

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LUIZ GUSTAVO CARNEIRO BERNARDINO

**AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM FREIOS
AUTOMOTIVOS**

GUARAPUAVA

2023

LUIZ GUSTAVO CARNEIRO BERNARDINO

**AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM FREIOS
AUTOMOTIVOS**

**EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF PREVENTIVE MAINTENANCE ON
AUTOMOTIVE BRAKES**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientadora: Dra. Denise Alves Ramalho

GUARAPUAVA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LUIZ GUSTAVO CARNEIRO BERNARDINO

**AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM FREIOS
AUTOMOTIVOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 08/dezembro/2023

Denise Alves Ramalho
Doutorado em Engenharia mecânica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Carla Dantas Da Silva
Doutorado em Engenharia de materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Sergio Dalmas
Doutorado em Engenharia mecânica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

GUARAPUAVA

2023

Dedico este trabalho à minha família.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço a minha orientadora Profa. Dra. Denise Alves Ramalho, pela parceria e apoio para conseguir realizar este trabalho.

Agradeço a minha orientadora de estágio Profa. Dra. Sílvia do Nascimento Rosa, pelas conversas e incentivo para realizar este trabalho.

Aos meus amigos, que estiveram comigo no ambiente acadêmico: Adriano Nunes, Gabriel Rodrigues, Eduardo Denechevich Fiuza, Anderson Pocznek, Anderson Araújo e Carlos Humberto Filho.

A minha família, que sem ela não conseguiria ter condições de concluir a graduação, por todo o apoio durante todo o período desta jornada. Em especial, aos meus pais e a minha avó.

Agradeço em especial ao meu pai, a minha namorada e meu amigo e colega Carlos Humberto pela ajuda nos testes práticos de frenagem.

Enfim, a todas as pessoas que estiveram comigo nesse período e que de alguma forma me ajudaram a concluir essa etapa.

“A vida é o que acontece quando você está ocupado fazendo outros planos.” – Allen Saunders, 1957

RESUMO

Em situações de emergência, motoristas tendem a acionar o freio com força máxima. É extremamente importante que, nessas situações, o sistema de freios funcione corretamente, o que só é garantido por meio de uma manutenção adequada, conforme as orientações do fabricante do veículo. Negligenciar ou adiar a manutenção dos freios é uma causa comum de acidentes de trânsito. Este estudo foca na importância da manutenção dos freios, avaliando a influência de pastilhas de freio novas e usadas na distância de frenagem. O embasamento teórico do trabalho envolveu o estudo de configurações de um sistema de freios e os seus componentes, além de pesquisas relacionadas ao sistema de frenagem e manutenção. Para a realização dos testes foi utilizada uma van Kia Besta, em condições de pista seca, com velocidade de 30 e 40 km/h, utilizando pastilhas novas e usadas e um cronotacógrafo para medir a velocidade e o tempo de frenagem. Através dos valores médios obtidos por meio de 8 testes distintos, observou-se que a distância de frenagem pode ser reduzida em 50,58% a uma velocidade de 30 km/h e 26,54% em 40 km/h ao se utilizar pastilhas de freio novas em comparação com as usadas. Estes resultados mostram a importância da manutenção regular do sistema de freios.

Palavras-chave: freios; manutenção preventiva; distância de frenagem.

ABSTRACT

In emergency situations, drivers tend to apply the brakes with maximum force. It is extremely important that, in these situations, the braking system works properly, which can only be guaranteed by proper maintenance, in accordance with the vehicle manufacturer's guidelines. Neglecting or postponing brake maintenance is a common cause of traffic accidents. This study focuses on the importance of brake maintenance, evaluating the influence of new and used brake pads on braking distance. The theoretical basis of the work involved the study of brake system configurations and their components, as well as research related to braking systems and maintenance. The tests were carried out on a Kia Besta van, in dry road conditions, at speeds of 30 and 40 km/h, using new and used brake pads and a chronograph to measure braking speed and time. Through the average values obtained from 8 different tests, it was observed that the braking distance can be reduced by 50.58% at a speed of 30 km/h and 26.54% at 40 km/h when using new brake pads compared to used ones. These results show the importance of regular brake system maintenance.

Keywords: brakes; preventive maintenance; braking distance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sistema de freio convencional de um automóvel.....	16
Figura 2 - Tipos de pedais de freio. A. Suspensão. B. Módulo do pedal de freio	17
Figura 3 - Servo unidade de vácuo de câmara dupla.....	18
Figura 4 - Servo unidade de vácuo de quatro câmaras.....	19
Figura 5 - Cilindro mestre	20
Figura 6 - Freio a tambor simplex com mecanismo de freio de mão integrado	22
Figura 7 - Tipos de guias de sapatas de freio	23
Figura 8 - Freio a tambor Simplex	24
Figura 9 - Freios a tambor. A. Duplex. B. Duo-duplex.....	25
Figura 10 - Freios a tambor. A. Servo. B. Duo-servo	26
Figura 11 - Tambor de freio. A. Sem aletas. B. Com aletas	27
Figura 12 - Placa de apoio	27
Figura 13 - Componentes do cilindro da roda	28
Figura 14 - Sapatas de freio primárias e secundárias	29
Figura 15 - Coeficiente de atrito X Temperatura da superfície	29
Figura 16 - Erros comuns na montagem das sapatas de freio	30
Figura 17 - Dispositivo de regulagem.....	31
Figura 18 - Exemplo de molas e cliques de retenção no sistema de freio	31
Figura 19 - Conjunto de freio de estacionamento para um freio a tambor	32
Figura 20 - Tipos de freio a disco	33
Figura 21 - Pastilhas de freios.....	34
Figura 22 - Coeficiente de atrito X Temperatura ou Velocidade.....	35
Figura 23 - Um sistema indicando o desgaste máximo das pastilhas do freio por meio de uma luz no painel do veículo	37
Figura 24 - Tipos de discos de freio	38
Figura 25 - Rotor com especificação de espessura mínima do fabricante	39
Figura 26 - Design do Veículo: Kia Besta 2001	45
Figura 27 - Cronotacógrafo	45
Figura 28 - Gráfico Velocidade (km/h) x tempo (s) obtido pelo cronotacógrafo.....	46
Figura 29 - Pastilhas de freio novas	52
Figura 30 - Pastilhas de freio usadas	52
Figura 31 - Tendência de rotação	52
Figura 32 - Marcas de frenagem na pista.....	53
Quadro 1 - Tipos de fluídos de freio	21
Quadro 2 - Problemas comuns nos freios	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficiente de atrito	35
Tabela 2 - Disposição dos testes do desempenho de frenagem	44
Tabela 3 - Dimensões do veículo	44
Tabela 4 - Média dos resultados com pastilhas de freio usadas a 30 km/h	47
Tabela 5 - Média dos resultados com pastilhas de freio novas a 30 km/h	47
Tabela 6 - Média dos resultados com pastilhas de freio usadas a 40 km/h	48
Tabela 7 - Média dos resultados com pastilhas de freio novas a 40 km/h	48
Tabela 8 - Comparação de resultados entre os testes de frenagem	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Objetivo Geral	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
2	SISTEMA DE FREIOS	16
2.1	Componentes de um sistema de freio convencional	17
2.1.1	Pedal de freio	17
2.1.2	Servo-freio	18
2.1.3	Cilindro mestre	20
2.1.4	Fluído de freio	20
2.2	Freio a tambor	21
2.2.1	Tipos de freios a tambor	23
2.2.2	Componentes de freios a tambor	26
2.2.2.1	<u>Tambor de freio</u>	26
2.2.2.2	<u>Placa de Apoio</u>	27
2.2.2.3	<u>Cilindro da roda</u>	28
2.2.2.4	<u>Sapatas de freio</u>	28
2.2.2.5	<u>Auto ajustadores</u>	30
2.2.2.6	<u>Molas e cliques de retenção</u>	31
2.2.2.7	<u>Mecanismo de freio de estacionamento</u>	31
2.3	Freio a disco	32
2.3.1	Pastilhas de freio	34
2.3.1.1	<u>Indicadores de desgaste</u>	37
2.1.1	Discos de freio	38
3	TESTES DE FRENAGEM	41
3.1	Ensaio de frenagem segundo a Norma ABNT 10966-2: 2013	41
3.2	Cálculo da desaceleração utilizando a equação de Torricelli	41
3.3	Cronotacógrafo	42
4	METODOLOGIA	43
4.1	Procedimento experimental	43
4.2	Dados do veículo	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	46

5.1	Velocidade inicial de frenagem	46
5.2	Distâncias de frenagem	47
5.3	Coeficiente de atrito	50
6	CONCLUSÃO	55
7	REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

O sistema de freio veicular é responsável por controlar e regular a velocidade do veículo, reduzindo sua velocidade de forma segura e eficiente. Além disso, ele desempenha um papel crucial na imobilização completa do veículo quando necessário, seja em uma parada regular, em uma emergência como em situações onde é preciso evitar colisões. Quando se trata de garantir a segurança e o controle durante a condução de um veículo, a importância do sistema de frenagem não pode ser subestimada.

O jornalista Tiago Songa (PAINEL, 2016)., especialista na história do automóvel diz que o primeiro automóvel criado foi o *Le Fardier*, em 1770. Este veículo de passageiros, foi projetado sem um sistema de freios, então, durante a demonstração pública o engenheiro Nicolas-Joseph Cugnot utilizou uma parede de tijolos para frear o veículo.

Os freios marcaram os primeiros passos na incorporação de sistemas de segurança nos automóveis, ainda assim, até os dias de hoje há uma constante preocupação em melhorá-los a fim de aumentar a eficiência de frenagem (GARDINALLI, 2005).

O sistema de freios veicular desempenha um papel vital na segurança e no funcionamento adequado do veículo. No entanto, como em qualquer sistema mecânico, está sujeito a possíveis falhas que podem ter sérias consequências. A operação contínua dos freios, especialmente em condições adversas, pode levar ao desgaste dos componentes-chave, como pastilhas e discos de freio. O superaquecimento, causado por uso excessivo ou descida de ladeiras íngremes, pode comprometer a eficácia dos freios, levando a uma perda momentânea de controle.

Qualquer modificação no tamanho, forma ou propriedades do material de uma máquina ou peça de máquina que a torne incapaz de realizar a função pretendida deve ser considerada como uma falha mecânica (COLLINS, 2006). De acordo com informações fornecidas pelo Departamento de Transporte da Pensilvânia (EUA), cerca de 24,9% dos acidentes de trânsito têm como causa falhas no sistema de freios. Adicionalmente, de acordo com dados de 2015 divulgados pela Administração Nacional de Segurança do Tráfego Rodoviário (EUA), aproximadamente 22% das colisões envolvendo veículos leves são atribuíveis a falhas nos freios.

Na Grã-Bretanha, dados do departamento de trânsito mostram que um total de 3.894 acidentes por falha no sistema de frenagem resultaram em ferimentos ou mortes entre 2013 a 2018 (HULL, 2019).

Um estudo abrangendo 2.011 motoristas, conduzido pela Green Flag, uma empresa de assistência rodoviária e recuperação de veículos no Reino Unido, revela uma realidade preocupante quanto ao conhecimento básico de manutenção veicular. Surpreendentemente, 51% dos motoristas demonstraram desconhecimento sobre a troca de pneus, enquanto 28% não possuem habilidade para verificar o nível de óleo do motor. Essa lacuna no entendimento mecânico e de manutenção ressalta uma falha na preparação dos condutores.

Além disso, o estudo revelou que uma proporção significativa, equivalente a 51% dos motoristas, adia a correção de falhas do veículo por mais de dois meses. Esse adiamento pode ter implicações sérias na segurança e no desempenho do veículo, além de aumentar os riscos de falhas mecânicas inesperadas. Além disso, um em cada sete motoristas (14%) escolhe realizar a manutenção do veículo apenas em situações de urgência, o que pode contribuir para um desgaste prematuro de componentes e aumentar as chances de problemas mecânicos graves.

Conforme estabelecido no Código de Trânsito Brasileiro (CTB), artigo 230, inciso 18, é expressamente vedada a circulação de veículos que se encontrem em estado de conservação inadequado, representando uma ameaça à segurança viária. Em vista disso, a realização de manutenções preventivas assume um papel fundamental, não apenas para garantir a segurança, mas também para cumprir com o disposto na legislação vigente estabelecida pelo CTB.

No Brasil, os defeitos mecânicos em veículos são uma causa significativa de acidentes de trânsito, representando 3.151 ocorrências. Entretanto, as principais causas de acidentes no trânsito brasileiro é a falta de atenção dos condutores e a desobediência às sinalizações de trânsito (ATLAS, 2021).

De acordo com uma pesquisa realizada pelo Instituto Scaringella Trânsito em 2016, a falta de manutenção preventiva é identificada como responsável por aproximadamente 30% dos acidentes em áreas urbanas e rodoviárias no Brasil. Em uma fiscalização realizada pela concessionária Rota do Oeste em colaboração com a Polícia Rodoviária Federal (PRF) no estado de Mato Grosso, foi constatado que, dentre 100 caminhões que apresentaram problemas mecânicos, 41 apresentaram

falhas nos freios. Este dado foi observado especificamente nas rodovias BR-163 e BR-364.

A frota brasileira está concentrada em 5 estados (64%): São Paulo, com 29,1% do total; Minas Gerais, 13,4%; Paraná, 7,6%; Rio de Janeiro, 7,2%; e Rio Grande do Sul, com 6,5% (SINDIPEÇAS, 2022). Segundo dados do Relatório da Sindipeças, a idade média dos veículos em 2022 é de 10 anos e 3 meses. Esses números evidenciam uma tendência de envelhecimento da frota ao longo do tempo, o que levanta preocupações relevantes: à medida que os veículos envelhecem, os sistemas de segurança também se tornam mais antigos e potencialmente perigosos, caso não sejam submetidos a manutenções periódicas e preventivas regulares.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo realizar experimentos e análises estatísticas sobre o impacto da falta de manutenção preventiva no sistema de freio que ocasionam acidentes de trânsito.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

- Demonstrar a importância da manutenção preventiva no sistema de freios automotivo.

