

**CENTRO PAULA SOUZA
FATEC SANTO ANDRÉ
Tecnologia em Mecânica Automobilística**

**Matheus Farias Galdino
Gabriel Merlin de Figueiredo Grangeiro
Guilherme Rocha Matos**

ADAPTAÇÃO TÉCNICA NO SISTEMA DE FREIO DO GOL 1993

**Santo André
2025**

Matheus Farias Galdino
Gabriel Merlin de Figueiredo Grangeiro
Guilherme Rocha Matos

ADAPTAÇÃO TÉCNICA NO SISTEMA DE FREIO DO GOL 1993

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Tecnologia em Mecânica Automobilística da Fatec Santo André, orientado pelo Prof. Nicolino Foschini Neto, como requisito parcial para obtenção do título de tecnólogo em Mecânica Automobilística.

Santo André
2025

FICHA CATALOGRÁFICA

G149a

Galdino, Matheus Farias

Adaptação técnica no sistema de freio do Gol 1993 / Matheus Farias Galdino, Gabriel Merlin de Figueiredo Grangeiro, Guilherme Rocha Matos. - Santo André, 2025. – 58f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Mecânica Automobilística, 2025.

Orientador: Prof. Nicolino Foschini

1. Mecânica. 2. Veículo. 3. Motor. 4. Componentes. 5. Tecnologia. 6. Freio. 7. Estudo. 8. Mudanças de performance. 9. Estrutura. 10. I. Grangeiro, Gabriel Merlin de Figueiredo. II. Matos, Guilherme Rocha. III. Adaptação técnica no sistema de freio do Gol 1993.

629.2

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 28 de junho de 2025.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA:
“ADAPTAÇÃO TÉCNICA NO SISTEMA DE FREIO DO GOL 1993” DOS
ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. NICOLINO FOSCHINI NETO _____

MEMBROS:

PROF. ORLANDO DE SALVO JUNIOR _____

PROF. MARCO AURÉLIO FRÓES _____

ALUNOS:

GABRIEL MERLIN DE FIGUEIREDO GRANGEIRO _____

GUILHERME ROCHA MATOS _____

MATHEUS FARIAS GALDINO _____

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar minha mais profunda gratidão ao meu orientador, Nicolino Foschini, cuja orientação foi imprescindível ao longo de toda esta jornada. Sua expertise, paciência e dedicação foram fundamentais para que pudéssemos desenvolver este trabalho com clareza e rigor. A cada orientação e sugestão, você nos desafiou a ir além, e por isso, somos eternamente gratos.

Agradecemos também aos professores Marco Aurelio Fróes e Fernando Garup, cujas aulas e ensinamentos contribuíram significativamente para a formação do meu pensamento crítico e acadêmico. As discussões enriquecedoras e os conselhos valiosos deixaram uma marca indelével em minha trajetória.

Aos colegas e amigos, somos profundamente gratos pelo apoio e pela camaradagem durante todos os momentos. Vocês foram essenciais não apenas nas horas de dificuldade, mas também nas celebrações das pequenas conquistas. Juntos, enfrentamos desafios, trocamos ideias e construímos memórias que levaremos para a vida toda.

Agradecemos ainda a todos os participantes e colaboradores que gentilmente disponibilizaram um tempo e conhecimento para contribuir com esta pesquisa. Sem a colaboração de vocês, este trabalho não teria alcançado a profundidade e a riqueza que possui.

Por fim, queremos agradecer a todos que, de alguma forma, apoiaram na nossa trajetória acadêmica. Cada gesto, palavra de incentivo ou conselho foi essencial para a realização deste TCC. Somos gratos por cada experiência que me trouxe até aqui e por todos que fizeram parte desse processo.

"A excelência não é um ato, mas um hábito."

(Aristóteles)

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar um estudo sobre as mudanças de performance e na dinâmica da condução de um Volkswagen Gol ano 1993, que originalmente possui um motor 1.8 carburado, ou seja, após atualizações em componentes do motor que serão descritos e citados durante o trabalho, o motor atualmente passou a ser 1.9 e ter um aumento na sua potência e torque em relação ao veículo original. Essas mudanças claramente modificaram a performance do veículo e sua dirigibilidade, a partir das informações obtidas, um estudo foi feito sobre a performance que o freio original apresentará após as atualizações no motor, sendo necessária uma atualização no seu desempenho através de modificação na sua estrutura e componentes.

Palavras-chave: Gol 1993. Motor. Freios.

ABSTRACT

The present work aims to present a study on the changes in performance and driving dynamics of a 1993 Volkswagen Gol, which originally has a 1.8 carbureted engine, that is, after updates to engine components that will be described and mentioned during the work, the engine is currently 1.9 and has an increase in power and torque compared to the original vehicle. These changes clearly modified the vehicle's performance and drivability. Based on the information obtained, a study was carried out on the performance that the original brake will present after engine updates, requiring an update to its performance through modifications to its structure and components.

