário um aumento de pressão no sistema, o que faz o pistão se movimentar novamente e assim abrindo a válvula. Desta maneira ocorre a oscilação do pistão nos sentidos frontal e traseiro da válvula aumentando

a pressão de saída gradualmente, esta ação exercida pela pressão na saída da válvula atua sobre os freios traseiros, a variação de carga atuante na mola do mecanismo é necessária para efetuar a regulagem do pressão no sistema de freio variando a pressão do fluido no saída da válvula.

Figura 22 – Válvula proporcional ajustável.

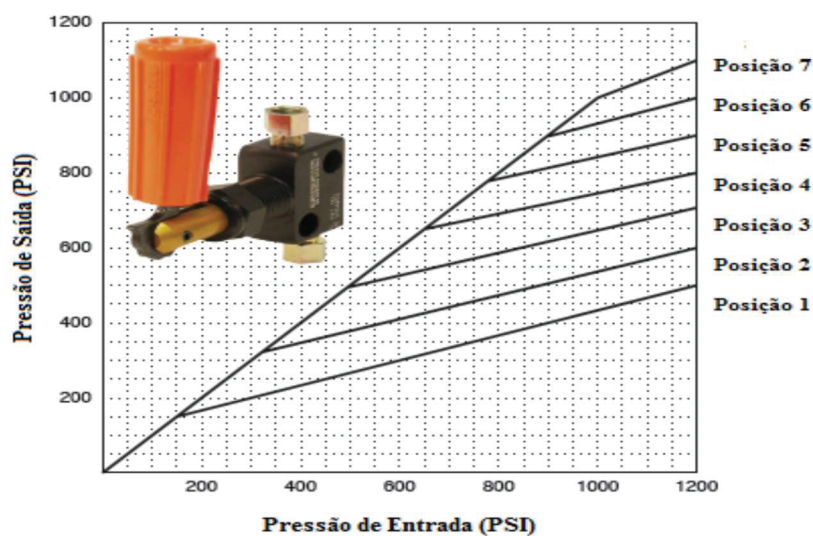


Fonte: Limpert, 1999.

Puhn (1987), cita que a eficiência das válvulas equalizadoras é muito boa quando aplicadas em cilindro mestre tipo tandem, e a maioria dos veículos utilizam esta válvula em sua linha de montagem, porém as mesmas não podem ser configuradas conforme o desejo dos usuários.

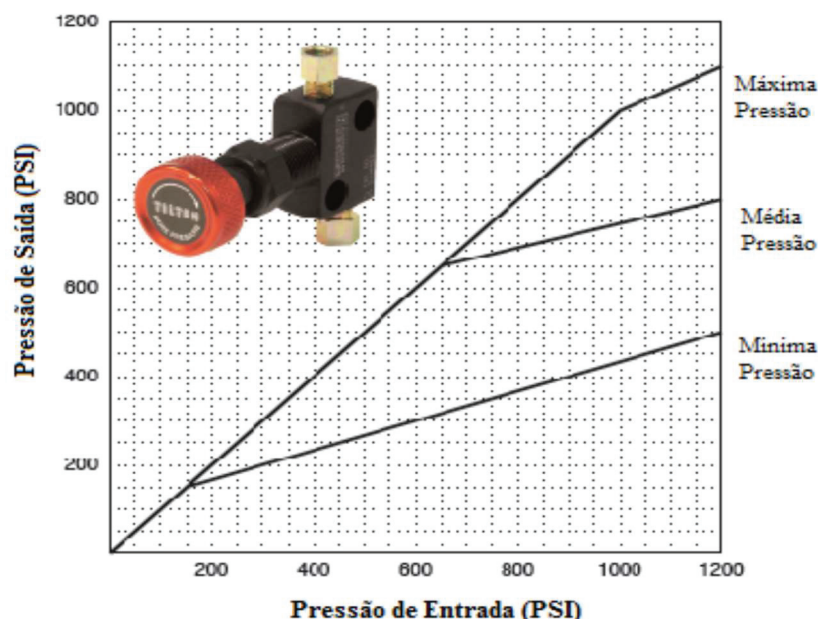
Existe, no entanto, válvulas desse tipo ajustáveis, muito utilizadas em veículos de competição, cujo desenho é mostrado na Figura 23 e 24.

Figura 23 – Válvula equalizadora tipo alavanca.



Fonte: Tilton Racing, 2013.

Figura 24 – Válvula equalizadora tipo parafuso.



Fonte: Tilton Racing, 2013.

Com relação as Figura 23 e 24, pode-se verificar que essas duas válvulas equalizadoras de pressão, somente terão alguma função de reduzir a pressão, quando a mesma for maior que 150 (PSI).

Dessa forma se a pressão de trabalho for menor que 150 (PSI), tanto a válvula tipo parafuso, quanto a válvula tipo alavanca, nas suas regulagens de máxima perda de carga, ainda assim não influenciarão na redução de pressão, sendo então um simples conector hidráulico sem função alguma, deixando com que o sistema trabalhe em suas características normais de operação.

Puhn (1987) relata que sua principal desvantagem durante o funcionamento da válvula está relacionada a paradas bruscas, com grandes desacelerações. Nesta situação, existe a necessidade de grande esforço sobre o pedal, sem que seu curso seja reduzido.

Já o mecanismo de ajuste mecânico, ilustrado na Figura 25 e conhecido como barra de equilíbrio, necessita de dois cilindros-mestre, do tipo simples, para funcionar. Seu princípio de funcionamento é a distribuição da força transmitida pelo pedal sobre os cilindros-mestre.

Figura 25 – Barra de equilíbrio.



Fonte: Wilwood, 2019.

A distribuição de forças no sistema é feita seguindo as equações de equilíbrio da mecânica newtoniana. Os esforços são expressos em função da força exercida pelo pedal sobre o *balance bar* e da distância de cada haste de acionamento do cilindro mestre (pushrod) até o centro da rótula esférica.

O tipo mais comum de barra de equilíbrio utiliza um pedal com uma guia (cilindro vazado) presa à sua haste. No interior da guia existe uma rótula esférica acoplada a um eixo. A rótula pode deslizar na parte interna da guia, porém permanece fixa em relação ao eixo. O ajuste se dá aproximando a junta esférica de um dos *pushrods*. Isto é possível porque as extremidades do eixo são rosqueadas. Ao girar o eixo, que também funciona como um fuso, desloca-se a junta esférica.

Puhn (1987) diz que em caso de falha em um dos sistemas hidráulicos, o lado despressurizado tende a se deslocar até o batente imposto pelo cilindro mestre ou pelo máximo ângulo de inclinação que a guia permite ao eixo. Atingindo um desses limites, o lado não afetado passa a operar normalmente, garantido a funcionalidade e segurança do sistema de freios.

2.3.7 Pneu

Sua função principal é estabelecer a ligação entre o veículo e solo mantendo-o com estabilidade durante a dirigibilidade. Os pneus podem ser considerados parte integrante de ao menos três subsistemas de um veículo automotor: *powertrain* (motor e transmissão), suspensão e frenagem.

Segundo Stone (2004), no *powertrain*, o raio efetivo do pneu, ou seja, o diâmetro externo são fundamentais para o resultado do cálculo da relação final da transmissão, a suspensão tem fator fundamental para uma excelente dinâmica veicular, e a frenagem depende diretamente do coeficiente de atrito entre o pneu e o solo.

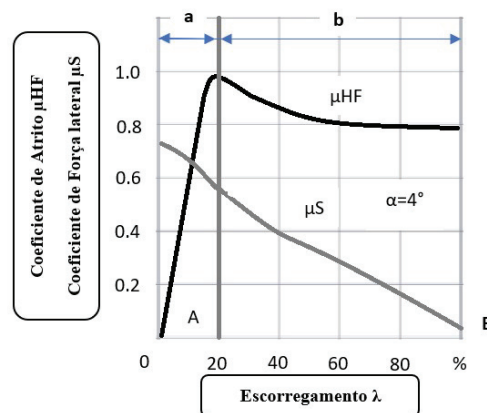
Gillespie (1992) comenta que, a combinação dos mecanismos de fricção são fundamentais para a aderência do pneu ao solo, considera-se em piso seco o fator principal, já em piso molhado tem seu valor reduzido.

O segundo mecanismo é a histerese, que representa a energia dissipada pela borracha durante o processo de deformação. A histerese não sofre variação em seu valor estando à superfície seca ou molhada.

No entanto, Gillespie (1992) descreve que sua histerese e a adesão da borracha tem o seu grau de escorregamento das rodas com influência direta, assim o chamando de *slip*.

A Figura 26 demonstra os coeficientes de atrito em relação ao escorregamento entre a pista e o pneu. A aderência demonstra as seguintes faixas de atuação: (a) zona estável, (b) zona instável, (α) ângulo de derivada, (A) roda rolando, (B) roda travada. O comportamento da frenagem em duas áreas distintas, área da frenagem estável, até a aderência máxima, é a área que se obtêm o máximo desempenho do freio e o controle direcional, e a área instável, a influência do escorregamento torna-se cada vez maior no comportamento dinâmico do pneu, resultando na queda de desempenho da frenagem, e a total perda de controle direcional do veículo.

Figura 26 – Coeficiente de atrito pneu pista



Fonte: Fundamentals of Vehicle Dynamics, 2003

Blau (2008) apresenta a Tabela 3, nela pode-se observar para uma velocidade de 48Km/h e os diferentes tipos de pista os coeficientes médios de atrito dos pneus.

Tabela 3 - Coeficiente de atrito para pneus em pisos secos e molhados, a velocidade de 48km/h.

Tipo de Piso	μ_e – Piso Seco	μ_e – Piso Molhado
Pista de terra	0.40 – 0.60	0.30 – 0.50
Cascalho solto	0.40 – 0.70	0.45 – 0.75
Asfalto novo	0.80 – 1.20	0.50 – 0.80
Asfalto gasto	0.60 – 0.80	0.45 – 0.70
Cimento novo	0.80 – 1.20	0.50 – 0.80
Cimento gasto	0.55 – 0.75	0.45 – 0.65

Fonte: BLAU, 2008.

2.4 Procedimentos metodológicos de desenvolvimento de produtos

Existem diversas metodologias projetuais nas mais distintas áreas, como Engenharia Mecânica, Design de Produto, Engenharia de Produção, entre outras. Contudo, há unanimidade entre a maioria delas quanto aos métodos projetuais que otimizam tempo e esforço, constroem o pensamento e ordenam atividades, auxiliando de forma coerente nas tomadas de decisões.

Elas variam de acordo com as técnicas utilizadas e as diferentes áreas, mas se fazem presentes nos projetos melhor sucedidos.

Com o intuito de explorar uma metodologia de projeto que contemple tanto as questões de ordem no decorrer do processo quanto a análise de matéria-prima adequada para o produto, alguns métodos diferentes foram elencados, de forma a incorporar as características mais apropriadas particularmente.

Coelho (2008), em apresenta a ideia de que não é necessário utilizar um método único durante o processo. Ele sugere ainda a denominação de “procedimentos metodológicos” para referir-se ao conjunto deles, defendendo a ideia de que o processo projetual é independente.

2.4.1.1 Métodos para projeto e desenvolvimento de produtos

Para Bonfim (1995) a metodologia que se adota e métodos para o desenvolvimento de um projeto é demonstrado por problemas conhecidos.

Assim como para Coelho (2008), metodologia é demonstrada por um conjunto de métodos empregado em um específico trabalho.