1.1.2 Objetivos Específicos

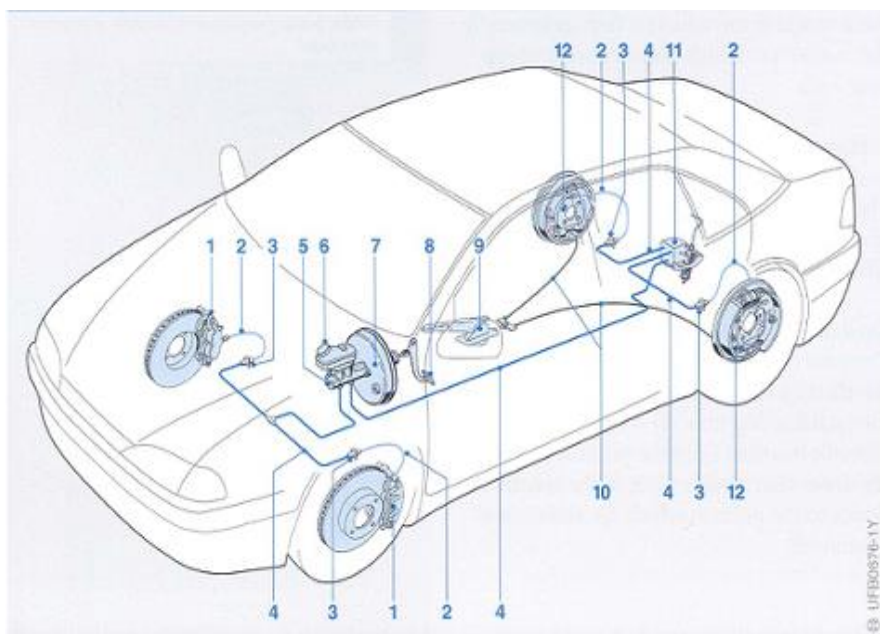
- Demonstrar, através de resultados, que a utilização de pastilhas de freio novas pode reduzir significativamente a distância de frenagem, contribuindo assim para a prevenção de acidentes.
- Calcular o coeficiente de atrito para as pastilhas de freio novas e usadas. Esta análise visa entender como a degradação do material de atrito das pastilhas afeta o coeficiente de atrito.

2 SISTEMA DE FREIOS

A NBR 10966-1 define o sistema de freio de serviço como um sistema que possibilita controlar o movimento do veículo e pará-lo com segurança, rapidez e eficácia, independentemente de sua velocidade ou carga, em qualquer tipo de inclinação. Além disso, é possível ajustar o nível de frenagem conforme necessário. Conforme estabelecido por essa norma, o freio de estacionamento deve ser capaz de manter o veículo parado em aclives ou declives, utilizando um mecanismo puramente mecânico para manter as partes móveis em uma posição de travamento.

No século XX, o primeiro veículo com sistema de freio traseiro e dianteiro foi projetado. Isso ocorreu porque, inicialmente, os freios eram apenas traseiros devido à dificuldade de desenvolver um sistema de frenagem eficaz para as rodas responsáveis pela direção, além da preocupação de que o carro pudesse "tombar o nariz" se os freios dianteiros fossem aplicados com muita força. A Figura 1 representa o sistema de freio convencional de um automóvel de passeio, com freios traseiros e dianteiros.

Figura 1 - Sistema de freio convencional de um automóvel



Nota: (1) freio a disco dianteiro; (2) flexível de freio; (3) conexão hidráulica; (4) tubo de freio; (5) cilindro mestre; (6) reservatório; (7) servo-freio; (8) pedal; (9) alavanca do freio de mão; (10) cabo do freio de estacionamento; (11) válvula reguladora sensível a carga; (12) freio a tambor traseiro

Fonte: BOSCH (2003)

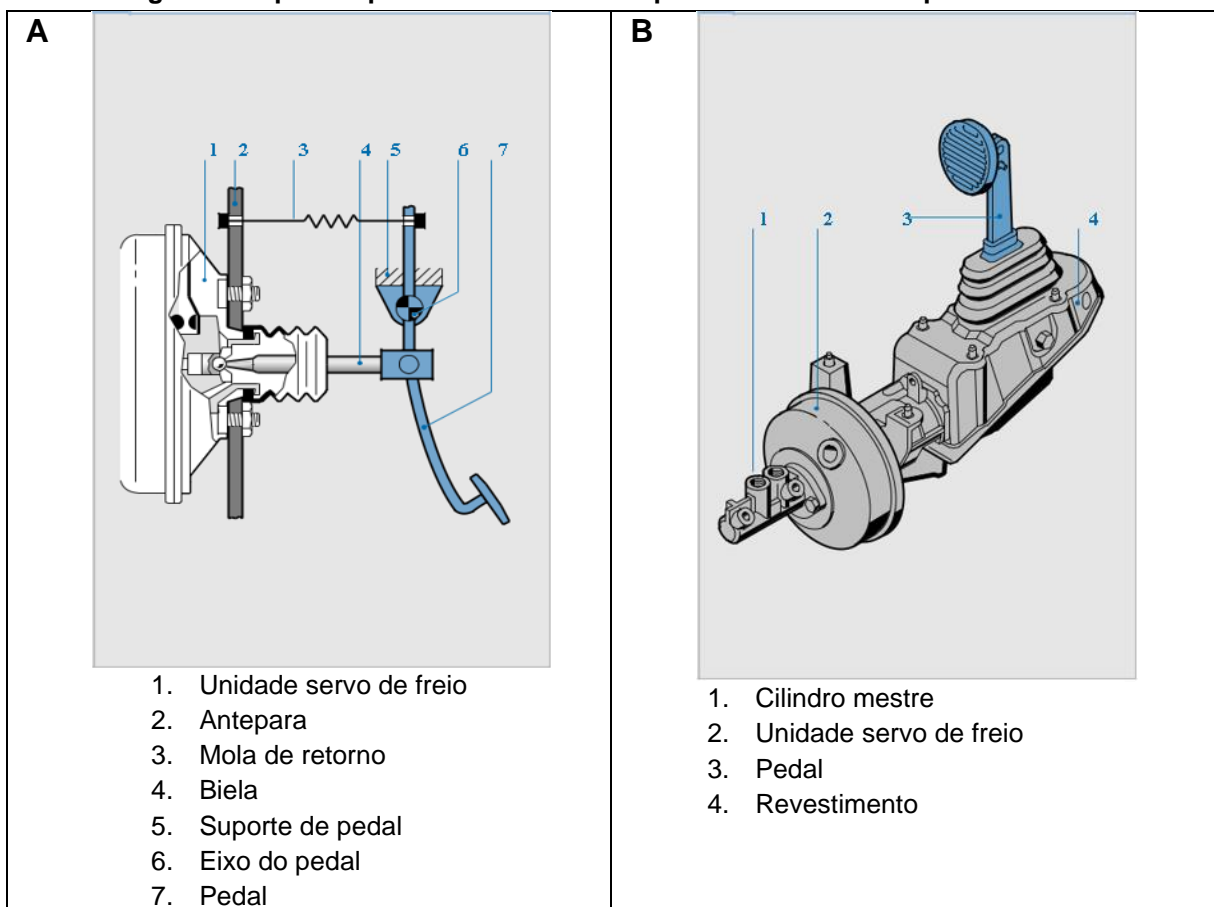
O acionamento dos freios segue a seguinte sequência: o motorista aplica pressão no pedal de freio (8), ativando o servo-freio (7) para amplificar a força. Essa força é transmitida ao cilindro mestre (6), convertendo-a em pressão hidráulica. O cilindro mestre possui dois pistões que empurram o fluido de freio para fora, direcionando-o pelos tubos (4) e mangueiras de freio (2). A pressão resultante é transmitida aos freios a disco (1) nas rodas dianteiras e aos freios a tambor (12) nas rodas traseiras. O reservatório de fluido de freio (6) compensa variações de volume nos circuitos, enquanto o freio de estacionamento é conectado à alavanca do freio de mão (9) por meio do cabo correspondente (10) (BOSCH, 2003).

2.1 Componentes de um sistema de freio convencional

2.1.1 Pedal de freio

O pedal de freio desempenha o papel de uma alavanca, cuja função é transmitir a força aplicada pelo motorista ao sistema de frenagem. Existem dois tipos de designs comuns para o pedal de freio: suspenso e módulo do pedal de freio (Figura 2).

Figura 2 - Tipos de pedais de freio. A. Suspenso. B. Módulo do pedal de freio



Fonte: BOSCH (2003)

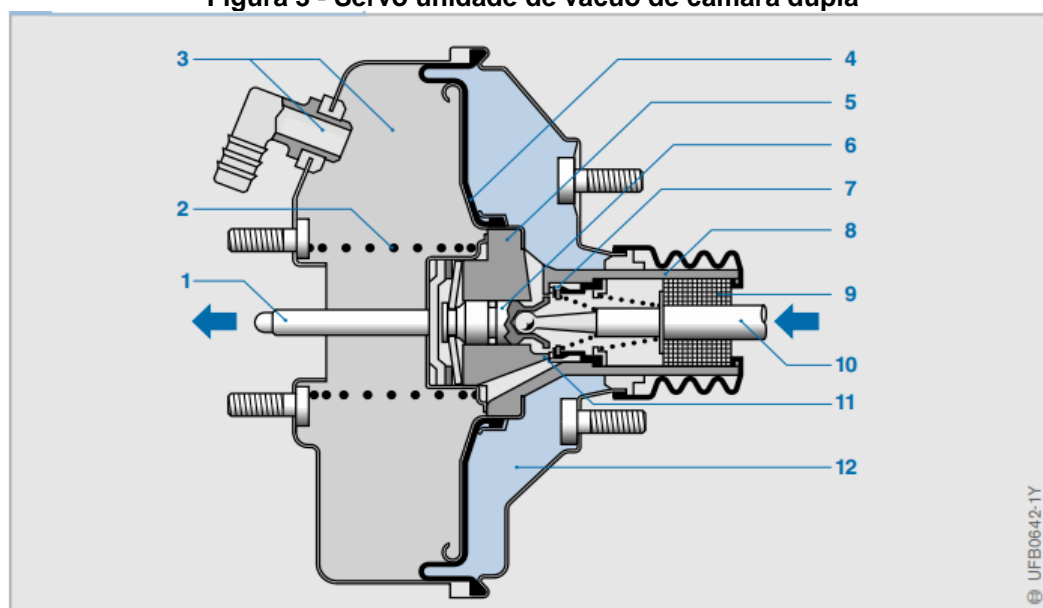
A Figura 2A representa o tipo suspenso do pedal de freio, o qual é fixado ao suporte do pedal (5) por meio de seu eixo (6). Uma mola de retorno (3), conectada ao anteparo dianteiro (2), mantém o pedal do freio em sua posição neutra quando não está sendo acionado. Já o módulo do pedal de freio (Figura 2B) é uma única unidade que inclui o cilindro mestre (1), o servo-freio e o próprio pedal (3) no mesmo componente. O revestimento (4) tem a função de proteger o sistema contra sujeira e umidade.

2.1.2 Servo-freio

O servo-freio é um dispositivo que utiliza a diferença de pressão entre a pressão atmosférica e a pressão no coletor de admissão do motor para aumentar a força aplicada no pedal de freio (BORBA, 2016).

A unidade de servo-freio desempenha o papel de reduzir o esforço físico exigido pelo condutor ao acionar o pedal de freio, ao mesmo tempo em que mantém a sensibilidade de resposta do sistema de frenagem intacta. Existem duas versões de unidades de servo-freio do tipo vácuo: a de câmara dupla (Figura 3) e a de quatro câmaras (Figura 4), esta última oferecendo um maior auxílio de energia. Além disso, há também a unidade de servo-freio hidráulico, que utiliza a pressão hidráulica gerada por uma bomba.

Figura 3 - Servo unidade de vácuo de câmara dupla

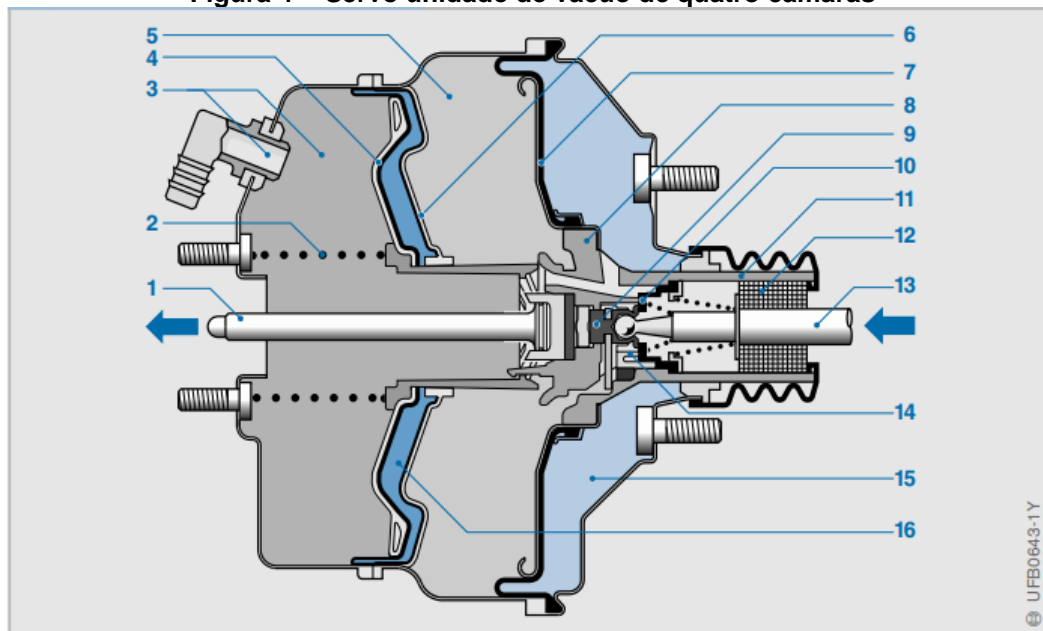


Nota: (1) Haste (transmite força de saída para cilindro mestre) ;(2) Mola de compressão;(3) Câmara de vácuo com conexão de tubo de vácuo;(4) Disco de diafragma e diafragma (5) Pistão de trabalho;(6)

Pistão de detecção;(7) Válvula dupla;(8) Corpo da válvula (9) Filtro de ar;(10) Haste de conexão (transmite força do pedal;(11) Assento da válvula e (12) Câmara de trabalho.

Fonte: BOSCH (2003)

Figura 4 - Servo unidade de vácuo de quatro câmaras



Nota: (1) Haste (transmite força de saída para cilindro mestre) ;(2) Mola de compressão;(3) Câmara de vácuo II com conexão de tubo de vácuo;(4) Disco de diafragma II e diafragma II (5) Câmara de vácuo I;(6) Partição;(7) Disco de diafragma I e diafragma I;(8) Cilindro de trabalho; (9) Pistão de detecção; (10) Válvula dupla; (11) Corpo da válvula; (12) Filtro de ar;(13) Biela (transmite força do pedal;(14) Assento da válvula; (15) Câmara de trabalho I e (16) Câmara de trabalho II.