Keywords: Goal 1993. Engine. Brakes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxos de massa e energia em um motor de combustão interna.....	18
Figura 2 - Conjunto móvel de um motor quatro cilindros em linha	19
Figura 3 - Pistão	20
Figura 4 - Comando de válvulas do motor AP	21
Figura 5 - Coletor escape motor Cummins.....	22
Figura 6 - Coletor de escape original com catalisador	23
Figura 7 - Coletor de escape 4x1.....	24
Figura 8 - Vista lateral de um carburador	26
Figura 9 - Carburador de corpo simples	28
Figura 10 - Carburador duplo com cápsula a vácuo, modelo 2E	28
Figura 11 - Carburador modelo Weber 40 milímetros	29
Figura 12 - Driveline padrão	31
Figura 13 - Driveline longitudinal dianteiro	32
Figura 14 - Tração nas quatro rodas.....	32
Figura 15 - Sistema de Freio	37
Figura 16 - Discos de freio sólidos	38
Figura 17 - Discos de freio ventilados.....	38
Figura 18 - Discos de freio ventilados e perfurados	39
Figura 19 - Discos de Freio Ranhurados.....	40
Figura 20 - Pastilhas de freio.....	40
Figura 21 - Pastilhas de freio de cerâmica.....	41
Figura 22 - Temperatura medida em três profundidades de um disco.....	43
Figura 23 - Comportamento da temperatura após inúmeras aplicações do freio	45
Figura 24 - Comportamento do coeficiente de atrito versus temperatura	45
Figura 25 - Comportamento do coeficiente de atrito seguindo as normas de ensaio para dinamômetro inercial.....	46
Figura 26 - Comportamento do coeficiente de atrito seguindo as normas de ensaio para dinamômetro inercial.....	47
Figura 27 - Esquema hidropneumático da bancada de ensaio Krauss	47
Figura 28 - Esquema do sistema de medição do momento de força de frenagem	48
Figura 29 - Principais variáveis para dinâmica longitudinal.....	49
Figura 30 - Forças atuantes no conjunto roda e pneu.....	51
Figura 31 - Deformação da borracha e origem do escorregamento	53
Figura 32 - Coeficiente de frenagem versus deslizamento de roda.....	54
Figura 33 - Motor AP original.....	57
Figura 34 - Motor AP modificado	57
Figura 35 - Gol 2008	59
Figura 36 - T-Cross 2018	60
Figura 37 - Dados Gol 2008.....	61
Figura 38 - Gráfico do sistema de frenagem Gol 2008	62
Figura 39 - Medição da força aplicada no pedal	62
Figura 40 - Pico de força do pedal.....	63

Figura 41 - Dados T-Cross.....	63
Figura 42 - Pico de força do pedal.....	64
Figura 43 - Gráfico do sistema de frenagem T-Cross	64
Figura 44 - Beissbarth Screen-Testline 7000.....	66
Figura 45 - Dados mostrados na tela do frenômetro	66
Figura 46 - Dados mostrados na tela do frenômetro	67
Figura 47 - Dados mostrados na tela do frenômetro	67
Figura 48 - Gráfico de barra mostrado na tela do frenômetro.....	68
Figura 49 - Gráfico mostrado na tela de frenômetro.....	68
Figura 50 - Dinamômetro digital tração e compressão.....	70
Figura 51 - Dinamômetro digital e compressão.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Componentes de um carburador	25
Tabela 2 - Materiais das pastilhas	41
Tabela 3 - Comparação entre veículos.....	56
Tabela 4 - Comparação motorização dos veículos.....	59
Tabela 5 - Comparação discos dos veículos	59
Tabela 6 - Características e itens Dynotech 450i.....	69
Tabela 7 - Medições.....	69
Tabela 8 - Medidas do Equipamento	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PMI	Ponto Morto Inferior
SOHC	Single Overhead Camshaft
DOHC	Double Overhead Camshaft
OHV	Overhead Valve
LATRIB	Laboratório de Tribologia da Univ. Federal do Rio Grande do Sul
ABS	Antilock Braking System
CTB	Código de Trânsito Brasileiro

LISTA DE SÍMBOLOS

μ	Coeficiente de atrito
v	Velocidade
Z	Carga vertical
A_p	Área da pastilha, em mm ²
A_e	Área do êmbolo, em mm ²
F_a	Força de atrito, em N
M_f	Momento de força de frenagem, em N.m
r_e	raio de atuação do freio a disco, em m
P_h	Pressão hidráulica, em MPa
F_n	Força normal do êmbolo sobre a pastilha, em N
C	Comprimento da alavanca, em m
Q	Força que atua sobre a tomada de medição, em N
F_{df} e F_{dr}	Forças motrizes [N]
F_{bf} e F_{br}	Forças de frenagem [N]
R_{rf} e R_{rr}	Resistência ao rolamento [N]
R_{air}	Arrasto aerodinâmico [N]
RC	Resistência à escalada [N]
m	Massa total do veículo [kg]
β_c	Ângulo de escalada [deg]
V	Velocidade do veículo [m/s]
R_w	Raio dinâmico da roda [m]
M_d F_{df} e F_{dr}	Torque de condução
M_d F_{bf} e F_{br}	Torque de frenagem [Nm]
R_{fr} e R_{rr}	Torque de resistência ao rolamento [Nm]
A	Aceleração do veículo [m/s ²]
m	Massa total do veículo [kg]
F_x	Força longitudinal
W	Força pesa sempre
F_{at}	Força longitudinal de atrito
$\mu\epsilon$	Coeficiente de atrito estático
N	Módulo da força normal de contato entre as superfícies
D	Deslizamento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 METODOLOGIA.....	16
2.1 Tipo de Pesquisa.....	16
2.2 Abordagem Metodológica.....	16
2.3 Procedimento Técnico.....	16
2.4 Técnicas de Coleta de Dados.....	17
2.5 Técnica de Análise.....	17
3 MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA.....	17
3.3 Comando De Válvulas.....	20
3.4 Coletor De Escape.....	21
3.5 Coletor De Escape 4x1.....	23
3.6 Sistema De Carburador.....	25
3.7 Tipos De Carburadores.....	27
3.8 Potência.....	29
3.9 Driveline.....	30
3.9.1 Configurações do Driveline.....	30
4 Sistema de Freios.....	33
4.1 Sistema de Freios Automotivo.....	33
4.1.1 Freio a Disco.....	34
4.1.2 Freio a Tambor.....	34
4.1.3 Freio Pneumático.....	34
4.1.4 Freio ABS.....	34
4.2 Discos De Freio.....	36
4.2.1 Tipos de Discos de Freio.....	37
4.3 Pastilhas De Freio.....	40
4.4 Lubrificantes/Fluídos.....	42
4.5 Temperatura.....	42
4.5.1 Temperaturas de Frenagem.....	43
4.6 Efeito <i>Fade</i> em Sistemas de Frenagem.....	44
4.7 Cálculos para ensaio de frenagem.....	47
4.8 Introdução a dinâmica longitudinal.....	49
4.8.1 Dinâmica longitudinal do conjunto pneu e roda.....	51
4.8.2 Dinâmica de frenagem.....	53