A partir desses conceitos, esta etapa consiste na exploração e examinação de algumas metodologias de projeto de produto existentes a fim de melhor elucidar a metodologia apropriada para o desenvolvimento deste estudo.

2.4.2 Metodologia Pahl, Beitz

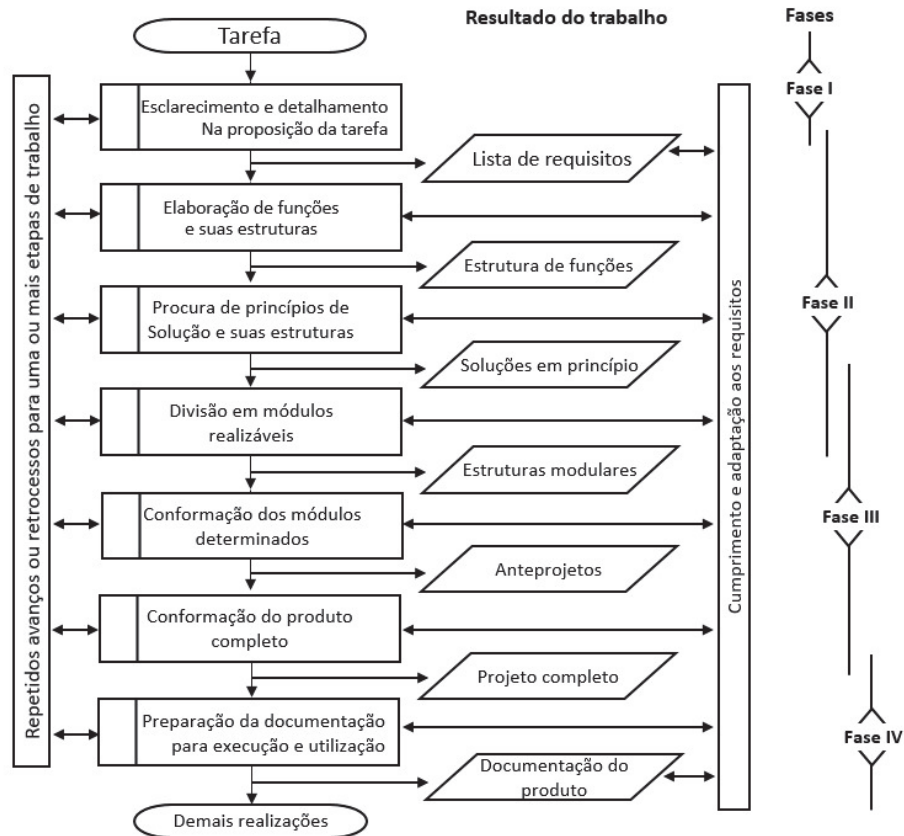
O processo de Pahl *et al.* (2005) é sistemático, lógico, cíclico e com retornos predeterminados, o que possibilita fazer melhorias no projeto até definir uma solução. Suas principais características são oriundas de diretrizes elaboradas por um grupo de trabalho representado por cientistas de projeto e projetistas-chefes da indústria da Antiga República Federal da Alemanha denominado VDI (*Verein Deutscher Ingenieure*).

A diretriz VDI 2221 (1993) propõe um procedimento geral para o desenvolvimento e o projeto de produtos da engenharia mecânica prevendo sete etapas de trabalho. Já a VDI 2222 (1996) define um plano de procedimento e métodos individuais para a concepção de produtos organizada em quatro fases. Em ambos os planos de procedimentos se enfatiza um caráter de flexibilidade, isto é, a execução das etapas de trabalho não ocorre de forma rígida e sim cíclica, com retornos sempre que necessário. Tanto na Metodologia de Projeto de Pahl *et al.* (2005) quanto nas diretrizes VDI 2221 e 2222, o desdobramento em etapas de forma sistemática e a possibilidade de retornos são características recorrentes.

Pahl *et al.* (2005) organizam o processo de projeto em quatro fases, ordenadas da seguinte forma: a primeira é o esclarecimento do projeto, a definição da tarefa através da lista dos requisitos; como segunda etapa, vem o projeto conceitual, que é a ideia inicial do produto, em que se verificam os problemas, princípios de solução, as concepções modificáveis, a concretização e, por fim, a avaliação de soluções segundo critérios técnicos e econômicos; a terceira etapa diz respeito à busca por soluções funcionais do produto (forma, materiais, acabamentos, dimensões e processos de fabricação) e, por conseguinte, por soluções técnicas. E finalmente a quarta e última fase, quando se faz a documentação do produto para viabilizar a sua execução e utilização.

Esse planejamento se faz necessário, pois quando o problema de projeto está devidamente esclarecido, a geração de soluções se torna muito mais eficiente. Essa metodologia cria procedimentos orientados por problemas, que podem ser aplicados em todas as atividades de projeto independentemente da especialidade, além de incentivar o processo de inovação e de concepção. É uma metodologia didática conforme se observa na Figura 27, que pode ser utilizada por gerentes de projeto e equipes de desenvolvimento.

Figura 27 – Evolução do processo de desenvolvimento de produto em suas quatro fases.



Fonte: Pahl *et al.* (2005).

A Figura 28 apresenta as principais etapas de trabalho a serem seguidas no planejamento e concepção de um produto.

É na primeira fase de especificação do projeto, que se faz todo o planejamento do desenvolvimento do produto através da classificação das necessidades, do esclarecimento de condicionantes e da lista de requisitos. Essa fase é considerada uma base para a segunda, pois é nesse momento que se reúne o número máximo de informações que resultarão na elaboração detalhada das especificações de projeto através da lista de requisitos.

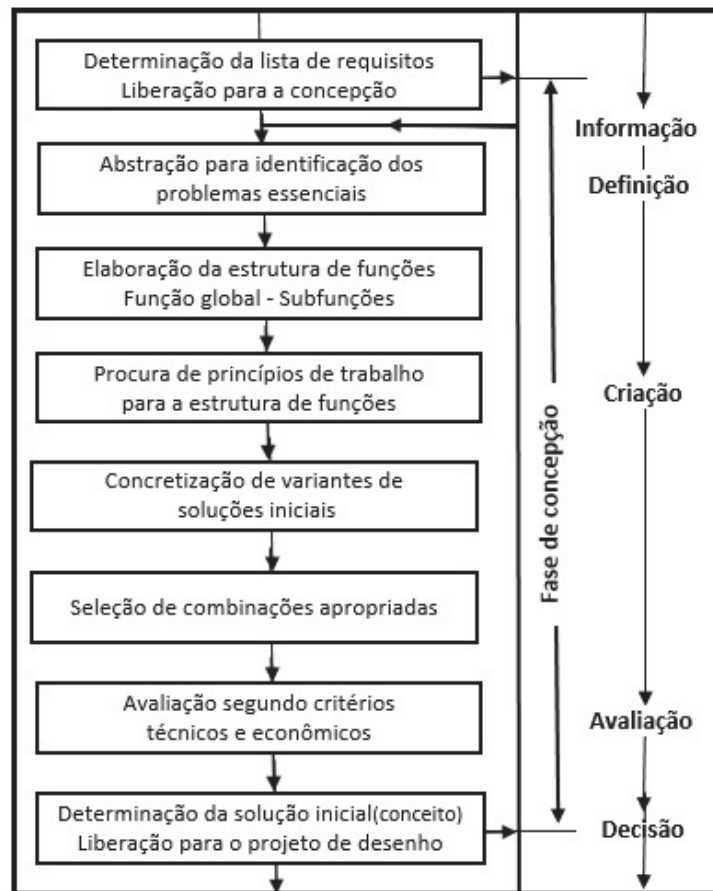
Figura 28 – Etapas de trabalho principais no planejamento e na concepção.



Fonte: Pahl *et al.* (2005).

Para complementar e ampliar os requisitos estabelecidos, dois métodos consolidam o trabalho segundo uma linha mestra que contém uma lista das principais características e a técnica do cenário. De acordo com Hubka (1992), essas características derivam com ampla validade de algumas influências de categorias de propriedades operacionais, ergonômicas, de aparência, de distribuição, de fornecimento, de planejamento, de fabricação, de custos e de produção, ou seja, quantitativas e qualitativas. Quando essa tarefa estiver esclarecida de forma satisfatória, atendendo às exigências técnicas e econômicas, o projeto estará liberado para a concepção, através das etapas de trabalho descritas na Figura 29.

Figura 29 – Etapas de trabalho para a fase de concepção.



Fonte: Pahl *et al.* (2005).

O principal objetivo da segunda fase é a busca de soluções para os problemas de projeto e a elaboração da estrutura da função do dispositivo, ou seja, conceber é a definição preliminar de uma solução.

Algumas vezes, entretanto, a estrutura de funcionamento só pode ser avaliada quando está mais concretizada. Essa forma mais concreta inclui uma ideia dos materiais a serem empregados através de um dimensionamento aproximado e seus possíveis recursos tecnológicos, o que resulta num princípio de solução passível de avaliação.

Tal qual Pahl *et al.* (2005), Ashby (2012) afirma que a natureza dos dados necessários no estágio do conceito não requer precisão de detalhes, apenas valores aproximados das propriedades com uma faixa de materiais mais ampla possível.

2.4.2 Brainstorming

O método Brainstorming aproveita dados estimulados por associação, os quais têm sua origem em manifestações descontraídas dos projetistas. Ele pode ser aplicado em qualquer área afim de gerar ideias novas não convencionais, inclusive na área de projeto técnico.

Brainstorming pode ser rotulado como uma tempestade de pensamentos ou ideias, que ocorre através de um encontro com especialistas de áreas distintas objetivando a produção de novas ideias imparciais, oriundas de associações, recordações e combinações de pensamento.

É recomendada a aplicação desse procedimento quando não houver um princípio de solução razoável, quando o processo físico de uma possível solução ainda não puder ser identificado, quando se tem a suspeita de não conseguir avançar com as sugestões conhecidas e se pretende um afastamento radical do convencional.

Por desencadear novos impulsos, ele desperta o interesse em novos desenvolvimentos. Outro efeito positivo gerado por esse processo intuitivo é o levantamento de novos estímulos sobre possíveis processos, aplicações, materiais, combinações, etc.

Sua execução se dá através de uma organização em grupo com caráter multidisciplinar, numa sessão de curta duração através do levantamento de ideias que serão anotadas, de forma teórica e esquematizadas, de forma visual. A partir desse levantamento de ideias, os resultados são analisados com relação a propriedades geradoras de soluções e viabilidade com relação a uma possibilidade técnica. As propostas, por fim, são avaliadas com o intuito de obter critérios ordenadores para uma busca de soluções.