Fonte: BOSCH (2003)

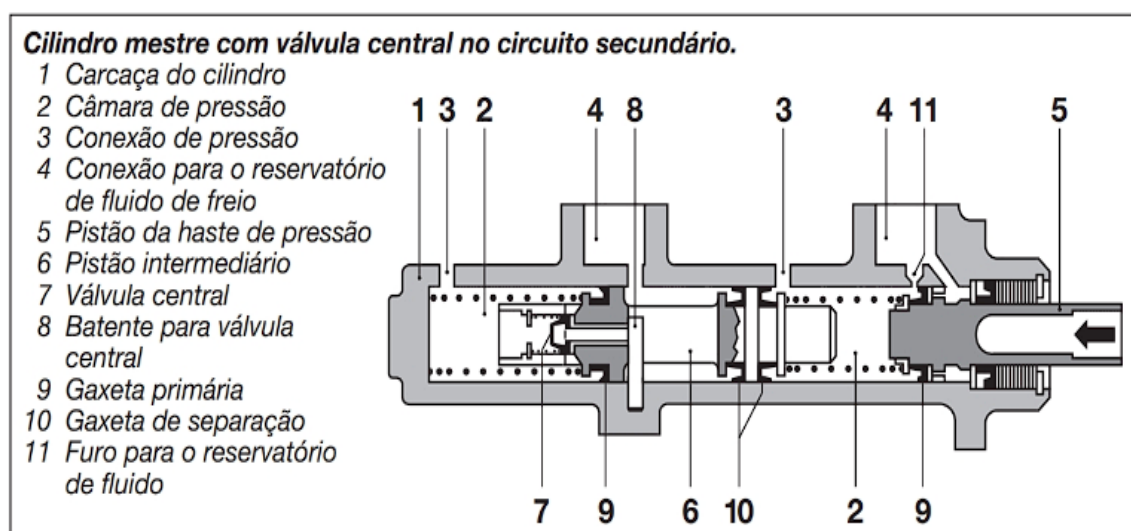
Quando se inicia uma sequência de frenagem, a haste de conexão (10) move-se em direção à câmara de vácuo (3) e pressiona o selo da válvula dupla (7) contra o assento da válvula (11). Isso resulta no isolamento das câmaras de vácuo e de trabalho uma da outra. À medida que a haste de conexão continua a se mover, o pistão de detecção (6) se afasta do selo da válvula dupla, permitindo que o ar à pressão atmosférica flua para a câmara de trabalho. Inicialmente, a pressão na câmara de trabalho é maior do que na câmara de vácuo.

A pressão atmosférica atua através do diafragma (4), que está em contato com o disco de diafragma. Uma vez que o disco de diafragma está conectado ao corpo da válvula (8), este último se move juntamente com o disco, reforçando a pressão aplicada pelo pé do motorista. Assim, a pressão do pé e a força de assistência combinam-se para superar a força da mola de compressão (2) e movimentar a haste (biela) (1) para a frente, transmitindo, dessa forma, a força de saída da unidade do servo-freio para o cilindro mestre (BOSCH, 2003).

2.1.3 Cilindro mestre

O cilindro mestre (Figura 5) desempenha o papel de converter a força aplicada pelo motorista por meio do pedal, que já foi amplificada pelo servo-freio, em pressão hidráulica no fluido para acionar os freios das rodas. Nos Estados Unidos, visando aprimorar a segurança, todos os veículos são obrigados a possuir dois circuitos de freio. Para isso, é utilizado um cilindro tandem que funciona como dois cilindros mestres separados. Isso significa que, caso um dos circuitos apresente falha, ainda é possível acionar o sistema de frenagem por meio do outro circuito (GARDINALLI, 2005; GOODNIGHT, 2018).

Figura 5 - Cilindro mestre



Fonte: BOSCH (2005)

2.1.4 Fluido de freio

O fluido de freio é um líquido hidráulico que possui características específicas. Durante o processo de frenagem, ocorre a geração de calor, o que torna fundamental que o fluido tenha um alto ponto de ebulição e um baixo ponto de congelamento para funcionar eficientemente, especialmente em condições frias, evitando assim o congelamento.

A classificação dos fluidos de freio é feita com base nas normas de conformidade estabelecidas pelo Departamento de Transporte (DOT), conforme detalhado no Quadro 1.

Quadro 1 - Tipos de fluídos de freio

Tipo	Ponto mínimo de ebulição seca	Ponto mínimo de ebulição úmida	Especificações adicionais
DOT 2	Não especificado	Não especificado	•Tipo de fluido de freio desatualizado que não deve ser usado em nenhum veículo moderno
DOT 3	205 ° C	140 ° C	•Bom fluido de freio •Prejudica pintura •Absorve água
DOT 4	230 ° C	155 ° C	•Semelhante ao DOT 3, mas ponto de ebulição mais alto •Compatível com DOT 3 e 5.1
DOT 5	260 ° C	180 ° C	•Não higroscópico: não absorve umidade •Menos prejudicial para superfícies pintadas do que fluidos de freio à base de glicol •Fornece melhor proteção contra corrosão •Mais adequado para uso em condições de condução úmida •Não deve ser usado em nenhum veículo equipado com ABS
DOT 5.1	260 ° C	190,6 ° C	•Adequado para veículos equipados com ABS por causa de seu alto ponto de ebulição •Mais caro do que outros fluidos de freio •Compatível com DOT 3, 4 e 5.1

Fonte: Adaptado de United States Department of Transportation, Federal Motor Carrier Safety Administration: S5.1.2 Wet ERBP; GOODNIGHT (2018)

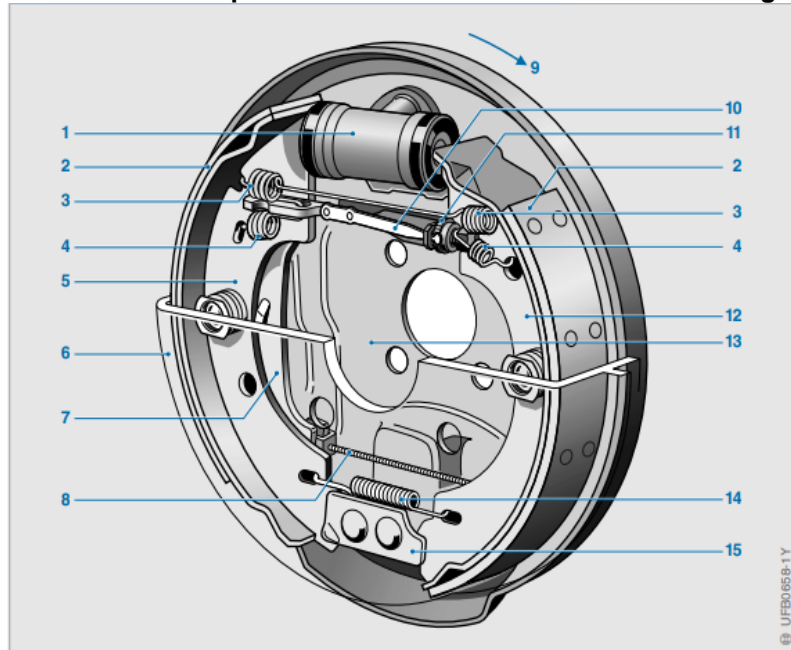
Adicionalmente, o fluido de freio convencional também é projetado para ser higroscópico, ou seja, ele tem a capacidade de absorver umidade do ambiente. Por esse motivo, é necessário realizar trocas periódicas desse fluido, a fim de evitar que a quantidade de umidade presente exceda os níveis aceitáveis. O acúmulo excessivo de umidade pode comprometer a funcionalidade do fluido de freio, levando a falhas no sistema de frenagem.

2.2 Freio a tambor

Os freios a tambor (Figura 6) funcionam pressionando uma superfície interna de um tambor de freio, que está fixado entre a roda e a flange do eixo. Isso significa

que as rodas e os tambores giram juntos. Nesse sistema, os freios a tambor fazem com que um material de atrito seja pressionado contra a circunferência de um cilindro.

Figura 6 - Freio a tambor simplex com mecanismo de freio de mão integrado



Nota: (1) cilindro de roda; (2) Forro de fricção; (3) Mola de retorno (sapata de freio); (4) Mola de retorno (mecanismo auto ajustável); (5) sapato de arrasto; (6) Tambor de freio; (7) Alavanca do freio de mão; (8) Cabo do freio de mão; (9) Direção do tambor Rotação; (10) tira bimetálica (mecanismo auto ajustável); (11) Roda de ajuste (com alavanca de cotovelo); (12) sapato líder; (13) Placa de ancoragem; (14) Mola de retorno (sapata de freio); e (15) Rolamento de suporte.

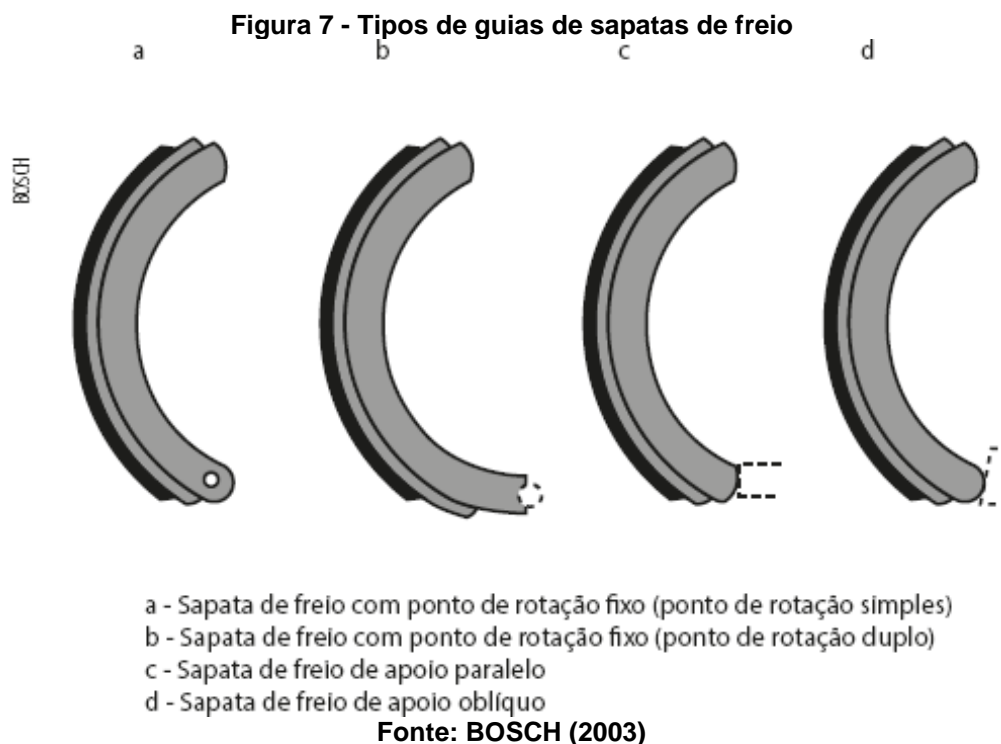
Fonte: BOSCH (2003)

Durante o processo de frenagem, ocorre a geração de calor dentro dos tambores, e esse calor precisa ser dissipado para a atmosfera quando os freios não estão sendo usados. Em situações que exigem um uso excessivo dos freios, como descidas íngremes ou transporte de cargas pesadas, o revestimento dos tambores, os próprios tambores ou até mesmo o fluido de freio podem superaquecer, resultando na perda da capacidade de frenagem, um fenômeno conhecido como "desvanecimento do freio".

Para evitar esse problema, veículos pesados que requerem uma maior força de frenagem utilizam tambores de freio maiores e sapatas de freio de maior diâmetro. Isso aumenta a quantidade de energia térmica que pode ser absorvida e dissipada para a atmosfera, garantindo a eficiência do sistema de frenagem mesmo em condições de uso intensivo.

2.2.1 Tipos de freios a tambor

Existem dois tipos em função do tipo de guia das sapatas (Figura 7), sendo estas: sapatas de freio com ponto de rotação fixa que o desgaste pode ser irregular e sapatas com guias flutuantes que são utilizadas em freios simplex, duplex, duo-duplex, servo e duo-servo (PIETRO, 2014).

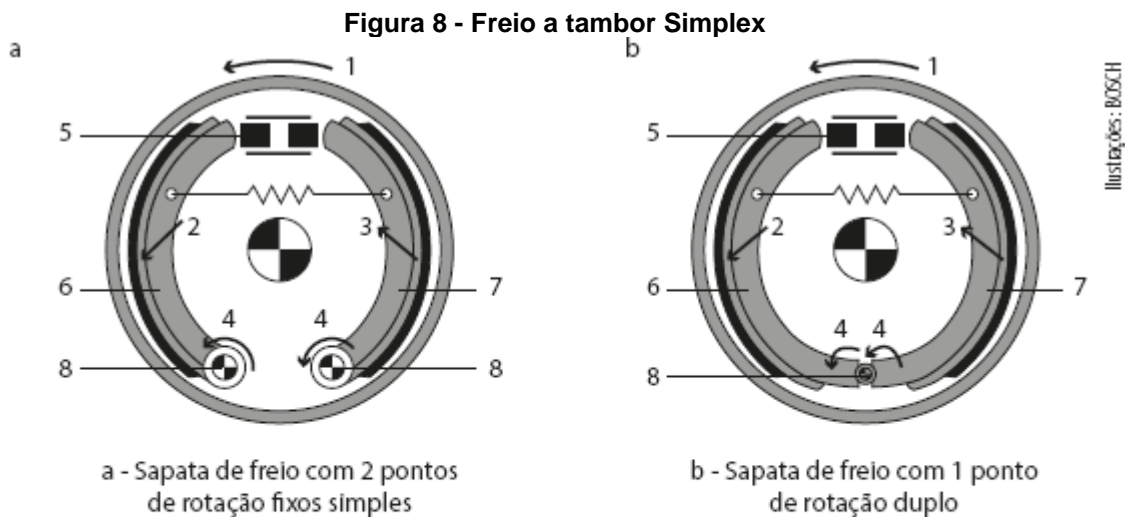


As sapatas de freio com ponto de rotação fixo tendem a sofrer um desgaste mais irregular, devido à maneira como se movimentam em relação ao tambor de freio. Isso ocorre porque elas têm um movimento mais restrito, que não se ajusta às variações na superfície do tambor durante a frenagem. Essas sapatas são geralmente encontradas em sistemas de freio mais simples ou mais antigos.

No entanto, as sapatas de freio com guias flutuantes oferecem uma liberdade de movimento significativamente maior. Este design permite que as sapatas se ajustem de maneira mais eficaz ao tambor de freio durante a operação de frenagem, resultando em um contato mais uniforme entre a sapata e o tambor. Essa capacidade de ajuste não só melhora a eficiência da frenagem, mas também contribui para um desgaste mais uniforme da sapata, pois ela pode se adaptar melhor às variações e irregularidades encontradas no tambor de freio.

Para acionar o freio a tambor simplex (Figura 8) e efetuar a frenagem da roda, o cilindro de ação dupla (5) é ativado, fazendo com que os pistões se movam para

fora, pressionando as sapatas de freio. Quando o veículo se move para frente, a sapata primária (6) exerce um efeito de autoincremento, enquanto quando o veículo se desloca na direção oposta, é a sapata secundária (7) que experimenta o efeito de autobloqueio (3).