4.9 Análise Dos Testes	54
5 Estudo de Caso	55
5.1 Apresentação do Caso	55
5.2 Ensaaios Experimentais.....	58
5.2.1 Ensaio Gol 1.6	61
5.2.2 Ensaio T-Cross 1.0T	63
5.3 Materiais e Métodos.....	65
5.3.1 Frenômetro	65
5.3.2 Dinamômetro	68
5.3.3 Dinamômetro Digital de Tração e Compressão.....	70
5.4 Resultados Preliminares	71
6 CONCLUSÕES FINAIS	73
REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho inicialmente consta de adaptações no *driveline* do Volkswagen Gol 1993, mais concretamente realizando modificações na linha de freio com base nas modificações já feitas no veículo, com objetivo de se obter um maior desempenho do veículo a partir dessas alterações, viu-se uma necessidade de um estudo em cima do sistema de freio para que alterações fossem feitas e a eficiência de frenagem no veículo acompanhasse o aumento e ganho de potência.

Dentre algumas das modificações mecânicas temos pistões maiores, coletor 4x1, um novo comando de válvula para um maior fluxo no cabeçote, foram algumas das atualizações que desempenham o papel de aumentar significativamente a potência desse motor em comparação com o original, por isso, esse trabalho trata de propor mudanças como discos de freio ventilados, pastilhas com melhor material de atrito afim de obter uma melhora de performance e força de frenagem, juntamente a uma melhor pressão no conjunto de freio. Em relação ao motor, aumento de cilindrada e desempenho em baixas e altas rotações, melhor resposta do acelerador e eficiência geral do motor.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: no Capítulo 1, será apresentada um levantamento bibliográfico sobre o tema, abordando suas causas e consequências. No Capítulo 2, serão discutidas as principais dinâmicas para aplicação do projeto, incluindo análises de dados e estudos de caso. Por fim, no Capítulo 3, serão apresentadas conclusões e recomendações para o funcionamento do projeto, mostrando o resultado trazido a partir dele na referida adaptação no drive line do Volkswagen Gol 1993.

2 METODOLOGIA

Este capítulo descreve os caminhos metodológicos adotados para o desenvolvimento da presente pesquisa, considerando os objetivos, natureza do problema investigado e as abordagens teóricas e práticas adotadas, conforme os fundamentos da escrita científica descritos por Souza (2025).

2.1 Tipo de Pesquisa

A pesquisa caracteriza-se como exploratória, conforme definido por Gil (apud Souza, 2025), com o objetivo de proporcionar maior familiaridade com o problema investigado, a integração de sistemas de freio e acelerador ao volante para motoristas com deficiência física nos membros inferiores. A pesquisa exploratória busca compreender aspectos ainda pouco estudados, servindo como base para investigações mais aprofundadas e para o desenvolvimento de soluções inovadoras.

2.2 Abordagem Metodológica

A abordagem adotada é qualitativa, pois se buscou compreender as percepções, funcionalidades e aplicações práticas de tecnologias de motores a combustão interna e sistemas de freios veiculares. Segundo o Quadro 2 do livro *Escrita Científica*, a pesquisa qualitativa valoriza a subjetividade, a flexibilidade metodológica e a descrição detalhada dos contextos investigados (Souza, 2025).

2.3 Procedimento Técnico

A estratégia metodológica adotada foi o estudo de caso, que, segundo Souza (2025), permite investigar um fenômeno contemporâneo em seu contexto real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos. O estudo de caso foi com foco na análise do desenvolvimento de um modelo de solução experimental para adaptação de freio em veículos.

Esse estudo envolveu a pesquisa de soluções tecnológicas existentes, a experimentação de veículos comerciais leves, à luz da análise de normas técnicas vigentes e a execução de ensaio em frenômetro. A seleção do caso baseou-se em sua relevância de mercado, viabilidade de aplicação e contribuição ao campo da mobilidade.

2.4 Técnicas de Coleta de Dados

Foram utilizadas análise documental e observação técnica como instrumentos de coleta de dados. A análise documental compreendeu a revisão de normas da ABNT, legislações do CONTRAN, manuais técnicos de fabricantes e literatura científica sobre adaptação veicular, conforme sugerido por Souza (2025) para estudos exploratórios.

2.5 Técnica de Análise

A técnica adotada para o tratamento dos dados foi a análise de conteúdo, conforme sistematizada por Bardin (apud Souza, 2025). A análise de conteúdo permitiu interpretar qualitativamente as informações coletadas nos documentos, nas observações e nos registros técnicos, buscando identificar categorias temáticas relacionadas à segurança, ergonomia, viabilidade técnica e conformidade normativa das soluções estudadas. A análise foi realizada em três etapas principais: pré-análise, onde os materiais foram organizados; exploração do material, com categorização dos dados; e tratamento e interpretação, para extrair significados e inferências a partir do conteúdo coletado.