2.5 Conclusão da revisão

Denota-se que esta seção do trabalho é de tamanha importância para o desenvolvimento do projeto do sistema de freios, pois nele abordara temas para facilitar na construção do mesmo, como o método para o desenvolvimento de produtos e projetos, elaboração da análise do regulamento a qual se torna base para o desenvolvimento do projeto, tendo em vista o embasamento das regras a ser seguida as quais se tornam exigência ou opcional, foi elaborado o estudo dos componentes do sistema de freio disponibilizando o maior número de possibilidade possível para o projeto, devido ao sistema de freio ter um grande variedade e opções para configurar o sistema de freio empregado ao Baja SAE Brasil, sendo assim com a aplicação da metodologia de Pah *et al.* (2013), obtivesse parâmetros para orientar a melhor configuração dos componentes do sistema, bem como uma sequencial de cálculos teóricos que

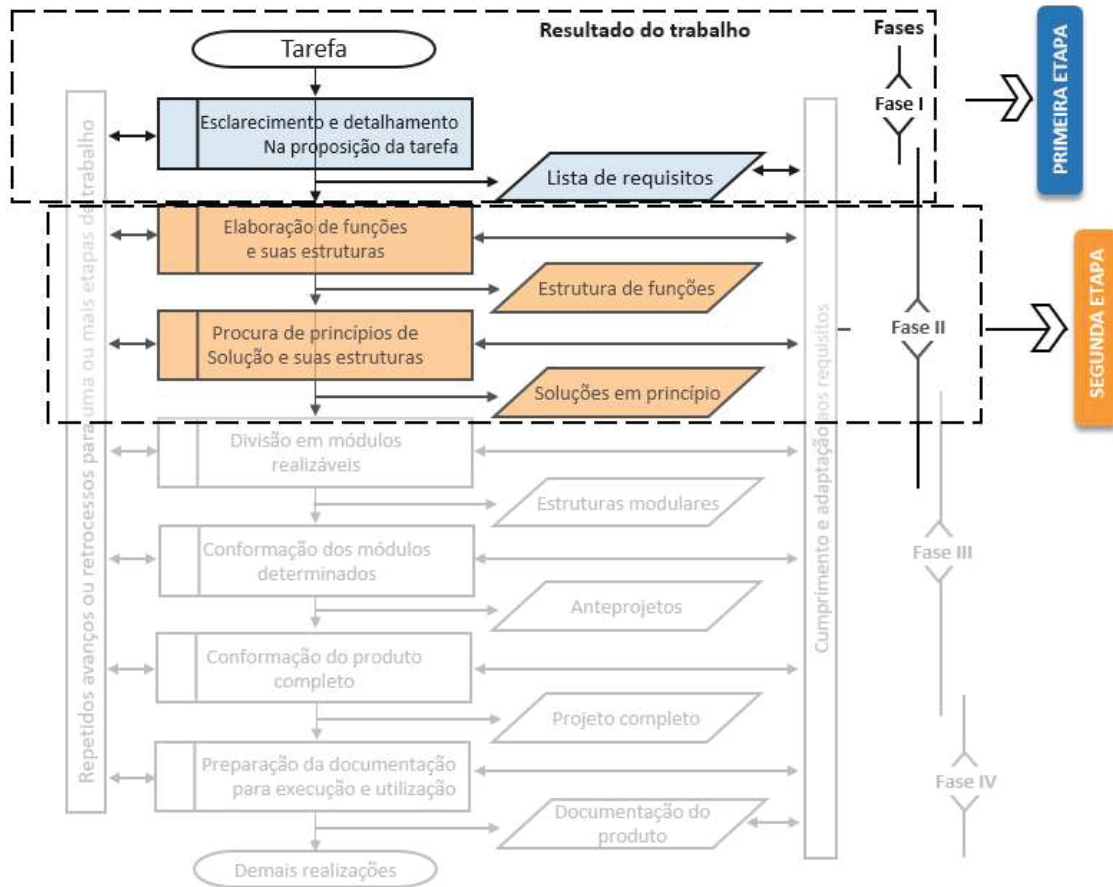
demonstram os esforços que o sistema e o piloto exercem, no qual são fundamentais para o desenvolvimento do projeto de freio

3 DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO DO PROJETO DE FREIO

Este capítulo apresenta o procedimento metodológico utilizado para o desenvolvimento conceitual do projeto de um sistema de freio para veículo baja. Por apresentar determinadas características, tais como o desdobramento de etapas, racionalismo e retornos predeterminados, a metodologia proposta por Pahl *et al.* (2005) foi selecionada para este fim. Ela está dividida em quatro macro fases, das quais serão aplicadas as duas primeiras – Especificação do projeto e Projeto Conceitual – para o desenvolvimento do conceito. Foram utilizados também métodos complementares que facilitam as tomadas de decisões durante a fase projetual, uma análise dos sistemas utilizados atualmente, além do emprego de um método com ênfase intuitiva, o Braistorming. Esses procedimentos metodológicos servem de insumos para os requisitos de projeto, além de contribuírem para o desenvolvimento do seu conceito, uma vez que os componentes do sistema desempenham papel de extrema relevância para os resultados desejados e os procedimentos intuitivos contribuem com a descoberta de soluções inovadoras.

Dessa forma, segundo a metodologia adotada, este estudo apresenta duas seções interligadas e dependentes que formam o plano de procedimentos sequenciais adotados, e apresentados na Figura 30. A primeira parte é dedicada à especificação do projeto através da coleta de informações que esclarecem a tarefa, iniciando com a linha mestra e resultando com a elaboração da lista de requisitos. A segunda seção constitui o projeto conceitual; nele, a partir de requisitos de funcionamento, é definida a melhor concepção a ser adotada. Esta etapa inicia com a abstração para detectar a função global e as subfunções do dispositivo. A partir das subfunções primárias e secundárias determinadas, buscam-se princípios de funcionamento para cada subfunção, apresentada através da combinação desses princípios de funcionamento que, por sua vez, criara uma lista de soluções distintas de projeto, ou seja, variantes de concepção, encerrando esta fase com a avaliação quantitativa das soluções mais promissoras entre as variantes.

Figura 30 – Etapas de trabalho segundo a metodologia aplicada.



Fonte: Pahl *et al.* (2005, adaptada).

3.1 Fase 1: Especificação do projeto

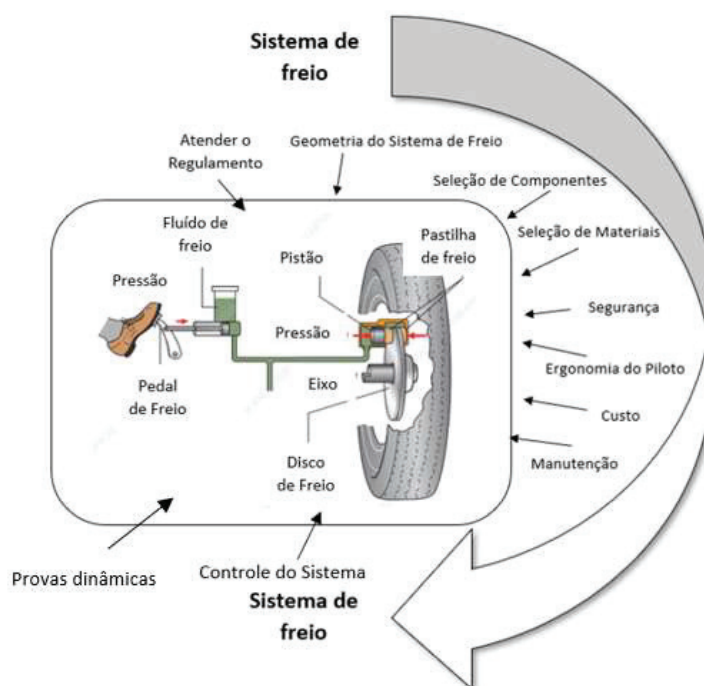
A fase 1 caracteriza-se pela especificação do projeto, que consiste na coleta de informações a fim de esclarecer a tarefa. Nela foram identificadas as especificações do dispositivo determinantes para sua solução e configuração através de uma formulação e documentação dessas especificações com indicações quantitativas. A coleta de informações inicia com a linha mestra e resulta na elaboração da lista de requisitos.

3.1.1 Linha mestra

A atividade inicial no desenvolvimento desta primeira fase projetual constitui-se na elaboração da linha mestra, essencial ao projeto por assegurar qualidade ao longo do processo de projeção. Ela consiste em grandezas e condições que influenciam na concepção do produto e estão relacionadas como diretrizes organizadas através de condicionantes.

Consideraram-se para este trabalho algumas das características propostas pelo autor e outras novas que atendem especificidades para o produto que está sendo desenvolvido. Com base nessas informações, a Figura 31 ilustra a linha mestra, baseada nas principais características encontradas na bibliografia, em produtos similares e nesta aplicação de forma específica. Suas condicionantes resultam nas características para determinar os requisitos do projeto, ou seja, o documento das especificações do produto.

Figura 31 – Linha mestra do projeto do sistema de freio.



Fonte: Autor (2020).

A linha mestra foi estipulada segundo as funções que o produto deve conter. Inicia com o controle do sistema, partindo-se do princípio que o sistema de freio será utilizado em provas dinâmicas da competição Baja SAE Brasil, o sistema deverá ser projetado para atender as normas do regulamento visando alto desempenho durante as provas dinâmicas, para isso, são fundamentais que as principais características do projeto do sistema de freio seja aplicadas.

Mesmo algumas características da lista de requisitos não sendo tão óbvias para aplicação no projeto de um novo produto, podem colaborar para a elaboração do desenvolvimento de um sistema mais seguro, resistente, com alta qualidade e com um bom desempenho.

Nesta linha mestra também se fizeram evidentes características específicas de ergonomia e *design* que trazem mais segurança ao sistema de freio.

No Quadro 2 as características principais e as características desejadas para o projeto.

Quadro 4 – Características desejadas para o dispositivo

Características Principais	Características Desejadas
Requisitos do Regulamento	Atender o Regulamento determinado pela SAE Brasil;
Componentes	Confiável, Seguro;
Ergonomia	Relação piloto produto, operação;
Seleção de Materiais	Resistentes, baixa densidade; inovadores;
Manutenção	De fácil inspeção, troca de componentes; fácil conserto
Segurança	Princípios de segurança diretos ao produto;
Custo	Buscar baixo custo de fabricação

Fonte: Autor (2020).

3.1.2 Especificação da lista de requisitos

A lista de requisitos é proveniente desta linha mestra, a qual contém as condicionantes que derivam nas principais características que vai atuar sobre a estruturas de funções, funcionamento e construção do produto. Ela contém requisitos básicos, técnicos e específicos, de atratividade e complementares, e serve de referência durante todo o desenvolvimento do projeto, pois nela constam as principais características que o dispositivo deve conter.

Com base na proposta de Pahl *et al.* (2005), em que as principais características do produto são detectadas, analisadas e classificadas através das características da linha mestra e da revisão bibliográfica, o Quadro 3 apresenta os requisitos organizados da seguinte forma: na primeira coluna constam as condicionantes da linha mestra; na segunda encontram-se a classificação das características do produto analisadas em duas categorias, requisitos desejados (representado pela letra D) ou exigidos (representado pela letra E); na terceira coluna encontra-se a lista dos requisitos; e na quarta e última coluna está indicado o responsável por essas definições. Os requisitos serão especificados por indicações numéricas e disposições verbais.