Uma sapata de freio primária (expansiva), baixo autoincremento :

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 1 - Sentido de rotação do tambor do freio (marcha à frente) 2 - Autoincremento 3 - Autobloqueio 4 - Torque | <ul style="list-style-type: none"> 5 - Cilindro de roda de atuação dupla 6 - Sapata de freio primária 7 - Sapata de freio secundária 8 - Ponto de apoio (ponto de rotação) |
|---|--|

Fonte: BOSCH (2003)

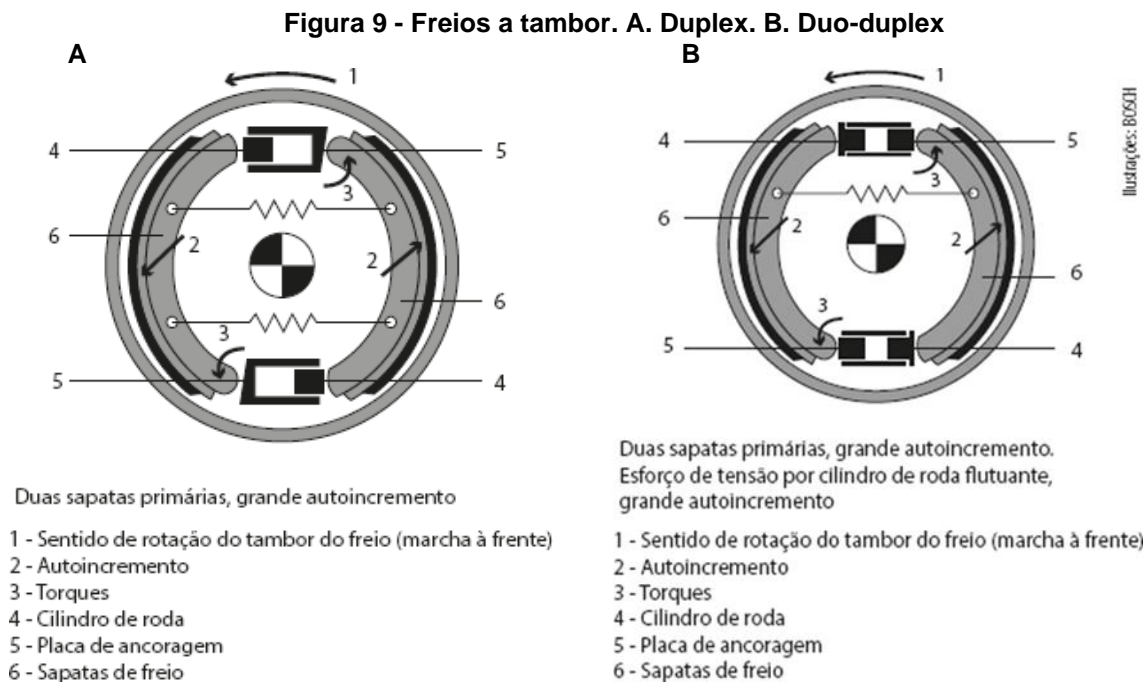
O "efeito de autobloqueio" é um fenômeno que ocorre nos sistemas de freio, como os freios a tambor. Ele faz com que o freio permaneça em posição de frenagem, mesmo quando a força é reduzida ou o veículo tenta se mover na direção oposta. Esse efeito é desejável para manter a estabilidade e a capacidade de parar o veículo, mas deve ser controlado para evitar frenagens excessivas ou bloqueios indesejados das rodas.

No contexto dos freios a tambor, o efeito de autoincremento geralmente se relaciona com a sapata primária do freio. Quando o veículo está em movimento e o freio é acionado, a sapata primária, devido à sua configuração e à força de atrito envolvida, tende a aumentar a pressão contra o tambor de freio. Isso resulta em uma maior força de frenagem gradualmente, mesmo que o motorista não esteja aplicando uma pressão adicional no pedal de freio.

O efeito de autoincremento é uma característica desejável em sistemas de frenagem, pois ajuda a melhorar a eficiência e a estabilidade da frenagem,

especialmente em situações de emergência. Ele permite uma resposta mais rápida e eficaz do sistema de freio sem a necessidade de uma ação imediata do motorista. No entanto, assim como o efeito de autobloqueio, o efeito de autoincremento deve ser projetado e mantido adequadamente para evitar problemas de frenagem excessiva.

Enquanto o tambor duplex (Figura 9A) é acionado por um cilindro de roda de ação simples o duo-duplex (Figura 9B) é acionado por um cilindro de roda de ação dupla. Isso faz com que as duas sapatas de freio dianteiras no duo-duplex tenham o efeito de autoincremento tanto quando o veículo se move para frente quanto quando se move para trás. Em contraste, o freio a tambor duplex só apresenta o efeito de autoincremento quando o veículo se desloca para frente, não tendo esse efeito quando se move para trás. Ambos os sistemas possuem um fator de autoincremento igual a 6.

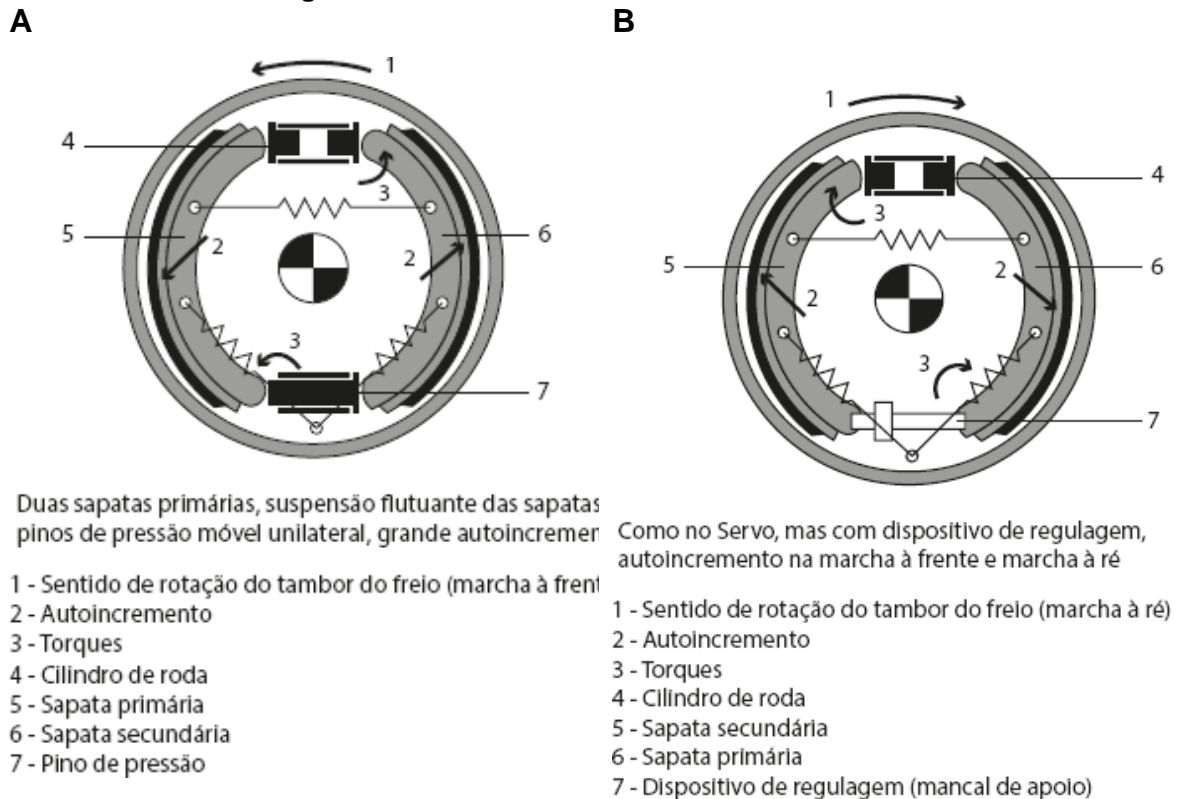


Fonte: BOSCH (2003)

No caso dos freios a tambor servo (Figura 10A) e do freio a tambor duo-servo (Figura 10B), as sapatas de freio flutuantes são ativadas pelo cilindro de roda, que pode ser de ação simples no Servo ou de ação dupla no Duo-servo. Diferentemente dos freios simplex e duplex, as sapatas de freio não são ancoradas em um ponto fixo, mas se apoiam no pino de pressão (7) no freio servo ou no dispositivo de regulagem (7) no freio duo-servo.

No entanto, quando o veículo aciona o freio, o pino de pressão transmite a força da sapata primária para a sapata secundária, resultando em um autoincremento ainda maior na sapata secundária em comparação com a primária. No entanto, no freio a tambor servo, esse efeito de autoincremento não ocorre quando o veículo se move para trás, o que faz com que, nesse caso, o sistema funcione como um freio a tambor simplex.

Figura 10 - Freios a tambor. A. Servo. B. Duo-servo



Fonte: BOSCH (2003)

2.2.2 Componentes de freios a tambor

Os freios a tambor têm como componentes principais: o tambor de freio, placa de apoio, cilindro da roda, sapatas de freio, molas e cliques de retenção, auto ajustador e mecanismo do freio de estacionamento. Alguns destes componentes serão detalhados a seguir.

2.2.2.1 Tambor de freio

Os tambores de freio são construídos com materiais de alta qualidade, geralmente ferro fundido cinzento, para suportar altas pressões e variações de temperatura causadas pelo calor gerado durante a frenagem. É essencial que esse

calor seja dissipado rapidamente para manter o coeficiente de atrito dentro dos limites desejados. Para melhorar o resfriamento, alguns fabricantes incorporam aletas na parte externa do tambor, enquanto outros utilizam tambores de freio em alumínio (Figura 11).

Figura 11 - Tambor de freio. A. Sem aletas. B. Com aletas

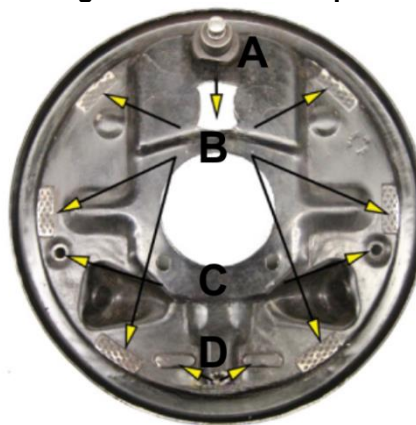


Fonte: GOODNIGHT (2018)

2.2.2.2 Placa de Apoio

Todos os componentes do sistema de freio são anexados à placa de apoio (Figura 12), com exceção do tambor de freio. A placa de apoio é fixada à carcaça ou à suspensão do veículo por meio de parafusos. Ela possui encaixes específicos para prender os outros componentes do sistema de freio, bem como furos para passagem de cabos necessários. Em alguns veículos, a placa de apoio apresenta um recorte projetado para acomodar o dispositivo de regulação do freio a tambor duo-servo.

Figura 12 - Placa de apoio



Nota: (A) Cilindro de roda; (B) Sapatas de freio; (C) Furos para prender mola; (D) Orifícios de ajuste

Fonte: Adaptado de GOODNIGHT (2018)

2.2.2.3 Cilindro da roda

O cilindro da roda é responsável por converter a pressão hidráulica gerada pelo cilindro mestre em força mecânica. Essa força é aplicada às lonas de freio, pressionando-as contra o tambor de freio, o que gera atrito e, por consequência, reduz a velocidade das rodas. O cilindro da roda é composto por uma carcaça, um ou dois pistões (dependendo do tipo de freio a tambor), um conjunto de mola e expansor, bem como um parafuso de sangria, usado para purgar o sistema hidráulico, removendo ar e fluido antigo (Figura 13).

Figura 13 - Componentes do cilindro da roda



Nota: Durante uma inspeção no sistema de freio, é uma boa prática retirar o protetor de pó do cilindro da roda para ver se há fluido de freio atrás do protetor. Se houver o cilindro da roda está vazando e deve ser substituído.

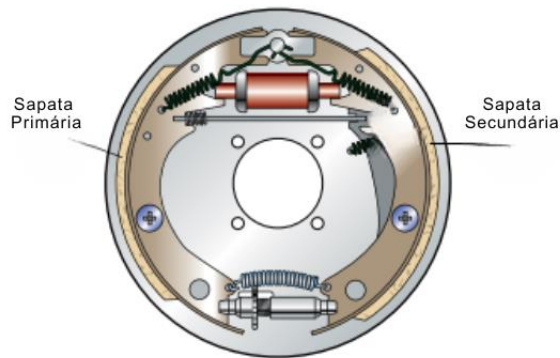
Fonte: GOODNIGHT (2018)

2.2.2.4 Sapatas de freio

As sapatas de freio de metal possuem um material de fricção aderido à sua superfície, chamado de lona de freio. Esses revestimentos podem ser rebitados, mas geralmente são colados. Mesmo que, tecnicamente, as sapatas de freio se refiram apenas à parte metálica, muitas vezes, os técnicos se referem à sapata de freio como a combinação da sapata metálica e da lona de freio.

Em um sistema de freio duo-servo, existem duas sapatas de freio: a sapata primária, que vai para a frente do veículo, e a sapata secundária, que vai para a traseira do veículo (Figura 14). Na maioria das vezes, as sapatas metálicas são as mesmas, mas o comprimento das lonas de freio instaladas nelas é diferente. A sapata secundária desempenha a maior parte do trabalho de frenagem, portanto, a lona de revestimento da sapata secundária é maior em tamanho.

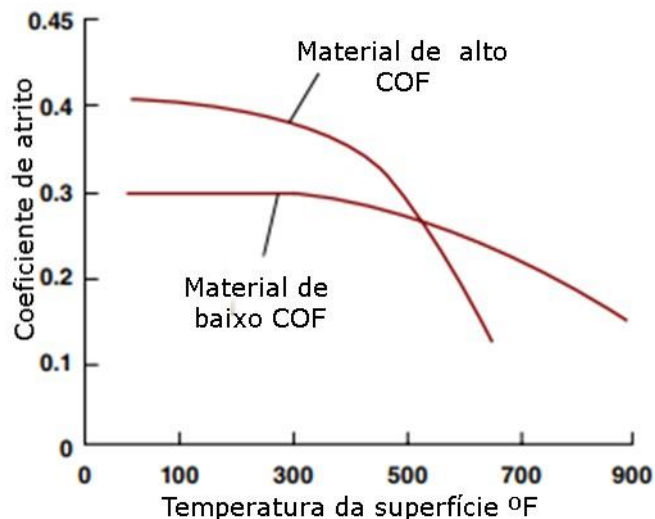
Figura 14 - Sapatas de freio primárias e secundárias



Fonte: Adaptado de GOODNIGHT (2018)

A escolha do material utilizado como revestimento tem um impacto significativo na capacidade de frenagem. Materiais que proporcionam uma boa capacidade de frenagem com baixas pressões no pedal tendem a perder eficiência quando aquecem (Figura 15). Isso significa que a distância necessária para a frenagem aumenta, o que pode representar um risco de acidente caso o motorista não mantenha uma distância segura do veículo à frente.

Figura 15 - Coeficiente de atrito X Temperatura da superfície



Fonte: Adaptado de GOODNIGHT (2018)

Materiais que mantêm um coeficiente de atrito estável em diferentes temperaturas exigem menos pressão no pedal de freio para uma frenagem segura. No entanto, esses materiais tendem a ter uma vida útil mais curta, pois aumentam o desgaste da superfície de atrito do tambor de freio (GOODNIGHT,2018).