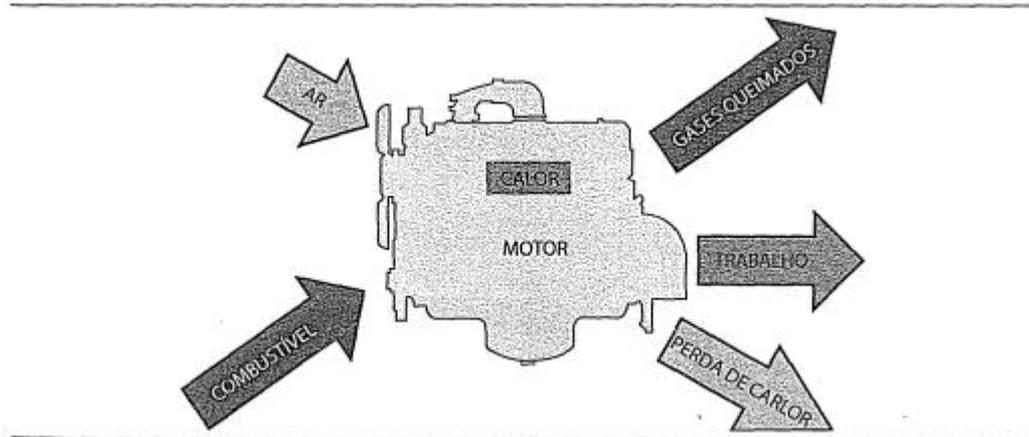
3 MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

3.1 Descrição do motor

O motor de combustão interna é utilizado por veículos comerciais, e de acordo com Heywood (1988, p. 1), estes motores têm como propósito transformar a energia contida no combustível em energia mecânica, sendo essa energia gerada pela queima ou oxidação da mistura ar/combustível que foi injetada dentro do cilindro.

De acordo com Brunetti (2012, p. 27), as máquinas térmicas são dispositivos que permitem transformar calor em trabalho. O calor pode ser obtido de diferentes fontes: combustão, energia elétrica, energia atômica etc. Este trabalho trata apenas com o caso em que o calor é obtido pela queima do combustível, isto é, energia química em trabalho mecânico, conforme apresentado na figura 1.

Figura 1 - Fluxos de massa e energia em um motor de combustão interna



Fonte: Brunetti, 2012.

São dois tipos de motores de combustão interna que são utilizados nos automóveis, motores a gasolina e motores a diesel, eles operam respectivamente segundo o ciclo Otto e Diesel.

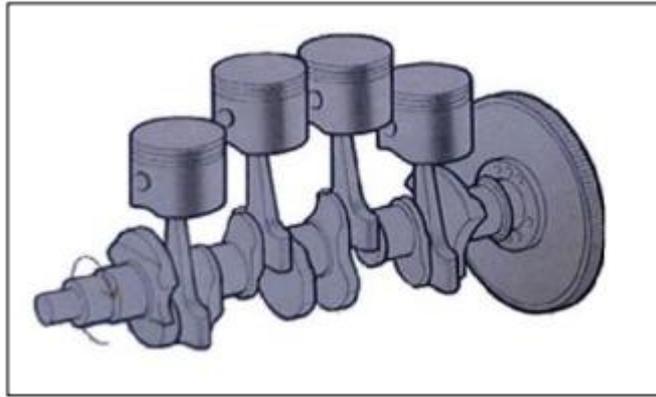
Segundo (SENAI CIMATEC, MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA, 2003, p. 11), motores são constituídos por:

- Tampa de válvulas;
- Cabeçote;
- Bloco do motor;
- Conjunto móvel;
- Cárter.

De acordo com o Martins (2006), o bloco do motor é um componente estrutural que contém os cilindros e suas respectivas camisas, onde se movimentam parte dos componentes móveis, e os dutos de arrefecimento e óleo do motor. A parte de cima do bloco é selado pelo cabeçote a parte de baixo pelo cárter. As camisas dos cilindros podem ser usinadas no próprio bloco do motor ou serem removíveis, sendo que o motor estudado possui camisas usinadas, onde foram aumentadas em 1mm cada, aumentando a cilindrada do veículo.

O conjunto móvel é constituído pelos pistões, bielas e o virabrequim, e segundo o Manual de tecnologia automotiva/Robert Bosch (2005, p. 456), estes componentes reagem a força originada pela combustão e geram forças inertes de massa. A Figura 2 apresentada a seguir exhibe o conjunto móvel de um motor quatro cilindros em linha, contendo pistões, bielas, virabrequim e o volante do motor.

Figura 2 - Conjunto móvel de um motor quatro cilindros em linha



Fonte. MBB, 2006.

3.2 Pistões Do Motor

Os pistões são um dos componentes fundamentais que compõem o motor de um veículo, tendo como função converter a queima de combustível em trabalho mecânico para movimentar a árvore de manivela, fazendo assim a geração de torque necessária para fazer o veículo se locomover.

Os pistões se movimentam em movimentos lineares dentro do bloco do motor. Os anéis dos pistões têm função crucial de vedar a passagem de gases e líquidos para garantia de um bom funcionamento do motor. Os pistões são impulsionados pela expansão dos gases resultantes da combustão, que são levados ao virabrequim pela biela, que é conectada diretamente aos pistões. Essa combinação mecânica aciona as rodas do veículo, permitindo seu movimento.

É crucial que os pistões estejam em ótimas condições para garantir o funcionamento ideal do motor, por conta disso é muito importante se atentar a sinais que indicam possíveis problemas nessas peças, como: machas pretas na cabeça do pistão; cabeça do pistão amassada; bielas trincadas ou quebradas, resíduos cinzas. Apresenta-se na figura 3 pistões semelhantes aos que são utilizados no veículo Gol 1993, que trata esse trabalho, com diâmetro de 82 milímetros.

Figura 3 - Pistão



Fonte. Kalled Pistões.

3.3 Comando De Válvulas

O comando de válvula é essencial para o funcionamento do motor, tendo como função o controle e fluxo dos gases no cilindro durante o processo de combustão. Ele é composto de cames (ressaltos) ao longo do seu corpo e quando essa árvore do comando de válvula gira, aciona as hastes das válvulas, controlando sua abertura e fechamento em sincronia com o movimento dos pistões.