Quadro 5 – Lista de requisitos do projeto

Lista de requisitos			
Data: 10/08/2019	Projeto: Sistema de freio para veículo baja SAE		Pág.1/1
LINHA MESTRA	D E	REQUISITOS	RESP.
Requisitos do Regulamento	E	Ter dois sistemas hidráulicos independentes.	Autor
	E	Ter dois sensores de pressão para acionamento de luz de freio.	Autor
	E	Atender a norma SAE na definição luz de freio	Autor
	E	Ter sistema de travamento em elementos de fixação dos componentes de freio.	Autor
	E	Ter sistema que trave as quatro rodas	Autor
	E	Atender o regulamento para frear em pé único	Autor
	E	Ter linhas de freio afastadas de arestas cortante	Autor
	E	Ter linha de freio flexíveis no sistema de suspensão e direção e as mesmas não podem ser obstruídas por outras peças em nenhuma posição.	Autor
	E	Ter linhas projetadas para a pressão do sistema de freio, e devem ser quimicamente compatíveis com o fluido utilizado.	Autor
	D	Ter componentes específico para veículo Off Road	Autor
	E	Ter alta resistência dos materiais a condições severas de esforços	Autor
	D	Ter telemetria do sistema de freio	Autor
	D	Ter sistema de regulagem manual/automática de transferência de frenagem do eixo dianteiro e traseiro	Autor
	E	Atender o regulamento possuindo sistema de freio hidráulico que atue em todas as rodas.	Autor
	E	Ter ação do pedal de freio diretamente no cilindro mestre por uma conexão rígida, isto é, cabos não são permitidos.	Autor
	E	Ter sistema de freio capaz de travar todas as rodas, tanto em condição estática como em movimento em superfícies pavimentadas e não pavimentadas.	Autor
	E	Elaborar teste de frenagem	Autor
E	Atender conceitos mecânicos	Autor	

Fonte: Autor (2018).

Quadro 6 – Lista de requisitos do projeto (continuação)

Ergonomia Conforto do Piloto	D	Ter conforto ergonômico durante o acionamento do pedal de freio	Autor
	D	Ter posicionamento ergonomicamente correto para o piloto	Autor
Materiais Utilizados	E	Ter um método para a seleção de materiais utilizados no sistema	Autor
Segurança	E	Ter pedal de freio antiderrapante	Autor
	E	Atender o regulamento quanto a arestas cortantes nos componentes	Autor
Manutenção	D	Atender requisitos de manutenção preventiva: facilitação do acesso aos componentes com necessidade de manutenção	Autor
	D	Atender requisitos de manutenção corretiva: simplificação da estrutura para facilitar acesso e desmontagem de peças sem interferir em outras já montadas	Autor
	D	Ter componentes que possam ser facilmente repostas	Autor
Custo	D	Ter um conceito com linhas projetadas custo benefício	Autor

Fonte: Autor (2018).

Do quadro anterior, compreendem-se requisitos de grande relevância a partir do que se espera para o produto e das necessidades visando sua utilização e consultando a demanda de mercado. Essa lista apresenta uma série de exigências importantes no âmbito do projeto, que serão justificadas de forma mais detalhada através do Quadro 4.

Quadro 7 – Características e justificativa da lista de requisitos

Dispositivo Auxiliar no Projeto do Sistema de Freio	
Geometria do Sistema de Freio	1) Se faz necessário atender as regras do regulamento da SAE Brasil. 2) Seus componentes devem atender os requisitos mínimos do regulamento. 3) O sistema deve conter dispositivo anti falha ou perda total de freio.
Cinemática Movimento	1) Para maior eficiência do sistema é desejável que se aplique o melhor conceito. 2) As linhas de freio devem permitir o movimento do sistema de suspensão e direção.
Forças Carga aplicadas no sistema	1) Minimizar a força de atuação do pedal garantido eficiência de frenagem. 2) Obter um sistema de freio resistente a condições fora de estrada e ao desgaste.
Material dos Componentes	1) Muitas das características desejadas e/ou exigidas para o sistema são resultantes da adequação do material de superfície.
Sinal acionamento	1) O sistema será construído com dois sensores de pressão, estes serão instalados individualmente em cada linha de fluido.
Segurança	1) Deve-se obedecer às Regras da SAE Brasil e normas automotivas. 2) Sistema aprova de falhas.

Fonte: Autor (2018).

Quadro 8 – Características e justificativa da lista de requisitos (Continuação)

Dispositivo Auxiliar no Projeto do Sistema de Freio	
Ergonomia e Conforto	1) É importante que o dispositivo atenda de forma ergonômica e confortável o piloto conforme as normas, ao mesmo tempo, personalizada.
Manutenção	1) Facilitação ao acesso dos componentes com necessidade de manutenção e averiguação de defeitos através do sistema. 2) Possibilitar substituição de componentes do sistema de forma facilitada.
Custo	1) Projetar um dispositivo de baixo custo e alta eficiência.

Fonte: Autor (2018).

Como mencionado anteriormente, serve de insumo para os requisitos de projeto que estão organizados, segundo Pahl *et al.* (2005), em dois estágios. No primeiro são definidos os requisitos óbvios e, no segundo estágio, sempre que necessário, os requisitos são complementados e melhor detalhados com o auxílio de métodos apropriados.

Os requisitos determinados serão desdobrados em necessidades, que precisam ser satisfeitas sob quaisquer circunstâncias, e vontades, que devem ser consideradas na medida do possível, e ambos serão especificados através de aspectos quantitativos e qualitativos. Essa lista expõe condições iniciais, porém é continuamente atualizada, tornando-se um documento constituído de referências para todo o trabalho.

3.2 Fase 2: Projeto conceitual

Posterior ao esclarecimento do problema, através da definição da lista de requisitos, inicia-se a segunda fase de desenvolvimento. Nela busca-se clareza das informações para que a tarefa de projeto conceitual seja concebida, ocasião em que se estabelecem as principais características funcionais do dispositivo. E a definição preliminar de uma solução, em que serão estabelecidas as principais características funcionais do dispositivo para desenvolvimento completo na etapa posterior.

Essa fase inicia pela abstração, que serve para compreender o problema e estabelecer a função global; na sequência vem a formação da estrutura de funções, o desdobramento em funções principais e secundárias; e, na sequência, a busca pelos princípios de funcionamento, a concretização em variantes de concepção; por fim, a avaliação das principais variantes.

As principais características desejadas apresentadas na linha mestra norteiam a elaboração dos requisitos para o projeto tornando-se grandezas e condições que influenciam no desenvolvimento e na construção ao longo do processo de sua realização, sendo devidamente ajustadas em cada uma das etapas principais.

3.2.1 Abstração

A abstração é uma forma objetivada de não se deixar conduzir por ideias fixas e convencionais, além de condicionantes aparentemente restritivas. Nesta etapa, sua aplicação será utilizada para reduzir a complexidade do problema de projeto conceitual do dispositivo auxiliar e, ao mesmo tempo, ressaltar particularidades importantes. Pahl *et al.* (2005) afirmam que se a abstração for realizada corretamente, a função global e as principais condicionantes que caracterizam o problema de projeto são identificáveis.

O Quadro 5 apresenta a aplicação das cinco etapas do processo de abstração para a concepção do dispositivo auxiliar.

Quadro 9 – Abstração

<p>Resultado da 1ª e 2ª etapas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Possuir componentes de alta eficiência; • Possibilitar sistema com menor número de componentes; • Possuir sensor de pressão e luz de sinalização de parada; • Possuir linhas de freio para o eixo dianteiro e para o eixo traseiro.
<p>Resultado da 3ª etapa</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diminuir forças de pressão no pedal; • Possuir regulagem de transferência de carga de frenagem do eixo traseiro e dianteiro.
<p>Resultado da 4ª etapa</p> <ul style="list-style-type: none"> • Atender a atributos ergonômicos; • Determinar material dos componentes;
<p>Resultado da 5ª etapa</p> <ul style="list-style-type: none"> • Efetuar a frenagem nas 4 rodas.

Fonte: Autor (2019).

3.2.2 Elaboração da função global e da estrutura de funções

Com o problema elaborado através da técnica da abstração focando nas principais funções do dispositivo, se estabelece a função global. Obrigatoriamente, ela deve ser realizada por variáveis de entrada, conversão ou transformação de algum tipo de material, energia ou sinal e, posteriormente, por variáveis de saída. Deve ser o mais simples possível, pois dessa forma conduz a sistemas simples e viáveis economicamente.

Para um problema técnico envolvente conversão de energia, material e sinal procura-se uma solução. Para isso precisa existir num sistema uma relação reprodutível entre entrada e saída. De acordo com Pahl *et al.* (2005), os sistemas técnicos cujo fluxo principal constitui-se por sinais, é denominado dispositivo, justificando o caráter abordado para o produto em todo o trabalho.

A função global do sistema de freio apresentado na Figura 32 apresenta a configuração funcional referente à relação de entradas e saídas do processo.

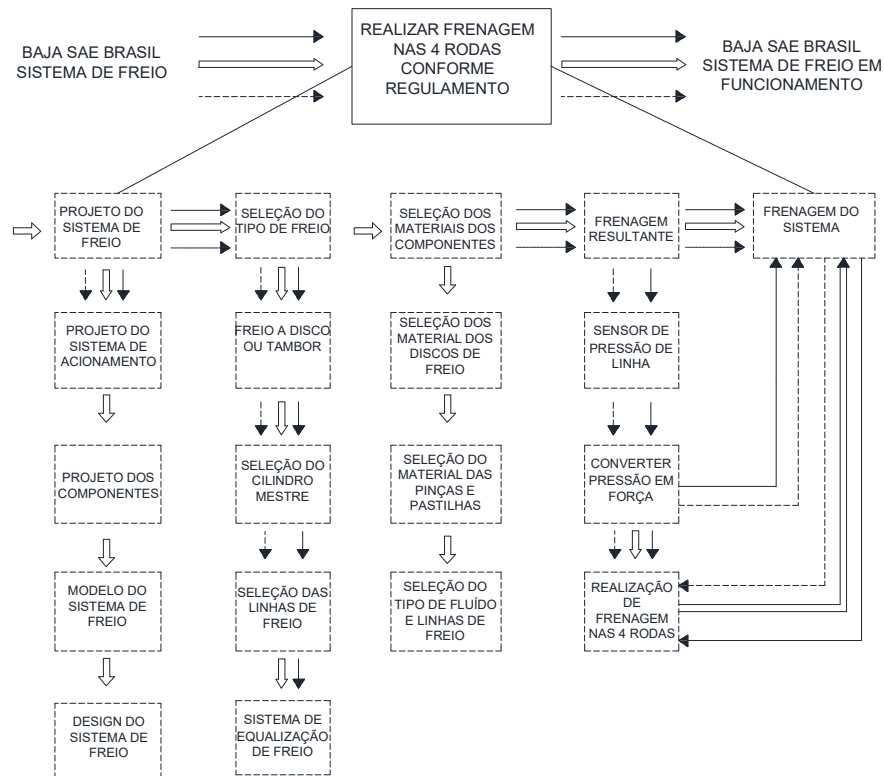
Figura 32 – Função global



Fonte: Autor (2020).

Segundo Pahl *et al.* (2005), uma função global pode ser desdobrada em subfunções, que são estruturas arranjadas em série ou em paralelo, de menor complexidade. Sua interligação resulta na estrutura da função que representa a função global Figura 33. Esta etapa objetiva simplificar a função global e interligar essas subfunções numa estrutura simples e inequívoca. Desse modo, chega-se a um fluxograma que classifica cada função do dispositivo, relacionando a função principal com suas subfunções.

Figura 33– Estrutura de funções: subfunções relacionadas ao projeto



Fonte: Autor (2020).

De acordo com o a estrutura de funções, as principais são indispensáveis para o funcionamento do produto, enquanto as secundárias podem ser utilizadas conforme a necessidade.

Após definir a função global, as funções principais e suas respectivas subfunções, pode-se caracterizar cada uma delas a seguir.

- 1) **Projeto do sistema de freio:** o dispositivo precisa ser projetado de acordo com as normas da SAE Brasil para participar da competição, seus componentes devem ser resistentes e atendendo todos os requisitos mencionados no regulamento.
- **Projeto do sistema de acionamento:** o acionamento do sistema de freio deve ser feito por pedal único de maneira que a pressão aplicada no sistema deverá ser executada por cilindro de dupla ação, com reservatórios individuais ou por dois cilindros simples estes também deverão ter reservatórios de cilindros independentes.
- **Projeto dos componentes:** os componentes devem ser projetados conforme o regulamento da competição, resistente e a prova de falhas para manter a integridade do sistema e segurança ao piloto.