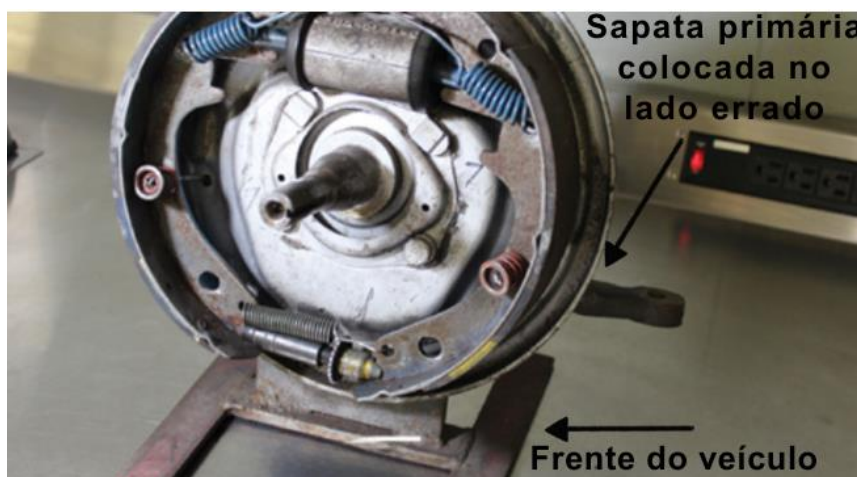
A instalação das sapatas de freio não é uma tarefa complicada, mas erros comuns podem ocorrer durante a manutenção dos freios. Um erro potencial é colocar as duas sapatas dianteiras no mesmo lado do veículo. Isso pode acontecer porque o fabricante muitas vezes organiza a caixa com pares semelhantes, levando o mecânico a acreditar que as sapatas estão separadas por lado do veículo (Figura 16A). Outro erro comum é inverter a posição das sapatas, colocando a sapata primária na parte traseira e a sapata secundária na parte dianteira (Figura 16B).

Figura 16 - Erros comuns na montagem das sapatas de freio

A



B



Fonte: Adaptado de GOODNIGHT (2018)

2.2.2.5 Auto ajustadores

Com o tempo, as lonas de freio se desgastam, criando uma folga entre a lona e o tambor de freio. Essa folga faz com que os pistões tenham que se deslocar mais para mover as sapatas de freio em direção aos tambores e também faz com que o

pedal de freio se desloque mais antes de ativar os freios. Isso resulta em um pedal de freio mais baixo, o que reduz a eficácia da frenagem. Devido a esses riscos, a partir de 1968, os fabricantes são obrigados a incorporar um mecanismo de autoajuste (Figura 17) para manter uma folga adequada entre a lona e o tambor. Isso ajuda a garantir um desempenho de frenagem consistente e seguro.

Figura 17 - Dispositivo de regulação



Fonte: Adaptado de GOODNIGHT (2018)

2.2.2.6 Molas e cliques de retenção

Cada freio a tambor utiliza seu próprio arranjo das molas e cliques (Figura 18). É aconselhável desmontar apenas um lado do veículo por vez. Isso facilita a manutenção, pois se houver esquecimento em relação à posição correta, é possível usar o outro lado como referência.

Figura 18 - Exemplo de molas e cliques de retenção no sistema de freio



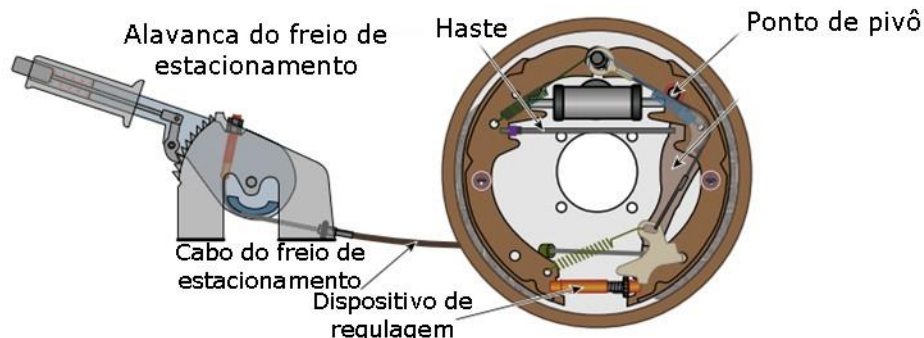
Fonte: GOODNIGHT (2018)

2.2.2.7 Mecanismo de freio de estacionamento

Devido à característica de auto energização dos freios a tambor, é mais fácil aplicar a força mecânica necessária para ativá-los. O cabo do freio de estacionamento

está conectado à alavanca do freio de mão e se estende até o tambor de freio, onde é fixado na extremidade superior de uma das sapatas de freio com um pino. Uma haste de suporte conecta a outra sapata de freio (Figura 19). Essa configuração permite que o freio de estacionamento seja acionado de forma eficaz.

Figura 19 - Conjunto de freio de estacionamento para um freio a tambor



Fonte: Adaptado de GOODNIGHT (2018)

Os freios a tambor requerem manutenção periódica à medida que o veículo envelhece. Uma inspeção visual ou auditiva (ruídos incomuns indicam problemas no sistema de freio) pode ser usada para diagnosticar possíveis problemas, como desgaste irregular do revestimento (quando o desgaste não é uniforme), revestimento contaminado com fluido de freio devido a vazamentos no cilindro da roda, tambor de freio empenado, molas quebradas, lonas de freio ou tambor abaixo da espessura recomendada pelo fabricante. Dado o papel crítico que o sistema de freio desempenha em um veículo, é essencial que a frenagem seja eficaz para evitar acidentes que possam ameaçar a vida do motorista e dos passageiros.

2.3 Freio a disco

Os freios a disco são responsáveis por gerar as forças de frenagem na superfície de um disco giratório fixado na roda. A pressão hidráulica proveniente do cilindro mestre faz com que os êmbolos da pinça exerçam pressão nas pastilhas de freio contra a superfície do rotor, criando atrito. Durante o processo de frenagem, ocorre a geração de calor devido à conversão de energia cinética em energia térmica. Os freios a disco podem suportar forças de compressão, ao contrário dos freios a tambor que lidam com forças de tensão, permitindo assim a aplicação de forças de frenagem maiores.

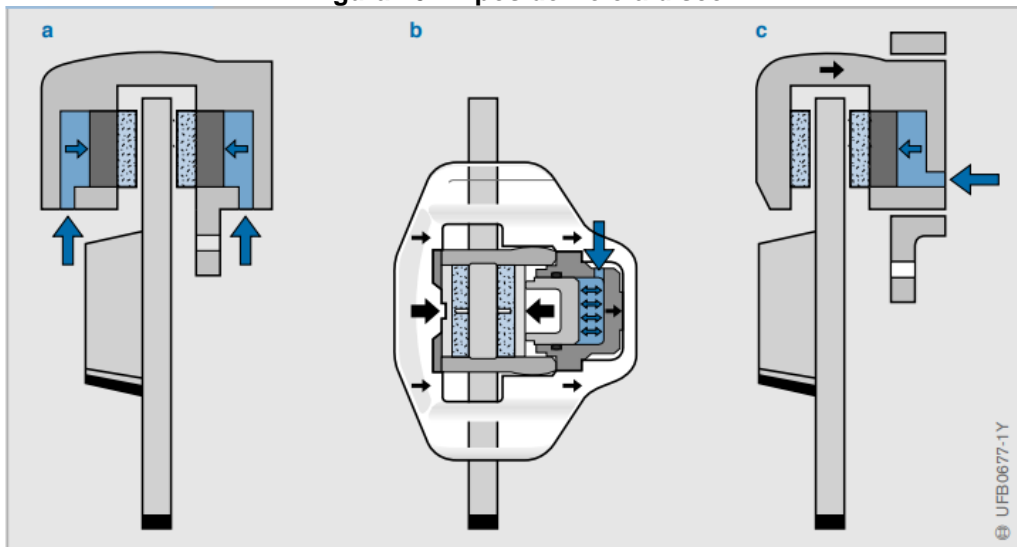
Existem três tipos de freio a disco (Figura 20):

A) Freio a disco de pinça fixa: Dois pistões pressionam as pastilhas de freio contra o disco em ambos os lados.

B) Freio a disco de pinça flutuante: Um único pistão pressiona a pastilha de freio interna contra o disco de freio, enquanto o corpo do cilindro é forçado na direção contrária, movendo assim a pinça flutuante e pressionando indiretamente a pastilha de freio externo contra o disco.

C) Freio a disco de pinça deslizante: Uma variação do freio do freio de pinça flutuante, tendo o mesmo funcionamento.

Figura 20 - Tipos de freio a disco



- a) Freio de pinça fixa (vista frontal);
- b) Freio de pinça flutuante (vista superior);
- c) Freio de pinça deslizante (vista frontal)

Fonte: BOSCH (2003)

O freio a disco oferece várias vantagens em comparação com o freio a tambor, incluindo autorregulagem simplificada, superfície de frenagem plana, melhor capacidade de refrigeração e limpeza, facilidade de manutenção, frenagem mais uniforme, entre outras. Devido a essas vantagens, há uma tendência para a substituição do sistema de freio a tambor pelo freio a disco em veículos pesados. No entanto, para que essa transição ocorra, o material de atrito deve evoluir para suportar temperaturas mais elevadas (PIETRO, 2014).

Por outro lado, as pastilhas de freio requerem uma maior força para operar em comparação com as sapatas de freio, uma vez que não são auto energizantes. Isso significa que o curso do pedal de freio se estende mais. Devido à quantidade de força necessária para ativar um freio a disco, usá-lo como freio de estacionamento pode ser

mais desafiador. Além disso, os freios a disco têm uma maior probabilidade de produzir ruídos indesejados. Como as pastilhas de freio são pressionadas em ambos os lados do rotor, pequenas variações na espessura podem causar pulsações no pedal de freio (GOODNIGHT, 2018).

Os componentes principais dos freios a disco incluem o anel de vedação do pistão, a mola de expansão, os discos de freio, as pastilhas de freio, a pinça, o cubo da roda e a mangueira flexível que contém fluido de freio. As pastilhas de freio e os discos de freio serão detalhados a seguir.

2.3.1 Pastilhas de freio

As pastilhas de freio a disco consistem em material de fricção colado ou rebitado em uma placa de apoio de aço (Figura 21).

Figura 21 - Pastilhas de freios



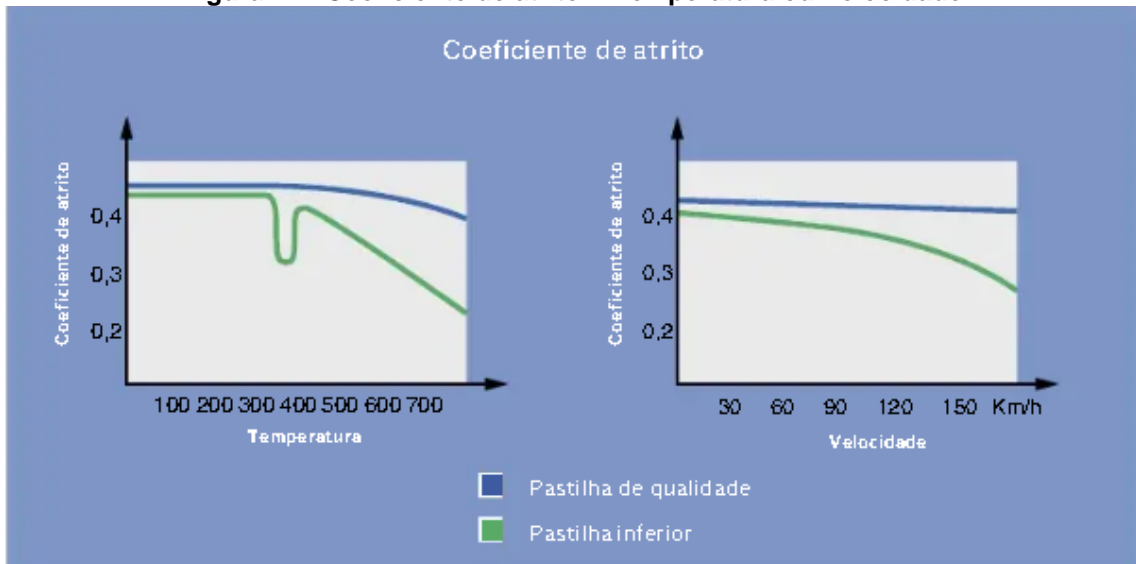
Fonte: GOODNIGHT (2018)

Da mesma forma que nas sapatas de freio, o material de atrito nas pastilhas de freio é colado quando usado em veículos leves devido ao custo mais baixo, mas a cola pode falhar em temperaturas elevadas. Nos veículos pesados, são usadas pastilhas de freio com revestimento rebitado, proporcionando maior segurança em altas temperaturas (GOODNIGHT, 2018).

A potência de frenagem é determinada pela capacidade de manter um coeficiente de atrito constante; ao reduzir esse coeficiente, a distância de frenagem pode ser prolongada.

De acordo com o catálogo do fabricante de pastilhas BOSCH, o uso de pastilhas de baixa qualidade resulta em aumento da temperatura e da distância de frenagem (Figura 22).

Figura 22 - Coeficiente de atrito X Temperatura ou Velocidade



Fonte: Catálogo da Bosch (2012/13)

A Society of Automotive Engineers (SAE) estabelece seis níveis de coeficiente de atrito, que variam de 0,15 a 0,55 conforme mostra a Tabela 1 - Coeficiente de atrito.

Tabela 1 - Coeficiente de atrito

Código	Acima de	Até
C		0,15
D	0,15	0,25
E	0,25	0,35
F	0,35	0,45
G	0,45	0,55
H	0,55	-

Fonte: Catálogo da Bosch (2012/13)

A obtenção de dados precisos em situações reais de frenagem apresenta inúmeras dificuldades, especialmente devido à diversidade de fatores que podem variar com o tempo ou com as condições dos equipamentos. Como ilustrado na Figura 22, o coeficiente de atrito não é uma constante; ele varia significativamente em função de fatores como a qualidade das pastilhas de freio e a velocidade do veículo.

Além dos aspectos destacados na figura, o coeficiente de atrito também é influenciado por variáveis como a temperatura ambiente, as condições da pista, o

estado dos pneus e a pressão dos pneus. É importante diferenciar o coeficiente de atrito estático do coeficiente de atrito cinético.

- Coeficiente de Atrito Estático (μ_s): Representa a força de atrito que precisa ser superada para iniciar o movimento de um objeto que está em repouso. É usado para calcular a força máxima de atrito antes que o objeto comece a deslizar.
- Coeficiente de Atrito Cinético (μ_k): Aplica-se quando o objeto já está em movimento. Ele descreve a força de atrito que atua contra o movimento contínuo.