Em baixa velocidade o comando de válvula atua da seguinte forma: durante o curso de admissão, a válvula de admissão se abre enquanto o pistão se movimenta para PMI (ponto morto inferior), permitindo a entrada da mistura ar-combustível dentro do cilindro. A válvula se fecha antes do pistão atingir PMI, reiniciando o ciclo.

Em altas velocidades a atuação do comando é diferente. Exige-se uma maior aceleração da mistura ar-combustível, exigindo que a válvula de admissão permaneça aberta por mais tempo, para acomodar uma maior massa da mistura dentro do cilindro. Nesse caso, o perfil do came do comando de válvula que determina a duração da abertura da válvula.

Existem três tipos de comando de válvulas:

- SOHC (Single Overhead Camshaft): Comando de válvulas simples no cabeçote, usado geralmente em veículos com duas válvulas por cilindro.

- DOHC (Double Overhead Camshaft): Comando de válvulas duplo no cabeçote, usado geralmente em veículos com quatro válvulas por cilindro, sendo um comando para as válvulas de admissão e o outro para as válvulas de escape.
- OHV (Overhead Valve): Sistema utilizado em veículos mais antigos, onde o comando de válvula era localizado no bloco do motor, sendo acionado por varetas e balancins.

Cuidar do comando de válvulas é essencial e muito importante para a saúde do seu motor. A manutenção preventiva é uma prática fundamental para evitar problemas no sistema. Além disso, trocar o óleo regularmente e utilizar peças originais são medidas importantes para garantir o bom funcionamento do comando de válvulas e, conseqüentemente, um desempenho mais eficiente e duradouro do seu veículo. Na figura 4 apresentada a seguir conseguimos ter ideia de como é o corpo de um comando de válvulas acoplado ao cabeçote.

Figura 4 - Comando de válvulas do motor AP



Fonte. Autoria própria.

3.4 Coletor De Escape

O coletor de escape é um componente fundamental para o sistema de exaustão do veículo. Ele coleta os gases resultantes da combustão e direciona-os para o sistema de escape, onde esses gases são tratados antes de serem liberados. Sendo esse um processo fundamental para um funcionamento eficiente e ecológico do veículo.

As principais funções do coletor de escape são:

- Redução de ruído: Sem um coletor de escape eficiente, os ruídos causados pelo processo de combustão seriam significativamente desconfortáveis para o motorista e ocupantes do veículo.
- Melhoria de performance: Garantindo que os gases de escape sejam liberados de forma eficiente, o motor poderá atuar de forma mais suave e com maior performance. Esse processo ajuda muito em carros esportivos, onde cada ganho de eficiência pode resultar em melhorias muito significativas na velocidade e aceleração.
- Controle de emissões: O coletor coleta os gases resultantes da combustão e direciona-os para o sistema de exaustão, onde esses gases são tratados, diminuindo assim a liberação de substâncias nocivas na atmosfera.

Apresenta-se nas figuras 5 e 6 alguns modelos de coletores de escape.

Figura 5 - Coletor escape motor Cummins



Fonte: Morelate.

Figura 6 - Coletor de escape original com catalisador



Fonte: Accioly GM.

3.5 Coletor De Escape 4x1

O coletor do tipo 4x1 é um modelo específico de coletor, onde os quatro tubos dos cilindros do motor se convertem em um único tubo antes de se conectar ao resto do sistema de exaustão. Esse design de 4x1 é famoso no mundo automotivo, onde é conhecido por proporcionar um melhor fluxo de gases, garantindo um significativo desempenho do motor em relação ao coletor original.

As principais vantagens do coletor de escape do tipo 4x1 são:

- **Melhoria do fluxo de gases:** Ao convergir os gases dos quatro cilindros em um único tubo, o design diferenciado do coletor diminui a resistência ao fluxo, permitindo uma liberação dos gases de forma mais rápida.
- **Aumento de potência:** Ao facilitar o fluxo dos gases, o motor opera com mais potência, principalmente em condições de altas velocidades. Esse aumento em eficiência é o principal motivo pelo qual esses tipos de coletores são populares em veículos esportivos, onde o desempenho é crucial.
- **Redução de peso:** Geralmente esses coletores são mais leves do que os coletores originais por exemplo, o que gera uma melhoria na relação peso-

potência do veículo, o que também é uma vantagem para a melhoria de desempenho.

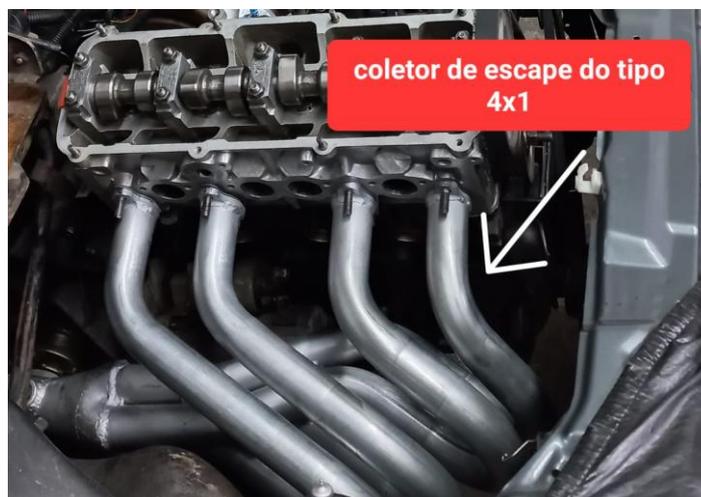
Um coletor de escape dimensionado é uma peça projetada sob medida, diferentes de outros coletores padrões, que são fabricados para atender uma variedade de veículos e motores. Os coletores dimensionados são fabricados na intenção de atender as necessidades e características de um único motor específico.