- **Modelo do Sistema de Freio:** o sistema de freio automotivo selecionado para o projeto deve atender todos os requisitos automobilísticos, atualmente os mais utilizados para veículos é o sistema de freio a disco ou sistema de freio a tambor ambos podem ser acionados por cilindro.
 - **Design do produto:** um produto tem atributos – técnicos e estéticos – e associações percebidas – descrevem a reação a ele – e são esses que lhe dão personalidade. Esses atributos – estéticos, quando ligados aos sentidos; de associação, podem ser manipulados para atender a um caráter desejado. Para criar uma linguagem para o design do sistema de freio, ele precisa, de forma subjetiva, transmitir um design seguro, efetivo, com tecnologia, amigável e de fácil usabilidade – interface e controles simples.
- 2) **Seleção do Tipo de Freio:** para que o sistema de freio tenha uma boa performance e possibilite a melhor eficiência do sistema de freios a seleção de seus componentes deve atender os requisitos de utilização, sendo resistente as condições de extremas de uso levando em consideração terrenos acidentados.
- **Freio a disco ou Tambor:** o tipo de freio interfere diretamente no sistema de freio fazendo com que interfira diretamente na eficiência do sistema, atualmente os discos de freio são mais utilizados em veículos de alta performance devido ao número de componentes ser menor que no freio a tambor, outra característica que faz com que o freio a disco seja mais eficiente que o freio a tambor é a troca de calor e limpeza dos componentes.
 - **Cilindro mestre:** para que o sistema de freio atenda o regulamento o cilindro mestre de freio deverá ser de dupla ação ou um cilindro mestre por linha de freio, ou seja, o cilindro mestre tem que atua independente em cada linha e será acionado por pedal único.
 - **Linhas de freio:** as linhas de freio devem atender o regulamento da SAE Brasil, o material das linhas de freio deve ser compatível com o fluido de freio e a aplicação sendo flexíveis nas partes de articuladas, como suspensão e direção. Seu material deve ser resistente para resistir à pressão do sistema hidráulico de freio.
 - **Equalização de freio:** a equalização do sistema de freio pode ser feita por válvula equalizadora manual, automática ou *brake balance*. A equalização do sistema de freio tem a função de equalizar a transferência de carga do eixo traseiro para o eixo dianteiro e assim garantir uma maior dirigibilidade e controle do veículo.
- 3) **Seleção do material dos componentes:** tem a função de selecionar o material que possui melhor desempenho com relação à maioria dos quesitos do sistema de freio.

- **Seleção do material do disco de freio:** o material do disco de freio está relacionado a pastilha de freio, este deve ter resistência ao desgaste, troca de calor eficiente e um bom coeficiente de atrito relacionado ao material da pastilha de freio.
 - **Seleção do material das pastilhas de freio e da pinça de freio:** o as pinças de freio devem ser elaboradas de material com excelente resistência e seja compatível ao fluido de freio e resistente a pressão, as pastilhas de freio podem ser de materiais como cera orgânica, semi metálica, metálica, cerâmica e fibra de carbono estes estão relacionados diretamente ao tipo de disco de freio.
 - **Seleção do fluido de freio:** o fluido de freio deve atender as normas automobilística para o sistema de freio do baixa o mesmo deve atender aos requisitos relacionados a temperatura do sistema e a umidade do sistema, o ponto de ebulição e determinante para a seleção do fluido.
- 4) **Frenagem resultante:** é necessário que todos os componentes estejam relacionados de forma eficaz ao sistema de freio, todos os subsistemas devem atender as normas da SAE Brasil e automobilísticas fazendo com que ao ser acionado o sistema ligue a luz de advertência de frenagem e trave as 4 rodas do veículo.
- **Sensor de pressão de linha:** cada linha de freio deverá ser assistida por um dispositivo que quando acionado o sistema de freio ligue a luz de advertência estes sensores devem ser aplicados de forma individual para evitar falhas.
 - **Converter força em pressão:** para o funcionamento do sistema de freio o mesmo deve ser acionado por sistema de pé único onde o mesmo transmitira uma força mecânica ao cilindro mestre o qual faz com que as linhas de freio sejam pressurizadas e acionam as pinças de freio executando o travamento das rodas do veículo.
 - **Realização de frenagem nas 4 rodas:** o sistema de freio após transmitir a força ao sistema hidráulico faz que as 4 rodas do veículo venham a travar de forma que o piloto não necessite de muito esforço garantido o posicionamento ergonômico para o piloto.
- 5) **Frenagem do Veículo:** sua função é fazer que o veículo pare na menor distância e tempo possível garantido a integridade do piloto.

Esclarecidas as funções relacionadas ao projeto, passa-se, então, para a próxima etapa, que visa esboçar formas de solução para cada função específica.

4 APRESENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DO CONCEITO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Dando sequência à metodologia proposta para o desenvolvimento deste trabalho, se faz necessária a realização de uma análise quantitativa das variantes de solução encontradas. Esse processo avaliativo compara as variantes de solução mais promissoras em conformidade com o objetivo geral preestabelecido, mensurado em relação aos requisitos mais relevantes.












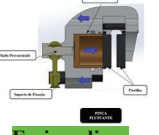

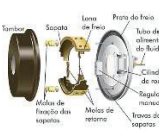
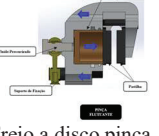

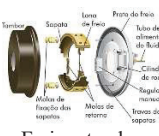








4.1 Avaliação das variantes

Para uma avaliação consistente, que estabeleça a melhor concepção entre as variantes do sistema proposto selecionados na etapa anterior, resultantes da lista de seleção com as combinações, há necessidade de uma atribuição de valores. Para tanto, se estabelece o atendimento às exigências da lista de requisitos que serão convertidos em critérios de avaliação. As exigências não atendidas eliminam as variantes básicas inadequadas. Nesse momento se determinam critérios de valor que são obtidos a partir das exigências da lista de requisitos somados às características gerais técnicas para os princípios de funcionamento. Logo, é necessário atribuir um valor a cada característica desejada, considerando os maiores valores àqueles requisitos de grande importância para a concepção final do projeto do sistema de freio.

Para elaborar os critérios de avaliação, foi necessária a identificação da sua importância relativa (peso) para o valor global da solução, eliminando conseqüentemente os critérios irrelevantes. Os critérios extraídos da lista de requisitos denominam-se fatores de ponderação, pontuados de acordo com suas diferentes complexidades. O valor numérico é obtido através da multiplicação do fator de ponderação do seu respectivo nível pelos fatores de ponderação dos níveis superiores.

Após a definição da função global e suas funções principais, foram definidas as subfunções principais conforme a importância que as mesmas exercem no sistema, estas influenciam diretamente no funcionamento do sistema fazendo com que o mesmo tenha uma anterior melhor eficiência, conhecendo a necessidade, são apresentadas possíveis soluções para cada função apresentada anteriormente. Para auxiliar nestes princípios de soluções, uma matriz morfológica foi elaborada. Esta tem por conceito, apresentar possíveis formas de solução para cada etapa do projeto. A matriz morfológica é apresentada na Quadro 6 e os componentes selecionados estão destacados e verde.

Quadro 10 – Matriz morfológica com soluções para cada função

Subfunções		Soluções			
		C1	C2	C3	C4
L1	Tipo de Fluido de freio	 Dot 3	 Dot 4	 Dot 5	 Dot 5.1
L2	Linha de freio	 Aeroquipe	 Tubo de Aço	 Mangueira de borracha com trama aço	 Mangueira de borracha com trama aço
L3	Linha de freio Mistas	 Aeroquipe /tubo metálico	 Mangueira de Borracha Trama de Nylon/ Tubo Metálico	 Aeroquipe /Mangueira de Borracha Trama de Nylon	
L4	Tipos de freio Dianteiro	 Freio a disco pinça flutuante	 Freio a disco pinça fixa	 Freio a tambor	----
L5	Tipos de freio Traseiro	 Freio a disco pinça flutuante	 Freio a disco pinça fixa	 Freio a tambor	----
L6	Disco de freio dianteiro	 Disco de freio solido	 Disco de freio ventilado	 Disco de freio solido ventilado com frisos para autolimpeza	 Disco de freio ventilados com frisos para autolimpeza
L7	Disco de freio traseiro	 Disco de freio solido	 Disco de freio ventilado	 Disco de freio solido ventilado com frisos para autolimpeza	 Disco de freio ventilados com frisos para autolimpeza

Fonte: Autor (2019).

Quadro 11 – Matriz morfológica com soluções para cada função

Subfunções		Soluções			
		C1	C2	C3	C4
L8	Disco de freio dianteiro	 Fixo	 Flutuante		
L9	Disco de freio traseiro	 Fixo	 Flutuante		
L10	Pastilha de freio dianteira	 Orgânica	 Semi metálica	 Metálica	 Cerâmica
L11	Pastilha de freio traseira	 Orgânica	 Semi metálica	 Metálica	 Cerâmica
L12	Cilindro mestre	 Dois cilindros mestres simples	 Cilindro mestre duplo	---	---
L13	Sinaleira de freio	 Sinaleira com lâmpada halogêneo	 Sinaleira de led	---	---
L14	Válvula de Equalização de freio	 Válvula equalizadora automática	 Válvula equalizadora manual	 Barra de equilíbrio	
L15	Interruptor de freio	 Interruptor de Pressão de freio	 Interruptor de Contato	---	---

Fonte: Autor (2019).

Partindo das subfunções pode se analisar quais são os materiais com selecionados e suas respectivas descrições, onde foi levantado alguns princípios de funcionamento dos componentes aplicados ao sistema de freio e disponibilizados comercialmente, foi gerado a matriz morfológica, que tem a função de apresentar possíveis formas de solução para cada problema do sistema de freio. Na combinação sistemática de princípios de elucidação, na qual constam colunas e linhas, e os princípios de solução.

Após a confecção da matriz procura-se definir um número de soluções possíveis para adequá-lo ao projeto. Havendo a reunião de todas as variáveis pode-se melhorar, beneficiando o projeto. Para a realização desta matriz focou-se no princípio de melhor solução para cada etapa prevista pela metodologia de projeto, encontrando assim possibilidades reais de se atender a lista de requisitos proposta.

Após a identificação das soluções para as funções principais do equipamento foi necessária uma avaliação minuciosa para que a escolha das peças e materiais propostos seja feita corretamente. Através de uma lista de seleção esboça-se na Tabela 4 a capacidade de solução que cada princípio possui.

Neste caso específico foram colocados os seguintes critérios para análise:

- Atende o regulamento?
- Atende os requisitos de Segurança?
- Custo?
- Baixa manutenção?
- Atende as necessidades e eficiência na utilização?