Para calcular o coeficiente de atrito cinético durante a situação de frenagem, usamos a equação deduzida a seguir:

A força de atrito durante a frenagem é dada por (HALIDDAY, 2012):

$$F_{atrito} = \mu_k \cdot F_{normal} \quad \text{Equação (1)}$$

De acordo com a segunda lei de Newton:

$$F_{normal} = m \cdot g \quad \text{Equação (2)}$$

$$F_{atrito} = m \cdot a \quad \text{Equação (3)}$$

Substituindo a Equação (2) e (3) na Equação (1), eliminando m e substituindo $a = \mu \cdot g$ na equação cinemática:

$$v^2 = v_0^2 - 2 \cdot a \cdot d$$

E reorganizando obtemos a Equação (4):

$$\mu_k = \frac{v_0^2}{2 \cdot d \cdot g} \quad \text{Equação (4)}$$

onde

- V_0 é a velocidade inicial de frenagem do veículo, expressa em (m/s);
- μ é o coeficiente de atrito cinético, adimensional;
- g é a aceleração da gravidade, expressa em (m/s^2);
- d é a distância de parada, expressa em (m);

A escolha do composto das pastilhas depende da aplicação. Existem algumas qualidades que devem ser analisadas quando se tem interesse em adquirir pastilhas novas (GOODNIGHT, 2018):

- Poder de paradas
- Absorção e dispersão de calor
- Resistência ao desbotamento
- Velocidade de recuperação

- Taxa de desgaste
- Menos poeira
- Desempenho quando molhado
- Ruído
- Preço

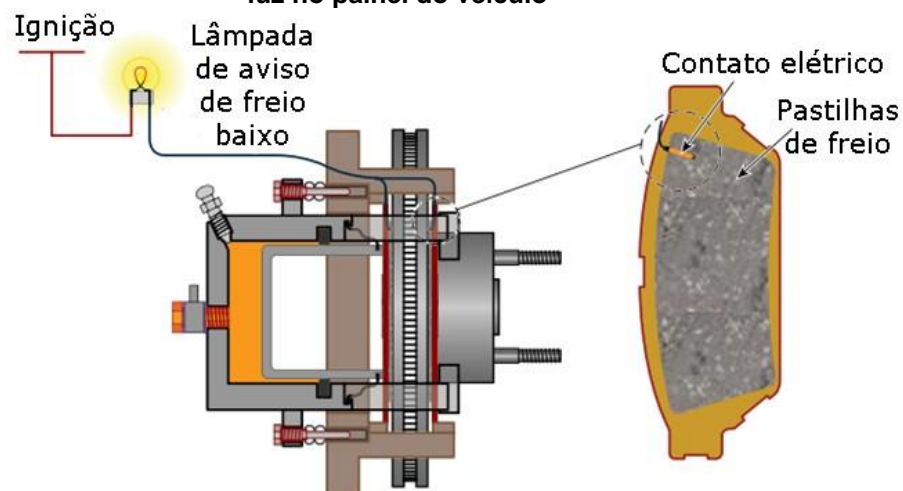
Diferentes qualidades serão exigidas para veículos populares e veículos de alto desempenho.

2.3.1.1 Indicadores de desgaste

Pastilhas de freio mais finas tendem a aquecer mais rapidamente do que pastilhas mais grossas. Conforme são utilizadas, as pastilhas diminuem sua largura, o que pode levar ao desgaste prematuro de todo o sistema se não forem trocadas a tempo. Alguns fabricantes fornecem maneiras de notificar o motorista quando as pastilhas de freio atingem o limite mínimo de desgaste.

Quando o material de atrito se desgasta o suficiente, o sistema de freio a disco emite um ruído semelhante ao de unhas em um quadro negro. Esse ruído indica que é necessário realizar uma manutenção imediata. Alguns fabricantes utilizam um recurso visual no painel para alertar o motorista sobre a necessidade de substituição das pastilhas (Figura 23).

Figura 23 - Um sistema indicando o desgaste máximo das pastilhas do freio por meio de uma luz no painel do veículo



Fonte: Adaptado de GOODNIGHT (2018)

O desgaste axial pode ser calculado pela Equação (5) (SHIGLEY, 2016):

$$\omega = f_1 \cdot f_2 \cdot K \cdot P \cdot V \cdot t$$

Equação (5)

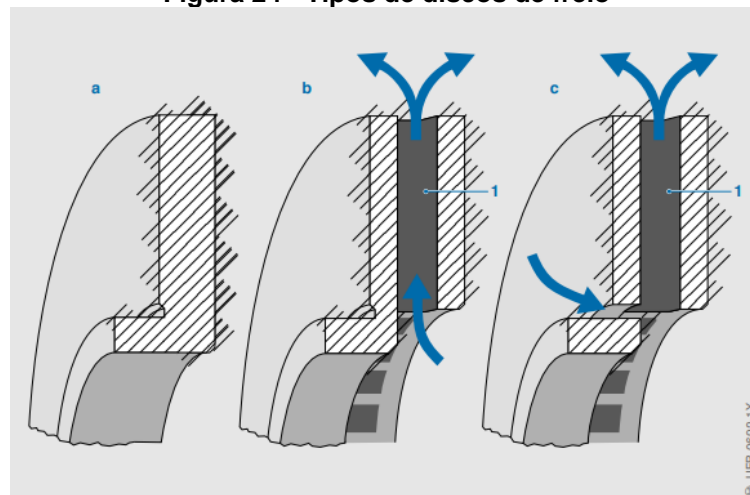
Onde, o desgaste é proporcional à pressão P , a velocidade de deslizamento V , a propriedade do material K , as condições de operação f_1 e f_2 , e ao tempo t . Para ocorrer um desgaste uniforme em toda a pastilha o produto $P \cdot V$ deve ser constante.

2.1.1 Discos de freio

Os discos de freio são acoplados diretamente aos cubos das rodas. Eles são comumente fabricados a partir de materiais como ferro fundido ou aço, devido às suas propriedades de durabilidade e resistência ao calor. Quando as pastilhas de freio são pressionadas contra esses discos, a força aplicada é maior do que no caso das sapatas de freio, usadas em sistemas de freio a tambor. Essa maior pressão resulta em uma geração de calor mais intensa durante a frenagem, levando a um desgaste acelerado das pastilhas de freio. Além disso, ao contrário das sapatas de freio, os discos de freio ficam expostos ao ar e é mais eficazmente resfriado pelo fluxo de ar quando o veículo está em movimento (BOSCH, 2003). Os rotores dos freios a disco podem ser do tipo sólido ou ventilado (Figura 24).

Os rotores sólidos são mais econômicos e geralmente são utilizados em veículos menores. Já os rotores ventilados têm uma capacidade superior de dissipar o calor para a atmosfera e são comumente empregados em veículos pesados para suportar temperaturas mais elevadas.

Figura 24 - Tipos de discos de freio



- a. Não ventilados
- b. Ventilados por dentro
- c. Ventilados por fora
- 1. Canal de resfriamento

Fonte: BOSCH (2003)

É importante observar que a maioria dos rotores é fabricada com uma espessura mínima especificada pelo fabricante (Figura 25). Se essa recomendação não for seguida e a espessura mínima for reduzida, o material de fricção poderá ser removido, deixando insuficiente material para absorver o calor. Isso resultará em um superaquecimento do sistema de freios, podendo levar à falha no sistema. Portanto, é fundamental seguir as especificações do fabricante em relação à espessura mínima do rotor para garantir a segurança e o desempenho adequado do sistema de freios.

Figura 25 - Rotor com especificação de espessura mínima do fabricante



Fonte: GOODNIGHT (2018)

O Quadro 2 lista algumas falhas comuns a serem identificadas no sistema de freio a disco, de acordo com o problema.

Quadro 2 - Problemas comuns nos freios

Problema	Falha
Dificuldade na frenagem	<ul style="list-style-type: none"> • O amplificador de potência não está funcionando corretamente • Vazamento interno do cilindro mestre; ar no sistema hidráulico • Válvula de medição ou válvula de proporção bloqueando o fluxo de fluido • Freios a tambor ajustados incorretamente • Material de revestimento de fricção inadequado • Revestimentos contaminados
Ruído	<ul style="list-style-type: none"> • Material de revestimento de fricção muito duro • Indicador de desgaste tocando o rotor (pastilhas gastas) • Forro desgastado para metal • Corrediças/pinos de guia do calibrador desgastados • Ruídos específicos do componente
Vibração	<ul style="list-style-type: none"> • Material de revestimento de fricção inadequado • Acabamento da superfície do rotor incorreto • Objeto estranho (lama, pedras, etc.) no rotor • Rotor deformado/variação de espessura excessiva • Operação ABS

Puxar	<ul style="list-style-type: none"> • Mangueira de freio obstruída ou restrita • Pistão da pinça preso • Pinos guia de pinça apreendidos • Ar no sistema hidráulico
Agarrar	<ul style="list-style-type: none"> • Pistão da pinça preso • Vazamento interno do cilindro mestre • Freios a tambor desajustados
Arrastando	<ul style="list-style-type: none"> • Pistão da pinça preso • Pinos guia de pinça apreendidos • Comprimento da haste do cilindro mestre desajustado • Pedal de freio • Linha ou mangueira de freio obstruída
Pulsação	<ul style="list-style-type: none"> • Rotores empenados • Paralelismo do rotor • Operação ABS

Fonte: Adaptado de GOODNIGHT (2018)

3 TESTES DE FRENAGEM

Muitos trabalhos de conclusão de curso enfrentam dificuldades significativas em obter equipamentos adequados para testes, e este estudo também foi impactado por essa limitação. A complexidade em calcular a distância de frenagem, o tempo de frenagem e a desaceleração se deve ao grande número de variáveis envolvidas, o que torna o processo desafiador.

3.1 Ensaio de frenagem segundo a Norma ABNT 10966-2: 2013

Segundo a Norma ABNT 10966-2:2013 o desempenho dos sistemas de freios baseia-se na distância de parada em relação à velocidade inicial do veículo e/ou desaceleração média plenamente desenvolvida durante o ensaio.

A desaceleração média plenamente desenvolvida deve ser calculada utilizando a seguinte equação:

$$D_M = \frac{v_b^2 - v_e^2}{25,92 \cdot (s_e - s_b)} \quad \text{Equação (6)}$$

onde

- v_0 é a velocidade inicial do veículo, expressa em quilômetros por hora (km/h);
- v_b é a velocidade do veículo a $0.8v_0$, expressa em quilômetros por hora (km/h);
- v_e é a velocidade do veículo a $0.1v_0$, expressa em quilômetros por hora (km/h);
- s_b é a distância percorrida entre v_0 e v_b , expressa em metros (m);
- s_e é a distância percorrida entre v_0 e v_e , expressa em metros (m).

Neste caso, encontra-se uma dificuldade em se obter as distâncias s_b e s_e , variáveis da Equação (6), por não ter como realizar a marcação dessas distâncias nas velocidades corretas.

3.2 Cálculo da desaceleração utilizando a equação de Torricelli

Outra abordagem para obter os resultados desejados pode ser através da aplicação da equação de Torricelli:

$$V_f^2 = V_i^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s \quad \text{Equação (7)}$$

onde

- V_f é a velocidade final do veículo, expressa em (m/s);
- V_i é a velocidade inicial do veículo, expressa em (m/s);
- a é a aceleração(positiva) ou desaceleração(negativa), expressa em (m/s^2);
- Δs é a distância de parada, expressa em (m).

Neste caso, não podemos aplicar a Equação (7), devido à falta das variáveis necessárias para o cálculo. A aceleração pode ser obtida por um acelerômetro, instrumento que pode ser instalado juntamente com o Cronotacógrafo (Ver Seção 3.3). No entanto, para este estudo, não foi possível obter acesso a esse dispositivo.

3.3 Cronotacógrafo

O Cronotacógrafo é um dispositivo ou conjunto de instrumentos projetado para registrar, de forma simultânea e inalterável, a velocidade e a distância percorrida por um veículo, levando em consideração o tempo decorrido (INMETRO, 2023). Além disso, ele registra parâmetros relacionados ao condutor do veículo, como seu tempo de trabalho, tempos de parada e tempos de direção.

No Brasil, o uso do cronotacógrafo é obrigatório em ônibus e caminhões desde a implementação do Código de Trânsito Brasileiro, em 1997. A obrigatoriedade se aplica a veículos de carga com peso bruto superior a 4.536 kg e a veículos de passageiros com mais de 10 lugares. Desde 2009, esses dispositivos também precisam passar por verificações periódicas pelo Inmetro, aumentando a confiabilidade das medições.

A importância do cronotacógrafo tem crescido ao longo dos anos devido ao aumento de acidentes fatais envolvendo ônibus e caminhões. Esse instrumento ajuda a coibir excessos e contribui para a redução de acidentes, uma vez que mantém registros históricos das velocidades atingidas, distâncias percorridas e tempos de movimento e paradas do veículo.

Este equipamento foi utilizado para determinar o tempo de frenagem, visando calcular a distância de frenagem a partir desse dado. No entanto, a resolução do instrumento se limitava a 1 segundo. Devido a essa limitação, o autor utilizou o equipamento para compreender melhor o processo de frenagem ao longo do tempo, mas descartou a possibilidade de calcular a distância de frenagem baseando-se nesses dados.

4 METODOLOGIA

Para avaliar o impacto da manutenção preventiva, foram realizados testes de desempenho do sistema de freio, comparando peças novas e usadas, seguindo em partes a norma ABNT NBR 10966-2:2013. Neste trabalho de conclusão de curso foi utilizado um equipamento chamado Cronotacógrafo da marca SEVA, modelo DT-1050.

4.1 Procedimento experimental

Para avaliar o desempenho da frenagem em automóveis e sua relação com a manutenção preventiva, foram consideradas duas condições distintas das pastilhas de freio. A primeira condição envolveu o uso de pastilhas novas, sem desgaste prévio, atendendo às recomendações de vida útil estipuladas pelo fabricante. Já a segunda condição consistiu no uso de pastilhas de freio usadas, com desgaste e avarias além da vida útil recomendada, contrariando as orientações do fabricante.

Os ensaios de frenagem foram conduzidos em uma pista pavimentada, plana e reta (em condições secas). Para os testes, utilizou-se cones de sinalização e fitas demarcatórias para indicar o ponto exato onde o condutor deveria iniciar a frenagem. O procedimento consistia em acionar os freios quando o centro da roda dianteira alinhava-se com a fita de sinalização, continuando até a parada completa do automóvel. A distância de frenagem foi então medida com uma fita métrica, estendendo-se da fita de sinalização até o cubo das rodas dianteiras.

Algumas exigências da norma ABNT NBR 10966-2:2013 para o teste ser aplicado corretamente estão descritas a seguir:

- ✓ No início dos ensaios o pneu deve estar frio e na pressão descrita pelo fabricante;
- ✓ Os freios devem estar frios. É considerado frio temperaturas abaixo de 100 °C medido diretamente no disco ou tambor;
- ✓ O veículo deve estar carregado e a distribuição de massa para cada eixo deve ser a indicada pelo fabricante;
- ✓ Cada ensaio deve ser repetido sem carga. Uma segunda pessoa, pode estar sentada no banco dianteiro para registrar os resultados;
- ✓ A pista deve estar nivelada;

- ✓ Ensaios devem ser conduzidos na faixa de 30%-80% da velocidade máxima do veículo.