Dentre as principais características do coletor de escape dimensionado, estão:

- **Personalização: Ajuste personalizado.** Esses tipos de coletores são fabricados com base em alguns parâmetros específicos do motor do veículo, tais como a cilindrada, tipo de combustão, configuração dos cilindros e espaço disponível no cofre do motor.
- **Otimização de performance:** Ao se adaptar um coletor dimensionado às características do veículo, torna-se possível ter uma melhora de desempenho significativa no motor em relação à aumento de potência, melhoria da eficiência do combustível e até redução da emissão de poluentes.
- **Melhor fluxo de gases:** Ao reduzir a resistência ao fluxo de gases, eliminando pontos de restrição da passagem dos mesmos, o coletor dimensionado permite que esses gases saiam do motor de maneira mais rápida e eficiente.

A seguir, na figura 7 podemos ver como é visualmente um coletor de escape 4x1 que, no caso é utilizado no veículo Gol 1993 citado no trabalho:

Figura 7 - Coletor de escape 4x1



Fonte: Autoria própria.

3.6 Sistema De Carburador

Antes da chegada e popularização das injeções eletrônicas, os carburadores equiparam diversos veículos por décadas. Com o passar dos anos a sua mecânica robusta, manutenção simples e entrega de desempenho foram perdendo espaço para a injeção eletrônica.

O carburador é um componente do sistema de alimentação responsável por fornecer uma mistura homogênea de ar-combustível em quantidade ideal para ser admitida nos cilindros para a combustão em todos os regimes de funcionamento.

Dentre alguns componentes básicos para a construção do carburador, citaremos alguns abaixo na tabela 1.

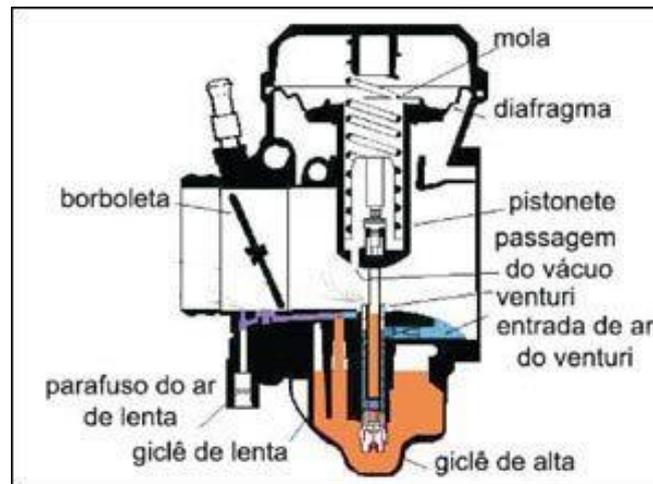
Tabela 1 - Componentes de um carburador

Componentes
Cuba de nível constante
Boia controladora de nível
Válvula de boia
Agulha do pistão
Pistão de aceleração ou êmbolo
Diafragma
Mola do pistão de aceleração
Válvula borboleta
Giclê de marcha lenta
Giclê principal
Parafuso de ajuste da mistura

Fonte: Autoria própria.

Segue na figura 8 a vista lateral de um carburador e alguns de seus componentes:

Figura 8 - Vista lateral de um carburador



Fonte. Motonline.

Quando o motor está em marcha lenta, o combustível é transportado da cuba até a região de mistura a partir do vácuo de baixa pressão que o pistão de aceleração cria no cilindro e faz com que o combustível passe pelo giclê de marcha lenta e depois pelo parafuso de ajuste da mistura.

Já com o acelerador acionado o funcionamento é diferente para entrega de potência, o vácuo passa a influenciar, a câmara superior de vácuo move o diafragma para cima fazendo com que a agulha do pistão de aceleração se desloque, permitindo assim a passagem do combustível pelo giclê principal. Assim aumenta-se a vazão mássica de combustível, adicionando maior quantidade de energia para ser aproveitada no motor.

Falando sobre a partida do motor com carburador, o veículo conta com um afogador, que nada mais é do que um sistema *by pass* para facilitar a partida do veículo. Basicamente esse sistema permite que haja uma maior entrada de combustível dentro do cilindro, aumentando a quantidade de combustível e deixando a mistura mais rica, o que então facilita a partida do veículo principalmente em dias mais frios.

Em específico nos motores AP da Volkswagen, que equipa o nosso Gol 1993, esse sistema de afogador era presente apenas nos veículos que utilizavam de combustível o etanol, porém contavam também com um reservatório de gasolina no compartimento do motor, para que na hora da partida o motorista injetasse uma pequena quantidade de gasolina no motor para facilitar ainda mais a sua partida. Já

os veículos que utilizavam a gasolina como combustível não necessitavam tanto desse sistema de afogador. A simples explicação para isso é porque o etanol tem dificuldade de atingir o seu estado de vaporização em temperaturas mais baixas, e para que o motor entre em funcionamento o combustível não pode estar em estado líquido.

3.7 Tipos De Carburadores

Podemos classificar os carburadores como: corpo simples e corpo duplo.

- Carburadores simples: Como o próprio nome já diz, é um tipo de carburador que possui apenas um estágio, um único venturi e uma borboleta de aceleração.
- Carburadores duplos: É o tipo de carburador que possui dois estágios de acionamento, dois venturis e duas borboletas de aceleração, sendo o 1º estágio para trabalhar em rotações mais baixas e em rotações mais altas é acionado também a abertura do 2º estágio.