Tabela 4 – Soluções para funções principais

	Avaliar Alternativas de solução de acordo com os critérios e seleção S – Sim N – Não					Possíveis soluções encontradas	
	• Atende o Regulamento?						
	• Atende aos requisitos de Segurança?						
	• Custo?						
	• Baixa Manutenção?						
	• Atende as necessidades e eficiência na utilização?						
Observações:							
L1C1	S	S	S	N	N	NÃO ATENDE	
L1C2	S	S	S	S	S	Repele a umidade evitando o ponto de ebulição devido a temperatura e contato com água	OK
L1C3	S	S	N	N	S	Custo elevado, absorver umidade	NÃO ATENDE
L1C4	S	S	N	N	S	Custo elevado	NÃO ATENDE
L2C1	S	S	S	N	S	Aeroquip não expande e é flexível	NÃO ATENDE
L2C2	S	S	S	S	N	Tubo rígido, baixo custo e não expande.	NÃO ATENDE
L2C3	S	S	S	N	N	Mangueiras expande quando submetidas a pressão	NÃO ATENDE
L2C4	S	S	S	N	N	Mangueira pouco flexível, a trama de aço oxidada causando manutenção	NÃO ATENDE
L3C1	S	S	S	S	S	Linha de freio mista reduzindo o custo dos componentes	OK
L3C2	S	S	S	S	N	A mangueira de Borracha expande não tendo um bom rendimento.	NÃO ATENDE
L3C3	S	S	S	N	N	A mangueira com trama de nylon expande não tendo uma boa performance	NÃO ATENDE
L4C1	S	S	S	S	S	Boa Performance	OK
L4C2	S	S	S	S	N	Devido a geometria do conjunto a pinça fixa não atende a necessidade tendo interferência com os outros componentes	NÃO ATENDE
L4C3	S	S	S	N	N	Alta manutenção, elevado número de componentes e baixa performance	NÃO ATENDE
L5C1	S	S	S	S	N	As pinças de freio atuam diretamente sobre o eixo de transmissão assim obtendo uma melhor performance	NÃO ATENDE
L5C2	S	S	S	S	S	Boa performance	OK
L5C3	S	S	S	N	N	Alta manutenção, elevado número de componentes e baixa performance	NÃO ATENDE

Fonte: Autor (2019)

Tabela 5 – Soluções para funções principais (continuação)

Avaliar Alternativas de solução de acordo com os critérios e seleção S – Sim N – Não						Possíveis soluções encontradas	
• Atende o Regulamento?							
• Atende aos requisitos de Segurança?							
• Custo?							
• Baixa Manutenção?							
• Atende as necessidades e eficiência na utilização?							
Observações:							
L6C1	S	S	S	N	N	Devido a ser sólido o mesmo tem maior aquecimento	NÃO ATENDE
L6C2	S	S	S	S	S	Alta performance, porém devido a sua construção causa interferência em outros componentes	NÃO ATENDE
L6C3	S	S	S	N	N	Alta performance devido aos frisos para limpeza	OK
L7C1	S	S	S	N	N	Devido a ser sólido o mesmo tem maior aquecimento	NÃO ATENDE
L7C2	S	S	S	S	S	Alta performance, porém devido a sua construção causa interferência em outros componentes	NÃO ATENDE
L7C3	S	S	S	N	N	Alta performance devido aos frisos para limpeza	OK
L8C1	S	S	S	S	S	Boa performance	OK
L8C2	S	S	S	S	N	Boa performance, porém, devido a sua construção causa interferência em outros componentes	NÃO ATENDE
L9C1	S	S	S	S	N	Boa performance	OK
L9C2	S	S	S	S	S	Boa performance, porém, devido a sua construção causa interferência em outros componentes	NÃO ATENDE
L10C1	S	S	N	N	S	Desgaste precoce	NÃO ATENDE
L10C2	S	S	S	S	S	Boa performance, excelente custo benefício	OK
L10C3	S	S	S	N	S	Boa performance, elevado custo	NÃO ATENDE
L10C4	S	S	S	N	S	Excelente performance, custo elevado	NÃO ATENDE
L11C1	S	S	N	N	S	Desgaste precoce	NÃO ATENDE
L11C2	S	S	S	S	S	Boa performance, excelente custo benefício	OK
L11C3	S	S	S	N	S	Boa performance, elevado custo	NÃO ATENDE
L11C4	S	S	S	N	S	Excelente performance, custo elevado	NÃO ATENDE
L12C1	S	S	S	S	S	Ideal para barra de equilíbrio, proporcionado alto rendimento e segurança	OK
L12C2	S	S	S	S	N	O sistema de equalização de frenagem deve ser feito por válvulas equalizadoras	NÃO ATENDE
L12C3	N	N	N	N	N	Não se aplica	NÃO ATENDE
L12C4	N	N	N	N	N	Não se aplica	NÃO ATENDE
L13C1	S	S	S	S	N	Esta possui multifilamento de tungstênio	NÃO ATENDE

Fonte: Autor (2019).

Tabela 6 – Soluções para funções principais (continuação)

L13C2	S	S	S	S	S	Boa luminosidade, baixo consumo de energia	OK
L14C1	S	S	S	S	N	Devido as condições de pista altera a mesma não tem uma boa eficiência	NÃO ATENDE
L14C2	S	S	S	S	N	Só é possível utilizar na linha independente	NÃO ATENDE
L14C3	S	S	S	S	S	Baixo custo, confiável e fácil regulagem	OK
L15C1	S	S	S	S	S	Ideal para linhas de pressão de fluido, eficiente funcionamento e baixa manutenção	OK
L15C2	N	N	S	N	N	Não é eficiente devido a não ser a prova de água.	NÃO ATENDE

Fonte: Autor (2019).

Baseando-se nos dados informados no Quadro 06 e na Tabela 05, visualiza-se as melhores alternativas e as funções principais para a seleção dos componentes do sistema de freio, estas informações conseguem anteceder a fase de projeto orientando qual a melhor indicação para a concepção do do sistema de freio a qual sera aplicada conforme o roteiro cidtado no procedimento para a execução do projeto de freio.

4.2 Resultados e discussões

Conforme a metodologia retratada no presente trabalho, observou-se a eficácia da sua organização. Tal aspectos se comportaram de forma lógica e sequência durante o desenvolvimento do projeto, ainda contribuindo com as estruturas auxiliares sugeridas pelos autores, os quais foram de fundamental importância para a seleção de soluções a qual estimularam o desenvolvimento da matriz morfológica. É extrema importância para o método que foi desenvolvido o trabalho pois faz com que as diretrizes sejam demonstradas de maneira direta e eficiente.

Neste trabalho utilizou-se um método para o desenvolvimento do sistema de freio para um veículo Baja SAE Brasil, o qual será utilizado em competições de nível regional, nacional e mundial.

Os resultados anteriormente apresentados compreendem as saídas das atividades propostas pela metodologia de Pahl *et al* (2013). na primeira e segunda fase com base dos itens selecionados para a aplicação da metodologia. Após descarte de soluções, resultou em uma variante de solução, que orientará o desenvolvimento do sistema de freio.

O passo inicial, ou seja, a caracterização do projeto para a concepção do sistema de freio, foi a abordagem das características e necessidades onde será aplicado o mesmo, elaborando uma listagem de requisitos ou exigências mínimas, a qual foram satisfeitas.

O próximo passo refere-se à fundamentação na qual determina a organização da estrutura de funções e métodos de soluções, resultantes da análise de subfunções a qual aborda o projeto e soluções possíveis da matriz morfológica.

A lista de requisitos Quadro 5 foi fundamental para o processo de geração do conceito do sistema de freio pois ali pode-se visualizar as solicitações do regulamento e desejos do projetista, ela é constituída pelas características principais de todos os itens relacionados com o projeto, são eles: requisitos de regulamento do Baja SAE Brasil, sistemas de freio automotivo, ergonomia, matérias utilizados, manutenção, segurança e custo, os quais após o princípio de solução escolhido foram aplicados ao sistema.

A concepção do tipo de freio demonstra a principais etapas para se elaborar o projeto do sistema de freio, tendo assim ação direta na construção do procedimento para elaboração do mesmo, esta se dá através da metodologia conceitual a qual pode-se observar na Figura 34.

Após a elaboração do conceito gerou-se um modelamento do sistema de freio o qual demonstra o conceito final da aplicação da metodologia.

Os itens relacionados a metodologia contextual do sistema de freio para veículo off Road, foram selecionados conforme a sequência apresentada no Quadro 7, este tem o objetivo de orientar os acadêmicos na fase do projeto, descrevendo as etapas a ser seguidas conforme a metodologia conceitual, o procedimento da concepção do sistema de freio tem embasamento teorico o qual é definido antes da fase de execução do mesmo, acertando a probabilidade acertiva e seguindo todos os requisitos necessários para o bom desenvolvimento.

Para melhor entendimento e compressão dos itens relacionados para a concepção se realizou um *Brainstorming*, este foi elaborado por um grupo de componentes que já havia participado do projeto Baja SAE Brasil, varias contribuições foram atribuídas ao desenvolvimento da metodologia da pesquisa, neste foram apontado assuntos referente a sequencia do desenvolvimento e situações que o sistema de freio vai ser submetido a prova.

Quadro 12 – Procedimento concepção do sistema de freio.

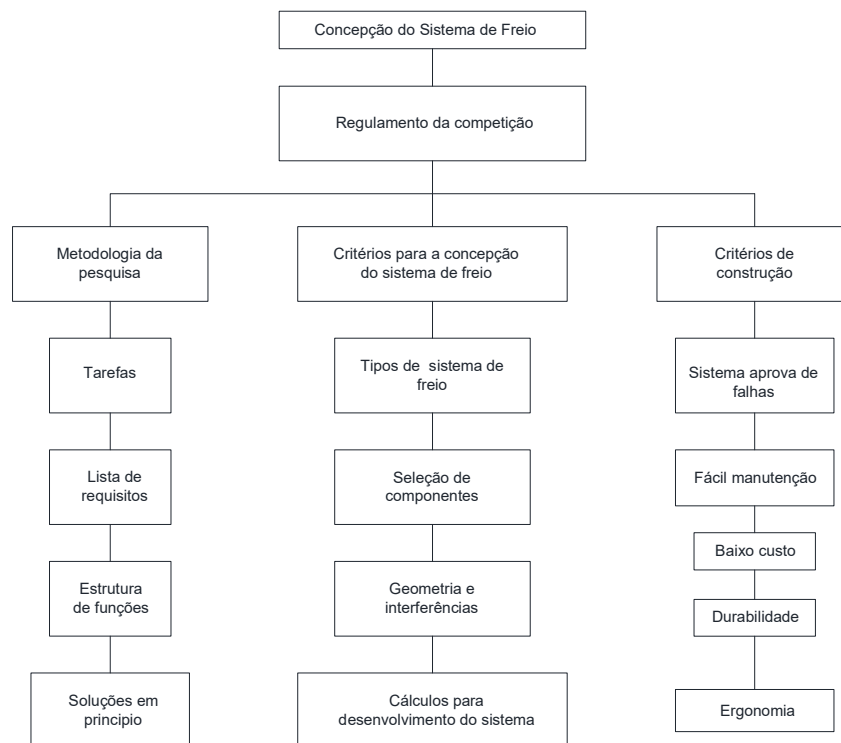
Procedimento Para Concepção do Sistema de Freio		
Etapas		Orientações
1	Regulamento Baja SAE Brasil	Elaborar estudo prévio visando as regras da competição e regras do projeto.
2	Sistema de Freio	Elaborar estudo dos sistemas de freio.
3	Definir Tipos de Sistemas de Freio Dianteiro	Definir qual é o melhor tipo, fixo ou flutuante.
3.1	Definir se a pinça de freio deve ser comercial ou projetada	Justificar funcionamento, custo, material, manutenção e segura.
3.2	Pastilha de freio	Selecionar o material da pastilha de freio.
3.3	Disco de freio	Definir modelo do disco, se o disco for fixo ou flutuante.
4	Definição da pinça de freio traseira	Definir qual é o melhor tipo, fixo ou flutuante.
4.1	Definir se a pinça de freio deve ser comercial ou projetada	Justificar funcionamento, custo, material, manutenção e segura.
4.2	Pastilha de freio	Selecionar o material da pastilha de freio.
4.3	Disco de freio	Definir modelo do disco, se o disco for fixo ou flutuante.
5	Conjunto de acionamento do sistema de freio	Definição de quais componentes e tipos de freio serão utilizados.
5.1	Pedal de freio	Definição do material, definição do esforço, posição ergonômica.
5.2	Sistema de Equalização de freios	Definir qual sistema de regulagem utilizar, barra de equilíbrio, válvula equalizadora manual ou automática.
5.3	Cilindro Mestre	Cilindro mestre simples ou duplo.
6	Linhas de freio	Definir qual a aplicação, linhas flexíveis e de baixa expansão em sua área nas partes articuladas de suspensão e tubos fixos rígidos nas áreas que não sofrem articulação.
7	Fluído de freio	Avaliar temperatura de ebulição, avaliar absorção de umidade.
8	Cálculos do Sistema de freio	Desenvolver cálculos conforme a configuração dos componentes a ser utilizado.
9	Aplicar Metodologia Conceitual para validar o projeto	Elaborar matriz morfológica e lista de requisitos para a definição dos materiais e componentes a ser utilizado no sistema. Nesta deve se iniciar com especificação de projeto em primeiro momento e após projeto conceitual.