Os testes foram organizados, conforme apresentado na Tabela 2. As velocidades escolhidas para os testes corresponderam a aproximadamente 30% e 40% da velocidade máxima do veículo (100 km/h), seguindo a norma para testes de frenagem que exige velocidades variando entre 30% e 80% da máxima do veículo. Optou-se pelas velocidades de 30 km/h e 40 km/h, por serem representativas dos limites de velocidade em vias locais e coletoras urbanas.

Tabela 2 - Disposição dos testes do desempenho de frenagem

TESTE	Condição da pista	Condição da pastilha	Velocidade inicial em (km/h)
01	Seca	Nova	30
02	Seca	Nova	40
03	Seca	Usada	30
04	Seca	Usada	40

Fonte: Autoria própria (2023)

Para garantir a precisão e a confiabilidade dos resultados, cada teste de frenagem foi repetido 8 vezes, e utilizado a sua média para analisar os resultados.

4.2 Dados do veículo

O veículo utilizado nos ensaios de frenagem é uma van Kia Besta modelo 2001 com motor 2.7 8V 12L. A Tabela 3 apresenta as dimensões do veículo.

Tabela 3 - Dimensões do veículo

Item	Modelo	
	Passageiros	Furgão
Comprimento total	4820	4820
Largura total	1810	1810
Altura total	1970	1970
Entre eixos	2580	2580

Fonte: Manual do proprietário (2001)

A Figura 26 nos mostra o design do veículo utilizado nos testes.

Figura 26 - Design do Veículo: Kia Besta 2001



Fonte: Autoria própria (2023)

A Figura 27 ilustra o equipamento utilizado nos testes:

Figura 27 - Cronotacógrafo



Fonte: SEVA

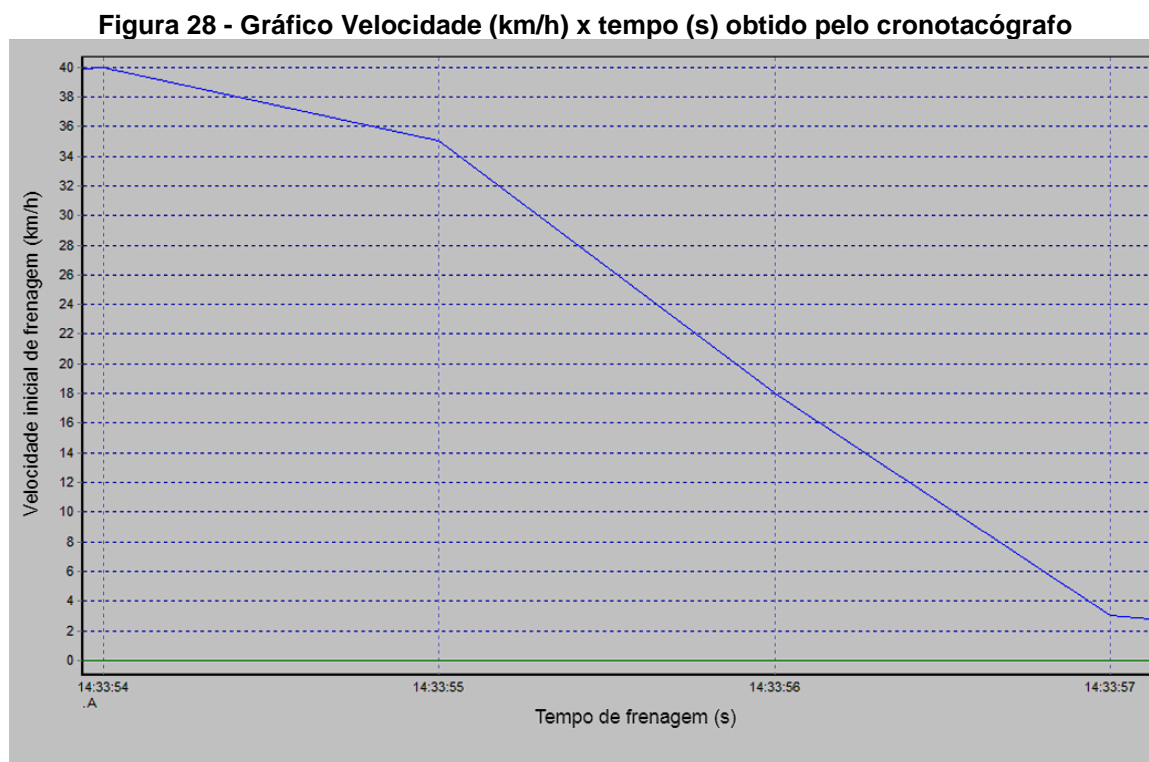
A seleção do veículo para a realização dos testes de frenagem foi uma decisão do autor. O veículo escolhido já estava equipado com um cronotacógrafo, um aspecto que facilitou a coleta precisa de dados, como a velocidade inicial e o tempo de frenagem. Além disso, a escolha foi influenciada pela natureza do veículo como um utilitário, destinado ao transporte de até 11 passageiros. A decisão de usar um veículo utilitário para os testes de frenagem ressalta a relevância prática da pesquisa. Ao focar em um tipo de veículo que carrega muitas vidas, o estudo destaca a importância vital da manutenção preventiva do sistema de freios. Neste contexto, o estudo não apenas visa melhorar a compreensão técnica da frenagem, mas também tem implicações diretas na segurança dos passageiros.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização dos testes práticos de frenagem, foi possível analisar as distâncias de frenagem, a velocidade inicial de frenagem e o coeficiente de atrito em uma situação real.

5.1 Velocidade inicial de frenagem

A velocidade inicial de frenagem foi monitorada usando um cronotacógrafo instalado no veículo (Figura 28). Estabelecemos 30 km/h como a velocidade padrão para os testes. No entanto, dada a necessidade de o motorista controlar essa velocidade manualmente através do pedal do acelerador, pequenas variações são inevitáveis.



Fonte: Autoria própria (2023)

Quanto ao tempo de frenagem, ele foi inicialmente estimado pelo cronotacógrafo, mas sua resolução limitada a 1 segundo restringe sua precisão para os cálculos. Para complementar, realizamos uma análise de vídeo em câmera lenta, capturando o exato momento do início da frenagem até a parada total do veículo. Este método confirmou a calibração precisa do equipamento, que foi realizada pela última vez em 10/02/2023 e é válida até 10/01/2024. O certificado pode ser consultado no site do Inmetro através da placa MBV-2H41.

5.2 Distâncias de frenagem

Para garantir a fidelidade dos resultados dos testes de frenagem, as pastilhas de freio novas foram submetidas a um período de assentamento de 2 dias antes da realização dos testes. Esse procedimento foi adotado para simular as condições reais de uso do sistema de freios em um veículo do dia a dia, minimizando a possibilidade de dispersão nos dados devido à condição inicialmente não assentada das pastilhas.

A Tabela 4 e a Tabela 5 nos mostram os resultados obtidos nos testes de frenagem a uma velocidade padrão de 30 km/h com pastilhas usadas e novas, respectivamente.

Tabela 4 - Média dos resultados com pastilhas de freio usadas a 30 km/h

PASTILHA DE FREIO USADAS			
Teste	Velocidade(km/h)	Distância(m)	Coeficiente de atrito
1	31	6,7	0,56
2	29	6,25	0,53
3	29	7,1	0,47
4	29	6,2	0,53
5	30	5,4	0,66
6	28	6,7	0,46
7	30	7	0,51
8	29	5,9	0,56
Média	29	6,48	0,53

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 5 - Média dos resultados com pastilhas de freio novas a 30 km/h

PASTILHA DE FREIO NOVAS			
Teste	Velocidade(km/h)	Distância(m)	Coeficiente de atrito
1	29	3,4	0,97
2	28	3,25	0,95
3	30	4,56	0,78
4	29	4,28	0,77
5	32	5,7	0,71
6	30	4,7	0,75
7	29	3,78	0,87
8	30	4,32	0,82
Média	29,5	4,3	0,80

Fonte: Autoria própria (2023)

No caso da velocidade padrão de 40 km/h, a Tabela 6 e a Tabela 7, representam os dados obtidos:

Tabela 6 - Média dos resultados com pastilhas de freio usadas a 40 km/h

PASTILHA DE FREIO USADAS			
Teste	Velocidade(km/h)	Distância(m)	Coeficiente de atrito
1	41	12,10	0,55
2	41	12,00	0,55
3	42	11,60	0,60
4	39	11,70	0,51
5	41	12,40	0,53
6	40	12,20	0,52
7	38	12,20	0,47
8	40	12,50	0,50
Média	40,5	12,15	0,52

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 7 - Média dos resultados com pastilhas de freio novas a 40 km/h

PASTILHA DE FREIO NOVAS			
Teste	Velocidade(km/h)	Distância(m)	Coeficiente de atrito
1	38	8,8	0,65
2	40	9,15	0,69
3	40	8,48	0,74
4	38	8,85	0,64
5	37	8,43	0,64
6	40	9,15	0,69
7	40	9	0,70
8	40	9,3	0,68
Média	40	8,93	0,68

Fonte: Autoria própria (2023)

No entanto a Tabela 8 compara os resultados entre as pastilhas de freio usadas e novas nas velocidades de 30 e 40 km/h.

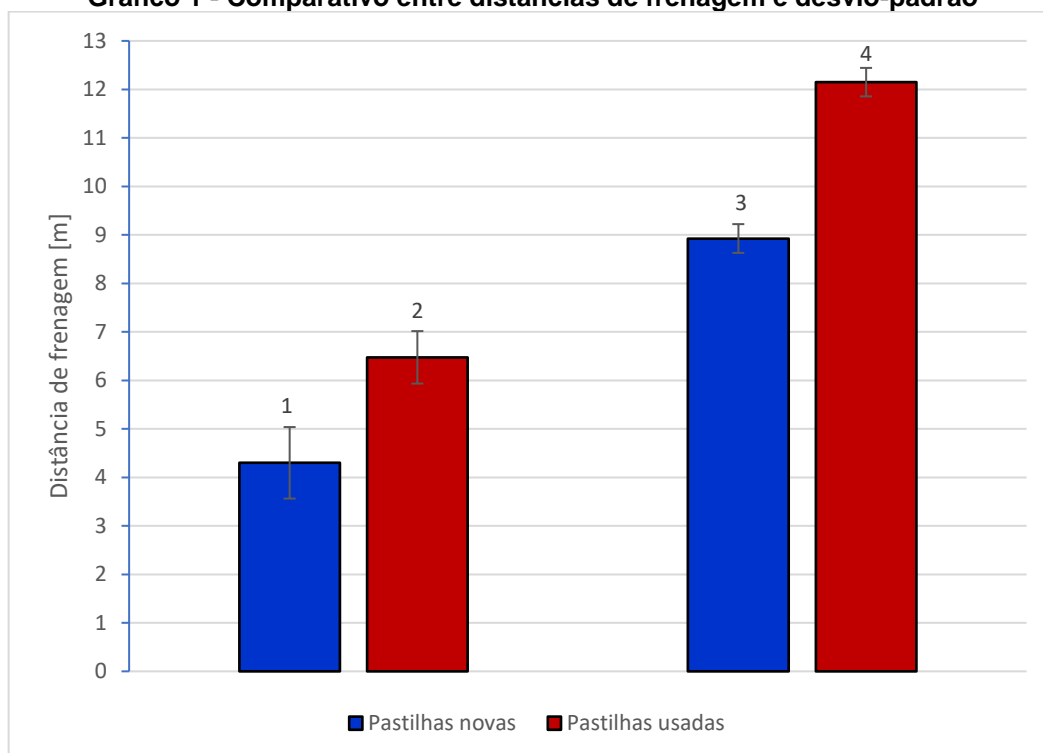
Tabela 8 - Comparação de resultados entre os testes de frenagem

Velocidade padrão (km/h)	Distância de frenagem (m)	Varição Percentual
30 km/h	2,18	50,58%
40 km/h	3,23	26,54%

Fonte: Autoria própria (2023)

O Gráfico 1, resume os testes realizados nas velocidades padrão de 30 ± 2 km/h e 40 ± 2 km/h. Fica evidente que a distância de frenagem aumenta de quando se utiliza de pastilhas de freio usadas. O gráfico também mostra o desvio-padrão das distâncias.

Gráfico 1 - Comparativo entre distâncias de frenagem e desvio-padrão



Fonte: Autoria própria (2023)

Notavelmente, a diferença percentual nas distâncias de frenagem a uma velocidade padrão de 30 km/h é de 50,58%. Isso implica que, ao empregar pastilhas novas, o motorista é capaz de parar o veículo em uma distância aproximadamente 50% menor do que se negligenciasse a manutenção preventiva. Em termos práticos, essa diferença representa uma redução média de 2,18 metros na distância de frenagem. Embora essa medida possa parecer modesta, ela é crucial em situações de frenagem emergencial para evitar acidentes de trânsito.

Interessantemente, quando a velocidade inicial de frenagem aumenta para 40 km/h, observa-se uma variação percentual de 26,54% na distância de frenagem, correspondendo a uma diferença absoluta de 3,23 metros. Esta distância é ainda mais significativa considerando que o comprimento médio de um carro popular é de 4,45 metros. Esses dados sublinham a importância da substituição regular das pastilhas de freio para prevenir acidentes.