Tipos de carburadores duplos:

- Carburador duplo simultâneo: Possui dois estágios, porém a sua abertura é feita simultaneamente. Alguns modelos têm abertura dos dois estágios feitos por um mesmo eixo ou são interligados por engrenagens.
- Carburador duplo progressivo mecânico: Possui dois estágios, e a abertura dos dois estágios são feitas de modo mecânico, por um sistema de alavanca. O tempo de abertura do 2º estágio depende das especificações do fabricante, de acordo com a necessidade daquele determinado motor de um veículo.
- Carburador duplo progressivo com cápsula de vácuo: Possui dois estágios e sua abertura se dá por um sistema de cápsula a vácuo, que determina o tempo de abertura do 2º estágio de acordo com o regime de funcionamento do motor.

A seguir veremos alguns tipos de carburadores mostrados nas figuras 9, 10 e 11.

Figura 9 - Carburador de corpo simples



Fonte: Andara Carburadores.

Na figura 10 mostra-se o modelo de carburador que equipa o veículo citado no trabalho, Gol 1993.

Figura 10 - Carburador duplo com cápsula a vácuo, modelo 2E



Fonte: Andara Carburadores.

Figura 11 - Carburador modelo Weber 40 milímetros



Fonte: Andara Carburadores.

3.8 Potência

A potência de um veículo, basicamente, é a capacidade do motor de realizar trabalho, ou seja, a capacidade que esse motor tem de gerar movimento em um determinado período. É a força que permite que o carro acelere e atinja altas velocidades. A potência é a taxa na qual o trabalho é realizado, ou seja, a quantidade de trabalho realizado por unidade de tempo. No contexto automotivo, refere-se à capacidade do motor em gerar movimento e, conseqüentemente, velocidade. Uma das grandes dúvidas quando falam sobre a potência de um veículo, é qual seria a diferença entre a potência e o torque de um automóvel, que são dados que estão sempre sendo apresentados primordialmente quando se citam as especificações técnicas de um veículo, tanto em uma roda de amigos quanto em uma propaganda ou em uma venda em uma concessionária. Em termos simples, A potência é a taxa na qual o trabalho é realizado, enquanto o torque é a força rotacional do motor. A potência é o resultado do torque multiplicado pela rotação do motor. Em outras palavras, a potência indica quão rápido o carro consegue chegar a um determinado ponto, enquanto o torque indica quão rapidamente ele consegue arrancar.

De acordo com o professor Carlos Alberto Alves Varella (UFRRJ, 2010), existem três tipos de potência de motores a combustão que são obtidas a partir de ensaios ou cálculos: potência teórica, potência indicada e potência efetiva.

A potência teórica através da quantidade de combustível que teoricamente entra na câmara de combustão e utilizando-se propriedades físicas ela é calculada, resultando em um valor livre de perdas, sendo assim, toda a energia química é convertida em energia mecânica. A potência indicada depende das características dimensionais do conjunto pistão, biela e árvore de manivelas, da rotação do virabrequim, e da pressão de expansão, sendo assim uma estimativa da potência, pois não considera perdas mecânicas. A potência efetiva não é obtida de forma trivial, pois é necessária a utilização de um equipamento chamado dinamômetro que será descrito detalhadamente no tópico de materiais e métodos. Os parâmetros de torque e rotação do motor são obtidos seguindo normas da ABNT, e a potência é estimada pelo princípio da energia mecânica resultante de uma força tangencial a circunferência de raio R (ponto onde é localizada a ponta da biela). Cada tipo de potência possui a sua fórmula e seu método de cálculo, a partir dos três métodos, é possível se obter os rendimentos, térmico, mecânico e volumétrico de um motor. Através desses rendimentos podemos comparar motores, nos trazendo informações como quais possuem a maior eficiência em transformar energia química em energia mecânica, sendo que quanto maior o rendimento, uma determinada quantidade de combustível gera mais potência.

3.9 Driveline

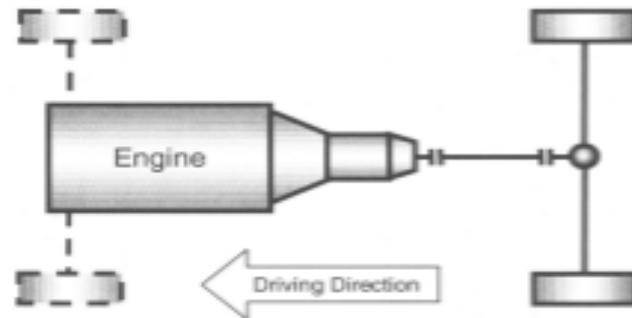
O *driveline* de um veículo é composto por eixos, juntas, diferenciais e rodas que são responsáveis por transferir força do motor para as rodas. Porém, a força que será transmitida através do *driveline* do motor para as rodas será maior devido as mudanças mecânicas que foram realizadas no motor.

3.9.1 Configurações do Driveline

A linha de transmissão padrão (*Driveline* padrão) possui o motor instalado longitudinalmente, juntamente com a transmissão e o eixo motriz com diferencial em veículos de tração traseira como apresentado na figura 12. O motor e a transmissão são montados em linha. Um eixo de transmissão transfere a potência da saída da transmissão para o eixo motriz, que contém um diferencial integrado e distribui a

potência para as rodas através dos semi-eixos. Esse tipo de tração é utilizado atualmente nos segmentos de veículos médios superiores e de luxo (por exemplo, Jaguar, BMW e Mercedes-Benz).

Figura 12 - Driveline padrão

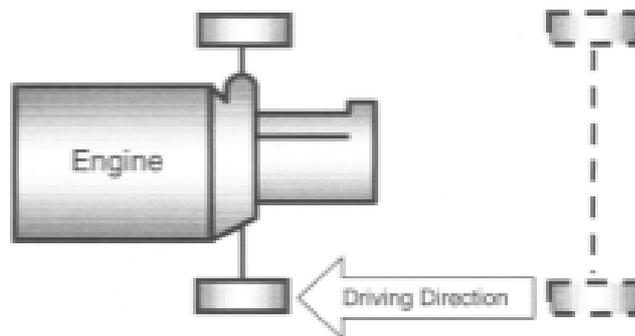


Fonte: Gerhard Wagner, 2001.