Fonte: Autor, 2019

Assim sendo, com o auxílio da metodologia para projeto de um sistema de freio de veículo baja off-Road pode-se selecionar os seguintes componentes: Fluido de freio Dot 5, devido ao alto ponto de ebulição e não absorver umidade; Linha do fluido hidráulico foi selecionada a linha mista sendo composta por Aeroquip para partes flexíveis e articulação, devido a sua resistência a expansão, e o tubo rígido metálico nos locais que não sofrem flexões devido ao custo benefício; Para travar as quatro rodas foi utilizado as duas pinças flutuantes de um pistão na dianteira as quais foram acopladas aos montantes dianteiros, e duas pinças fixas no eixo traseiro, para as mesmas foram selecionadas pastilhas de freio semimetálica a qual tem um melhor custo benefício e uma boa performance; os discos de freio serão produzidos do tipo com ranhuras para auto limpeza e refrigeração retardando o efeito fade; O tipo de acionamento para o sistema foi composto por dois cilindros mestres simples devido ambos interligados ao sistema de acionamento da barra de equilíbrio tendo uma excelente performance, fácil manutenção e ótimo custo benefício.

A concepção do projeto do sistema de freio, esta se dá através da metodologia conceitual a qual pode-se observar na Figura 34.

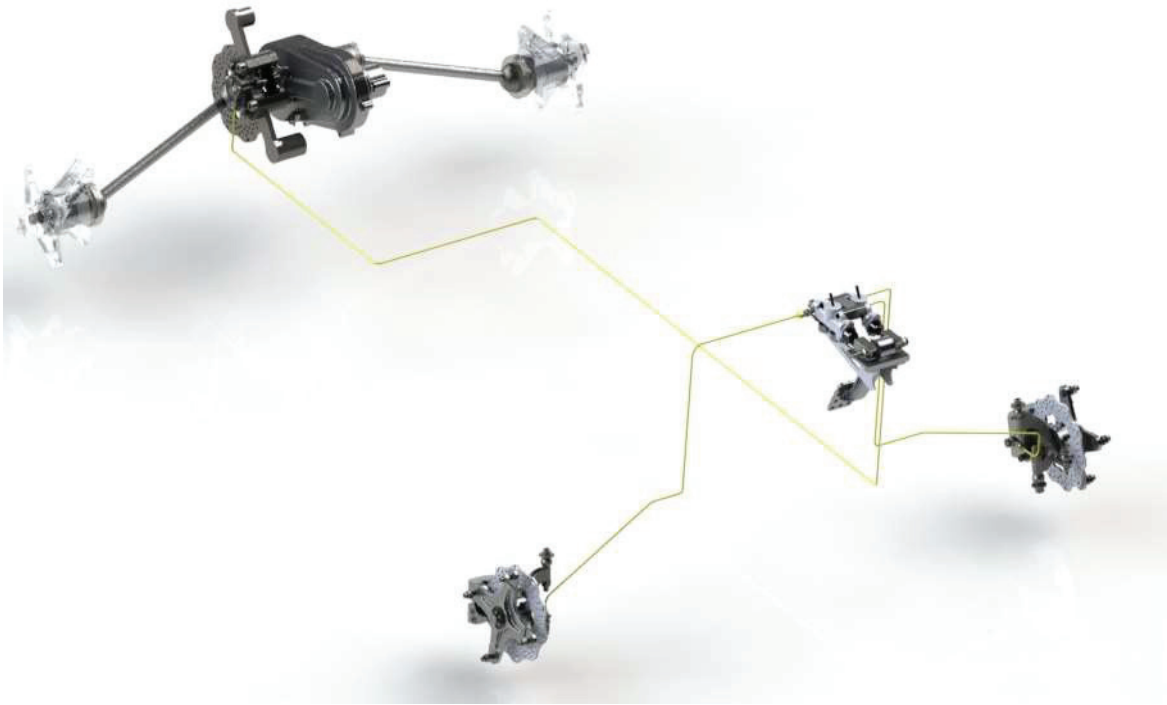
Figura 34 – Concepção do projeto do sistema de freio



Fonte: Autor, 2020.

Na Figura 35 pode se visualizar o projeto conceitual, demonstrando os itens selecionados na metodologia projetual.

Figura 35 – Proposta para projeto conceitual.



Fonte: Autor, 2020

Destaca-se os itens selecionados com o auxílio da metodologia conceitual de projeto os componentes para o projeto do sistema de freio, como pode-se observar no Quadro 8.

Quadro 13 – Componente selecionados para o projeto de freio.

Componentes selecionados para o Projeto de Freio			
Descrição do Componente	Componente Selecionado	Descrição do Componente	Componente Selecionado
Tipo de Fluido de freio	 Tipo de Fluido de freio Dot 5	Pastilha de freio dianteira	 Semi metálica
Linha de freio	 Aeroquipe  Tubo de Aço	Pastilha de freio traseira	 Semi metálica
Linha de freio Mistas	 Aeroquipe /tubo metálico	Cilindro mestre	 Dois cilindros mestres simples
Tipos de freio Dianteiro	 Freio dianteiro a disco pinça flutuante	Sinaleira de freio	 Sinaleira de led
Tipos de freio Traseiro	 Freio traseiro a disco pinça fixa	Válvula de Equalização de freio	 Barra de equilíbrio
Disco de freio dianteiro	 Disco de freio ventilado	Interruptor de freio	 Interruptor de Pressão de freio
Disco de freio traseiro	 Disco de freio ventilado		

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho adotou-se a metodologia de projeto proposta pelos autores Pahl *et al.* (2005) buscando atender os seguintes objetivos: visualizar os componentes e suas aplicações de forma que os mesmos atendam o regulamento do Baja SAE Brasil com o auxílio de uma metodologia projetual, assim para os problemas detectados apresentar soluções corretivas.

A aplicação da metodologia projetual demonstrou informações importantes na lista de requisitos e nas variantes de soluções capazes de auxiliarem na execução da seleção dos itens em pauta.

Pode se observar que os itens que foram aplicados a metodologia projetual direcionaram para a seleção mais indicada para aplicação no projeto, demonstrando com clareza as principais características para cada função dos componentes selecionados.

Desta forma, os objetivos propostos por este estudo foram atendidos. A metodologia projetual possibilitou a criação de uma avaliação criteriosa dos componentes avaliados fazendo com que os mesmos atendam ao regulamento do Baja SAE Brasil e tenham uma melhor eficiência durante sua utilização.

Sendo assim pode se concluir que o desenvolvimento conceitual mapeia a realidade com vista a organiza-la de forma a se tornar uma ferramenta para auxiliar os acadêmicos na elaboração do projeto diminuindo a probabilidade de falhas e não cumprimento de regras do regulamento.

Com o entendimento do conceito do sistema de freio a metodologia de desenvolvimento do sistema cria ferramentas para a seleção dos componentes conforme o regulamento onde todas as características são lançadas como requisitos mínimos de exigência para contemplar o regulamento, assim fazendo com que a seleção de componentes seja elaborada previamente a construção do projeto, selecionando as melhores combinações para os componentes.

Após elaboração de uma matriz morfológica visualiza-se as funções de cada componente do sistema de freio, assim demonstrando as soluções para a elaboração do projeto do sistema de freio tendo em vista as subfunções e soluções cria-se as soluções para as funções principais as quais serão colocadas por critérios, os quais analisam os objetivos mencionados para um excelente desenvolvimento.

Sendo assim, destaca-se que a elaboração de um procedimento para a execução do projeto conceitual, e a sequência a ser seguida, evita que durante o desenvolvimento conceitual do projeto, etapas sejam ignoradas. Este procedimento teórico faz com que todos os requisitos sejam cumpridos.

Com a aplicação desta metodologia conceitual pode-se constatar que o estudo prévio da seleção dos componentes, influencia diretamente na performance do sistema de freio, demonstrando um resultado satisfatório, pois demonstra de forma clara e segura qual as melhores componentes para a aplicação desejada, criando um procedimento básico onde será demonstrado o fluxograma para execução do projeto.

Com a experiência apresentada neste trabalho pode se concluir que a metodologia projetual se encaixa diretamente para a execução do projeto do sistema de freio para o veículo Baja SAE Brasil podendo ser aplicado aos componentes que não foram citados neste trabalho e matéria prima utilizada para a fabricação dos seus componentes, assim aumentando a probabilidade de um melhor projeto.

REFERÊNCIAS

- ABREU, R. M., 2012, “**Simulação e Ensaio de Mecanismo de Freio Automotivo**”. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, 137p.
- ABREU, RAFAEL MARTINS DE., **Simulação E Ensaio De Mecanismo De Freio Automotivo**, 28 de maio de 2018.
- BAUER, H. (Ed.). **Convectional and Electronic Braking Systems**. 3. Ed. Plochingen: Roberto Bosch GmbH, 2003.
- BLAU, P.J., **Compositions, Functions and Testing of Friction Brake Materials and their Additives**, Technical report, ORBL/TM-2001/64, Oak Ridge National Laboratory, 2001.
- BLAU, P. J., **Friction Science and Technology: From Concepts to Applications**, 2 ed. USA, CRC Press, 2008
- BIRCH, T.W., **Automotive Braking Systems**, Third edition, Delmar, 1999.
- BREMBO, S.P.A.; 1997, “**The Brake Disc Manual**.” Manual, Curno, 128p.
- BOSCH, Robert. **Manual de tecnologia Mecânica**, 2004.
- BUDYNAS, R., NISBETT, K., **Shigley’s Mechanical Engineering Design**, 8 ed. USA, McGraw-Hill, 2006.
- COSTA, P. G. **A Bíblia do Carro**, 2002.
- DIAS, A. **Sistema de freio automotivo e manutenção**. Brasil: Publicação interna da UFSC. 2000.
- DIULGHEROGLO, Pedro A. Disponível em: < <http://www.ebah.com.br/apostila-de-freios-pdf-a52993.html>> Acessado em 06/05/04.
- FERREIRA, Aurélio Buarque H. Novo dicionário da língua portuguesa. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986.
- GAO, C.H., Lin, X.Z., 2002. “**Transient Temperature Field Analysis of a brake in a Non-Axisymmetric Three-dimensional Model**”. Journal of Materials Processing Technology 129 (2002) 513-517.
- GILLESPIE, T. D., **Fundamentals of Vehicle Dynamics**, Warrendale, SAE International, 1992.
- GIRLIN, Lucas Braking theory, **brake Actvation Equipment, Brake Pressure Control Valves and Brake PiPes and Hoses**. Shirlei Lucas Automotive Ltda., 1995.
- HANDBOOK, general., (**Airframe & Powerplant Mechanics-General Handbook**). Edição Revisada 2002.
- HALDERMAN, J. D. **Automotive Technology**. 4. ed. Nova Jersey: Prentice Hall, 2012.