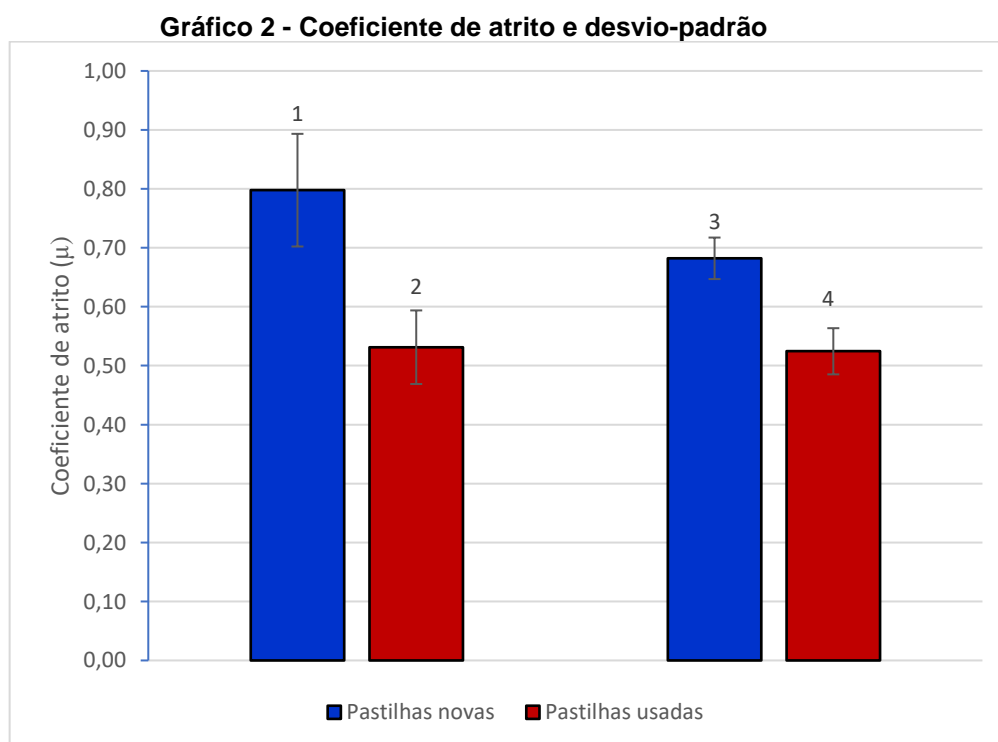
O desvio-padrão foi calculado sobre as médias obtidas e teve uma diferença absoluta de 0,196 na velocidade de 30 km/h e de 0,003 na velocidade de 40 km/h, fato que é evidenciado no gráfico 1. Isso mostra que para esse estudo a variação da distância de frenagem é maior quando se utiliza velocidades mais baixas.

Vários fatores podem contribuir para este fenômeno. Por exemplo, características específicas das pastilhas de freio ou dos pneus podem resultar em comportamentos diferentes a baixas velocidades. Além disso, variáveis como as condições da superfície de teste, a temperatura dos freios e o comportamento do motorista podem ter impactos maiores a velocidades mais baixas, enquanto a altas velocidades, esses fatores podem ser menos influentes.

Além disso, é importante ressaltar que a eficácia da frenagem não depende exclusivamente das pastilhas de freio. Outros fatores, como a condição do sistema de freio a tambor, a qualidade dos pneus, a manutenção adequada do fluido de freio e o estado dos discos de freio, também são cruciais. Portanto, a manutenção preventiva abrangente do sistema de freios é vital para garantir a segurança veicular.

5.3 Coeficiente de atrito

O Gráfico 2, relaciona as velocidades padrão de frenagem de $30 \pm 2 \text{ km/h}$ e $40 \pm 2 \text{ km/h}$ e o coeficiente de atrito calculado pela Equação (4) juntamente com o desvio-padrão em cada condição.



Fonte: Autoria própria (2023)

A Figura revela que, a uma velocidade padrão de $30 \pm 2 \text{ km/h}$, há uma variação significativa nos valores do coeficiente de atrito estático calculados pela

Equação (4). A variação percentual das médias do coeficiente de atrito estático nos testes a de $30 \pm 2 \text{ km/h}$ é de 50,20%, com uma diferença absoluta de 0,2664.

No entanto, ao analisar os dados referentes à velocidade de $40 \pm 2 \text{ km/h}$, constata-se que a variação no coeficiente de atrito é menor. Em termos percentuais, a variação é de 30,03%, e a diferença absoluta é de 0,1575. A média dos coeficientes de atrito para pastilhas usadas permaneceu quase constante entre as duas velocidades testadas (0,5313 e 0,5245), sugerindo que a variação mais significativa no coeficiente de atrito ocorreu nas pastilhas novas, influenciada principalmente pela velocidade de frenagem.

Este resultado contradiz as expectativas baseadas na Figura 22, que indica que para pastilhas de freio de boa qualidade, o coeficiente de atrito deveria se manter constante independente da velocidade. É possível que as pastilhas não estivessem à nos padrões de qualidade esperados, o que pode explicar a variação observada nos coeficientes de atrito.

No caso das pastilhas usadas, os valores do coeficiente de atrito são menores, principalmente devido à redução do material de atrito disponível para interagir eficientemente com o disco de freio. Esta redução é consequência do desgaste natural do material das pastilhas ao longo do tempo, o que diminui sua eficácia em gerar a força de atrito necessária para uma frenagem eficiente.

Isso destaca a importância crítica da manutenção preventiva no sistema de freios, enfatizando a necessidade de substituir as pastilhas de freio antes que atinjam um nível de desgaste que comprometa a segurança do veículo.

A Figura 29 e Figura 30 evidenciam a diferença de material de atrito em uma pastilha nova e em uma pastilha usada.

É fundamental destacar que o veículo utilizado nos testes não estava equipado com o sistema ABS (Anti-lock Braking System). Esta ausência resultou em algumas ocorrências de travamento das rodas durante a frenagem, onde elas foram literalmente arrastadas. A falta do sistema ABS traz um desafio adicional, especialmente no que tange à manutenção do controle direcional do veículo durante a frenagem intensa.

Figura 29 - Pastilhas de freio novas



Fonte: GOODNIGHT (2018)

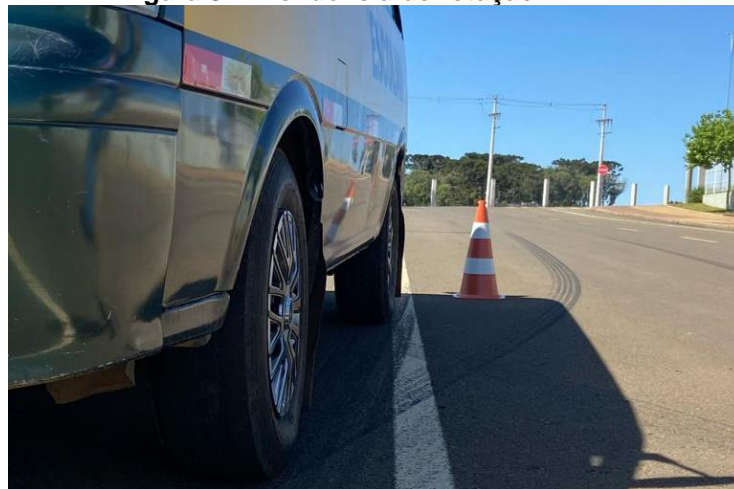
Figura 30 - Pastilhas de freio usadas



Fonte: Autoria própria (2023)

Nos testes realizados com as pastilhas de freio novas, a Figura 31 evidencia que o veículo apresentou uma tendência a rotacionar durante a frenagem. Esse comportamento não foi observado nos testes com pastilhas usadas. A explicação para esta diferença reside na eficácia do material de atrito nas pastilhas novas, que propicia uma frenagem mais intensa, aumentando a probabilidade de travamento das rodas e consequente perda de controle direcional.

Figura 31 - Tendência de rotação



Fonte: Autoria própria (2023)

Por outro lado, com as pastilhas em condições mais desgastadas, a frenagem tende a ser mais suave devido à menor eficácia do material de atrito restante. Essa suavidade na frenagem pode reduzir a probabilidade de travamento das rodas, mas ao mesmo tempo, aumenta a distância necessária para parar o veículo, comprometendo a segurança.

Esta análise destaca a importância de sistemas como o ABS para manter o controle do veículo durante frenagens bruscas e ressalta como diferentes condições

das pastilhas de freio podem influenciar o comportamento do veículo em situações críticas.

Outra exclusividade do teste de frenagem com as pastilhas novas foram as marcas de frenagem na pista (Figura 32).

Figura 32 - Marcas de frenagem na pista



Fonte: Autoria própria (2023)

Desse modo, percebe-se o desgaste dos pneus durante a frenagem, sendo uma das variações que não podem ser controlada.

Ao interpretar os resultados dos testes de frenagem, é importante destacar que o coeficiente de atrito calculado pela Equação (4) refere-se ao coeficiente de atrito cinético. O atrito cinético é a força que atua contra o movimento de objetos que já estão em deslocamento. Quando os pneus de um veículo travam e param de rodar durante uma frenagem, passando a deslizar sobre a superfície da estrada, o tipo de atrito que entra em ação é o atrito cinético. Isso ocorre porque, embora o veículo ainda esteja em movimento, os pneus não estão mais girando, mas sim deslizando sobre a estrada. Nesta situação, o coeficiente de atrito cinético é o responsável por determinar a força de atrito entre os pneus e a superfície da estrada e entre os discos de freio e a pastilha de freio.

É importante notar que o atrito cinético geralmente é menor do que o atrito estático, o que significa que um veículo com pneus travados e deslizando pode não parar tão rapidamente quanto um veículo que mantém os pneus girando, aproveitando o atrito estático.

Esta distinção tornou-se evidente nos testes com pastilhas de freio novas. Durante a frenagem, houve momentos em que os pneus do veículo travaram e começaram a deslizar pela pista sem girar, uma clara manifestação do atrito cinético.

Esta ocorrência foi capturada pelo vídeo em câmera lenta, permitindo uma análise detalhada do comportamento dos pneus e do sistema de freios sob essas condições.

Esse é o princípio por trás dos sistemas de freios ABS (Sistema de Freios Antitravamento), que visam prevenir o travamento dos pneus. Ao manter os pneus girando e evitando o travamento, o ABS aproveita o atrito estático, que é mais eficaz para desacelerar o veículo, em vez de recorrer ao atrito cinético.

6 CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou uma melhoria significativa na distância de frenagem ao utilizar pastilhas de freio novas em comparação com as usadas. Em testes realizados a uma velocidade de 30 km/h, observou-se que a distância média de frenagem foi reduzida de 6,47 metros para 4,3 metros, com um desvio-padrão de 0,54 para as pastilhas usadas e de 0,74 para as novas. Essa redução representa uma diferença absoluta de 2,18 metros na distância de frenagem.

Para velocidades de 40 km /h, a distância de frenagem diminuiu de 12,15 metros para 8,92 metros. Os desvios-padrão observados foram de 0,29 para as pastilhas usadas e novas.

Além disso, houve alterações significativas no coeficiente de atrito: de 0,53 para 0,80 nas pastilhas de 30 km/h (com desvios-padrão de 0,062 e 0,096, respectivamente) e de 0,52 para 0,68 na velocidade de 40 km/h (com desvios-padrão de 0,039 e 0,035, respectivamente).

Sugere-se que novos trabalhos investiguem se as pastilhas usadas tiveram desempenho reduzido por mudanças no material devido aos ciclos térmicos durante seu uso ou pela elevação das temperaturas decorrente da redução do material de atrito ou por consequência do desgaste irregular. Além disso, é possível que, durante a substituição das pastilhas, a nova regulagem tenha contribuído para a melhoria do desempenho do sistema como um todo.

Em conclusão, este estudo reforça a importância da manutenção preventiva dos sistemas de freio. Investir na substituição regular de componentes desgastados não apenas minimiza o risco de acidentes, mas também representa um custo aceitável em comparação com os potenciais consequências de um acidente, incluindo danos ao veículo, prejuízos financeiros e, mais significativamente, a segurança do motorista e dos passageiros.

7 REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10966-1: 2013**. Veículos rodoviários automotores — Sistema de freio - Parte 1: Disposições uniformes relativas à aprovação quanto à frenagem para veículos das categorias M, N e O Rio de Janeiro, 2013.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10966-2: 2013**. Veículos rodoviários automotores – Sistema de freio, parte 2: ensaio de frenagem e desempenho para veículos categorias M, N e O. Rio de Janeiro, 2013.
- [3] BAUER, Horst; POST, Wulf; BOSCH, Robert. **Conventional and electronic braking systems**. 3. ed. Plochingen: Robert Bosch GmdH, 2003. 134 p.
- [4] BORBA, Thiago. **COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO EM FRENAGEM DE VEÍCULO COM SISTEMA ABS ATIVO E INATIVO**. Orientador: Dr. Thiago Antonio Fiorentin. 2016. 63 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Automotiva) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Joinville, [S. l.], 2016 Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/165263/Trabalho%20de%20Conclus%C3%A3o%20de%20Curso%20%20Thiago%20de%20Borba.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 26 nov. 2022.
- [5] Código de Trânsito Brasileiro – CTB – LEI Nº 9.503, DE 23 DE SETEMBRO DE 1997.
- [6] COLLINS, Jack A.; BUSBY, Henry R.; STAAB, George H. **Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2006. E-book. ISBN 978-85-216-1935-2. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-1935-2/>. Acesso em: 19 nov. 2022.
- [7] GARDINALLI, G. J. **Comparação do desempenho de frenagem simulada x experimental de um veículo de passeio com freios hidráulicos e abs**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- [8] GOODNIGHT, Nicholas; VANGELDER, Kirk. **Automotive Braking Systems**. [S. l.]: Jones & Bartlett Learning, 2018. 320 p.
- [9] MANUAL DO PROPRIETÁRIO. **KIA MOTORS**. 2001.

- [10] Ministério da Infraestrutura, Secretaria Nacional de Trânsito - SENATRAN – 2021
- [11] PIETRO, Ronaldo Deziderio. **Freios hidráulicos**: Da física básica à dinâmica veicular, do sistema convencional aos sistemas eletrônicos. [S. l.]: SENAI-SP Editora, 2018. 436 p.
- [12] Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores – Sindipeças, & de Autopeças – Abipeças, AB da I. (2022). **Relatório da Frota Circulante**. Disponível em: https://www.sindipeças.org.br/sindinews/Economia/2022/RelatorioFrotaCirculante_2022.pdf. Acesso em: 26 nov. 2022.
- [13] Uk, R. H. F. T. (2019). **Have you had your car's brakes and tyres checked recently? Figures reveal defects are the most common cause of lethal accidents on British roads. THIS IS MONEY.** <https://www.thisismoney.co.uk/money/cars/article-7520371/Defective-brakes-tyres-cause-road-accidents-Britain.html>
- [14] United States. Department of Transportation. Federal Motor Carrier Safety Administration. (2005). **Report to Congress on the Large Truck Crash Causation Study.** <https://rosap.nhtl.bts.gov/view/dot/61146>
- [15] DT-1050. 2.0. Local: Contagem/MG. SEVA.
- [16] BOSCH. Manual de tecnologia automotiva. [Digite o Local da Editora]: Editora Blucher, 2005. E-book. ISBN 9788521215523. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521215523/>. Acesso em: 17 nov. 2023.
- [17] INSTITUTO SCARINGELLA TRÂNSITO. **Caminhões de Mato Grosso tem a falha nos freios como o principal problema mecânico.** Disponível em: <https://brasildotrecho.com.br/2022/06/estudo-aponta-falha-nos-freio-como-principal-causa-em-acidentes/>. Acesso em: 15 nov. 2023.
- [18] HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física. 9. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2012 vol 4.

- [19] BUDYNAS, Richard; NISBETT, J K. Elementos de máquinas de Shigley. [Digite o Local da Editora]: Grupo A, 2016. E-book. ISBN 9788580555554. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580555554/>. Acesso em: 03 dez. 2023.
- [20] BRASIL. Inmetro. **O que é cronotacógrafo?**. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/aceso-a-informacao/perguntas-frequentes/metrologia-legal/cronotacografo/o-que-e-cronotacografo>. Acesso em: 08 dez. 2023.