HALDERMAN, J.D., 1996, “**Automotive Brake Systems**”, Prentice Hall.

HEIRING, B; ERSOY, M. **Chassis Handbook**. Wiesbaden, Springer Fachmedien 2011.

HUBKA V. & Eder, W.E **engineering Design Zurichi:Heurista**, 1992 (revised and expanded ed. Of (217).

INFANTINI, M. B., 2008, “**Variáveis de Desempenho dos Sistemas de Freio**”, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, Brasil.

KRUZE, G. A. S., Avaliação do Coeficiente de Atrito em um Dinamômetro em Escala Reduzida. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2009.

LEE, K. H., KANG, D. H., “**Structural optimization of an automotive door using the kiging interpolation method**”, *Proc. IMechE, Part D: J. Automobile Eng*, v. 221, n.12, pp. 1525-1534, 2007.

LIMPERT, R., **Brake Design and Safety**, 3rd ed., SAE, 2011. [11] MAKRAHY, M. M., GHAZALY, N. M., ABD EL-GWWAD, K.A., **Brake Design e Safety**, 2 ed. Warrendale, SAE International, 1999.

MAKRAHY, M. M., GHAZALY, N. M., ABD EL-GWWAD, K.A., *et al.*, “**Optmization of Operation Parameteres on a Novel Wedge Disc Brake by Taguchi Method**”, *American Journal of Vehicle Design*, v. 1, n. 2, pp. 30-35, 2013(a).

MAKRAHY, M.M., NOUBY, M.G., ABD EL-GWWAD, K.A., *et al.*, “**A Preliminary Experimental Investigation of a New Wedge Disc Brake**”. Nouby M. Ghazaly *et al* *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, v. 3, n. 6, pp 735-744, Nov-Dec 2013(b).

MENEZES, Rodrigo Cardoso., **Avaliação Da Influência Da Pressão De Contato, Da Velocidade De Escorregamento E Da Temperatura No Desgaste E Coeficiente De Atrito Do Par Pastilha-Disco De Um Mecanismo De Freio Veicular**, agosto de 2016.

MOTTA, F.A. *et al.* **Projeto de um sistema de freios de um veiculo off-road do tipo baja sae**. CONTECC. 2016.

NETO, A. G. **Seleção de Materiais para Sistema de Freio a Disco Automotivo**. USP, 2004

NETO Fausto. **Válvulas controladoras de Pressão**. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAASWsAF/valvulas-controladoras-vazao-unip> Acessado em 05/05/2013.

NICOLAZZI, L. C. Disponível em: < <http://www.scribd.com/doc/39204372/Lauro-Cesar-Nicolazzi-Veiculos>> Acesso em: 03/03/2013.

NOVEL Wedge Disc **Brake by Taguchi Method**, *American Journal of Vehicle Design*, v. 1, n. 2, pp. 30-35, 2013.

NARAYANA, K.S., RAO, G. U., SIMHACHALAM, D., *et al.*, “**Finite Element Analysis of Solid and Ventilated Disc Brake**”, *International Journal of Science and Research (IJSR)*, v.3, n. 9, 2014.

OSTERMEYER, G.P., “**Friction and Wear of Brake Systems**”, *Forschungim Ingenieurwesen*, v. 66, pp. 267- 272, 2001.

OSTERMEYER, G.P., MULLER, M. “**New Insights into the Tribology of Brake Systems**”, *Journal of Automotive Engineering*, v. 222, 7ed., pp.1167-1200, 2008.

PRIETO, Ronaldo Deziderio., **Freios Hidráulicos: da Física básica a Dinâmica Veicular, do sistema convencional aos sistemas eletrônicos**, 2014.

PINTO, Rafael Lucas Machado, **Avaliação do Desempenho Tribológico e Térmico de Materiais de Atrito Durante o Processo de Frenagem**, Rio de Janeiro 2017 Epub Aug 10, 2017.

PUHN, F., **Brake Handbook**, 1 ed., New York, HpBooks, 1987

REHKOPF, J., HALDERMAN, J.D., **Automotive Brake Systems**, Prentice Hall, 4th edition, 2006.

REIF, K. Brakes, **Brake Control and Driver Assitance Systems**. Wiesbaden, Springer 2014.

RIKSON, M., BERGMAN, F., JACOBSON, S. “**On the Nature of Tribological Contact in Automotive Brakes**”, *Wear*, v. 252, ed. 1-2, p. 26-36, 2002.

PAHL, G. *et al.* **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz dos produtos, métodos e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

PINTO, R. L. M. **Análise de variáveis que influenciam no desempenho de frenagem veicular através de ensaios baseados na metodologia Krauss. 2014. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção**, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte. 2014.

Pinto, R.L.M.; Gutiérrez, J.C.H.; Menezes, R.C.; Rubio, J.C.C.; Faria, P.E. **Aplicação de Técnicas de Planejamento de Experimentos para Otimização do Comportamento Tribológico e Térmico de Materiais de Atrito Durante o Processo de Frenagem**. Revista Matéria. 2017.

RAMOUSSE, S., Hoj, J. W., Sorensen, O.T., 2001, “**Thermal Characterisation of Brake Pads**”, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 64,933-943.

ROTHBART, H., BROWN, T., **Mechanical Design Handbook**. Measurement, Analysis and Control of Dynamic Systems, 2 ed. USA, McGraw-Hill, 2006.

SERBINO, E.M., “**Um Estudo dos Mecanismos de Desgaste em Disco de Freio Automotivo Ventilado de Ferro Fundido Cinzento Perlítico com Grafita Lamelar.**” Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade de São Paulo, São Paulo, 123p., 2005.

STONE, R., BALL, J.K., **Automotive Engineering Fundamentals**, Warrendale, SAE International, 2004. <http://pt.scribd.com/doc/48422360/Automotive-Engineering-Fundamentals>. Acesso em 01/04/2013.

TALATI F., JALALIFAR S. “**Analysis of heat conduction in a disk brake system**”, Heat Mass Transfer, v. 45, n. 8, pp. 1047-1059.

VDI – RICHTILINIE2225. **Technisch-wirtschaftliches Konstruieren**. Dusseldorf: VDI, 1977, Folha 3: 1990, Folha 4: 1994.

XIAO, X., YIN, Y., BAO, J., *et al.*, “**Review on the friction and wear of brake materials**”, Advances in Mechanical Engineering, v. 8, n.5, pp. 1-10, 2016.

Sites Acessados:

Disponível em: <https://www.altese.com.br/freios/trw-varga> figuras de tipos de fluido de freio.

Disponível em: ASSOBRAV. Associação Brasileira Dos Distribuidores Volkswagen <<https://www.assobrav.com.br/noticias/tecnologia-automotiva/os-tipos-de-freios-de-carro/>> Acesso 22 de agosto de 2018.

Disponível em: <<http://www.autoentusiastasclassic.com.br/2011/06/fading-o-inimigo-do-motorista.html>> SHARP, B., 2019. “**Fading, O Inimigo do Motorista**”. Disponível em Acessado em 29/09/2019.

Disponível em: BOSCH. Fluido de Freio Bosch. Cartilha, 2015. Disponível em: <http://br.boschautomotive.com/media/parts/download_2/freios/5025-Folder_Fluidos_Freiosv3.pdf>, acesso em 12 de março de 2020.

Disponível em : <https://www.getrat.com.br/mangueira-hidraulica#group1-1> Imagem de Mangueira flexível e tudo rígido, acesso em 28/08/2020.

Disponível em: Deposito fotos <https://br.depositphotos.com/free-images.html> acesso em setembro de 2019.

Disponível em: DPK sistemas de freio www.dpk.com.br/wp-content/uploads/2018/04/sistemadefreioatambor.jpg, acesso em 12 de março de 2020.

SAE Brasil <http://portal.saebrasil.org.br/programas-estudantis/baja-sae-brasil> acesso em outubro de 2019.

Disponível em: Frase sistemas de freio <https://www.comprefrase.com/guia-do-consumidor/pastilha-de-freio>

Disponível em: <https://kentaudevelopments.com/> acessado em 10/10/2018.

Disponível em: <https://www.unevoiture.com/rudiments/le-fonctionnement-du-systeme-de-frein> acessado em 15/10/2019.

Disponível em: Foto sistema de disco de freio e tambor <https://pt.depositphotos.com/209547998/stock-illustration-common-automotive-braking-system-infographic.html> acesso dia 15/10/2019.

Disponível em: Eaton, <http://pt.eatonpowersource.com/products/filter/hydraulic-hose/details/1503-32/>, acesso em 01/10/19.

Disponível em: Rigitec <http://rigitec.com.br/br/tubos-para-freios-hidraulicos-metalicos/> acesso em 05/09/2019.

Disponível em: Bunnitu, flexíveis de freio, <https://www.bunnitu.com.br/volkswagen/parte-mecanica/freios-e-componentes/flexivel-de-freio-roda-dianteira-para-vw-fusca-13001-1500-kombi-e-variant>, acesso em 10/06/2019.

Disponível em: Sensible driver, <https://sensibledriver.com/article/anatomy-of-your-brakes> acesso 22/11/2019.

Disponível em: <https://www.wilwood.com/Pedals/PedalList?sc=Pedal%20Remote%20M/C%20Mount> acesso em 10/06/2019.

Disponível: Mangueira de borracha com trama de nylon, <https://www.bbtv.com.br/mangueira-hidraulica-12agr2-2sn-2-tramas-de-aco-3-4-gates-pr-1654-342051.htm> 22/11/2020

Disponível: Imagem de disco Flutuante, https://quatorrodas.abril.com.br/wp-content/uploads/2016/11/5658b0b7de40d64c20104433629_freio_01.jpeg?quality=70&strip=all Acessado em 01/09/2020.

Disponível: Imagem de disco fixo, <https://www.upracing.com.br/detalhe.php?cod=2170&nomep=Disco%20de%20Freio%20Fixo%20Ventilado%20Mini%20M2-R2%20e%20Mega&acao=incluir> Acessado em 01/09/2020.

Disponível: Imagem de tipos de pastilhas de freio, <https://www.widmen.com.br/dicasautomotivas/tag/pastilha-metalica/> Acessado em 01/09/2020.

Disponível: Imagem de cilindro de freio, <https://delmarap.com.br/product/cilindro-mestre-rcdd01620/> Acessado em 01/09/2020.

Disponível: Imagens de Interruptores de freio, <https://www.anchietapecas.com.br/interruptor-luz-de-freio-m12x125-271521-p985556> Acessado em 01/09/2020.



UPF

UNIVERSIDADE
DE PASSO FUNDO

UPF Campus I - BR 285, São José
Passo Fundo - RS - CEP: 99052-900
(54) 3316 7000 - www.upf.br