Com o motor e a transmissão instalados longitudinalmente em veículos de tração dianteira (*Driveline* longitudinal dianteiro) como mostrado na figura 13. A instalação do motor e da transmissão também ocorre em linha, assim como na transmissão padrão. A saída da transmissão é transmitida por meio de engrenagens ou corrente e um eixo para um conjunto de eixo motriz integrado com diferencial embutido na transmissão. O *Driveline* longitudinal dianteiro oferece uma solução específica que pode ser encontrada, por exemplo, em veículos da Chrysler, Audi e Volkswagen.

Com o motor e a transmissão instalados na parte traseira (*Driveline* longitudinal traseiro) do veículo e tração nas rodas traseiras. O layout usual dessa configuração corresponde ao *driveline* longitudinal traseiro mostrada na figura 13, porém com a direção invertida. O uso mais famoso dessa configuração foi no Volkswagen Fusca original. Uma versão com motor central é encontrada no Porsche Boxster, que, em princípio, corresponde ao *driveline* longitudinal traseiro da figura 13, porém com os eixos invertidos.

Figura 13 - Driveline longitudinal dianteiro

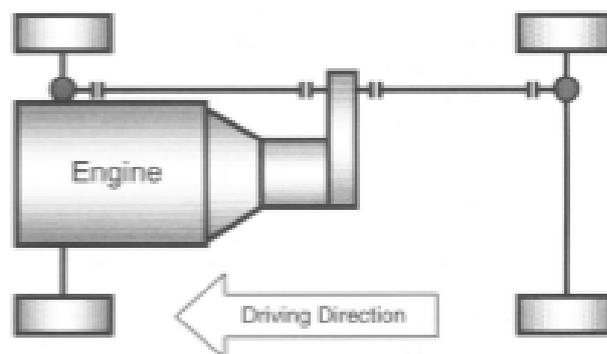


Fonte: Gerhard Wagner, 2001.

As variantes de tração nas quatro rodas (All Wheel Drive – AWD) podem ser derivadas de todas as *drivelines* longitudinais. A versão mais comum atualmente é o *driveline* padrão com uma caixa de transferência montada na saída da transmissão como será apresentado na figura 14.

A caixa de transferência transmite a potência de entrada para os eixos dianteiro e traseiro por meio de eixos de transmissão, que transferem a força para os diferenciais e, finalmente, para as rodas através dos semi-eixos. Exemplos típicos no mercado norte-americano incluem caminhonetes leves e veículos utilitários esportivos (SUVs).

Figura 14 - Tração nas quatro rodas



Fonte. Gerhard Wagner, 2001.

4 Sistema de Freios

Este capítulo trata do Sistema de Freios do veículo, que por sua vez é um conjunto de componentes que, ao serem acionados, transformam a energia cinética em calor, através do atrito, e com isso desacelerando ou parando totalmente o veículo.

4.1 Sistema de Freios Automotivo

O funcionamento do Sistema de Freios Automotivo, abarca o sistema de frenagem de um veículo, e é composto por vários componentes fundamentais que garantem a desaceleração e a parada segura do automóvel. Quando o motorista aciona o pedal de freio, cria-se uma pressão que, ao ser transmitida para o servo freio e, subsequentemente, para o cilindro mestre, ativa o fluido de freio. Esse fluido gera uma pressão hidráulica, que atua sobre as pastilhas, promovendo atrito com o disco e permitindo a desaceleração ou parada do veículo.

Principais Componentes do Sistema de Freio para a manutenção eficiente, é essencial compreender seus principais componentes:

- Discos de Freio: localizado nas rodas, principalmente na parte dianteira dos veículos.
- Tambor de Freio: presente em alguns veículos na parte traseira, sendo utilizado em sistemas de freio a tambor.
- Pastilhas de Freio: atuam em conjunto com os discos para gerar atrito e reduzir a velocidade.
- Lonas de Freio: aplicadas aos tambores nos sistemas de freio a tambor.
- Cilindro Mestre: responsável por distribuir o fluido de freio para o sistema.
- Servo Freio: amplifica a força aplicada ao pedal de freio.
- Cilindro de Roda: atua nos sistemas de tambor para acionar a frenagem traseira.
- Pinça de Freio: contém as pastilhas e exerce pressão contra o disco.

Tipos de Sistemas de Freio: Diferentes sistemas de frenagem foram desenvolvidos visando eficiência e segurança, sendo os principais descritos nos capítulos a seguir.

4.1.1 Freio a Disco

Utiliza um disco de cerâmica ou ferro fundido em atrito com as pastilhas para gerar a frenagem. Esse sistema, comum nas rodas dianteiras dos veículos de passeio, oferece manutenção simplificada e maior resistência ao calor.

4.1.2 Freio a Tambor

Apresenta um tambor acoplado à roda e é acionado através de sapatas que pressionam sua parede interna. Este sistema é mais econômico, porém sua manutenção é complexa e oferece menor estabilidade comparado ao freio a disco.

4.1.3 Freio Pneumático

Empregado em veículos pesados, esse sistema usa ar comprimido ao invés de fluido hidráulico. Embora mais caro, oferece maior equilíbrio em altas pressões.

4.1.4 Freio ABS

O sistema Antilock Braking System (ABS) previne o bloqueio das rodas através de válvulas eletrônicas, reduzindo a distância de parada e proporcionando maior controle ao motorista em emergências.

Cuidados na Utilização dos Freios: Para prolongar a vida útil do sistema de frenagem e garantir sua eficácia, recomenda-se que o motorista adote algumas práticas, como: Evitar Frenagens em Curvas: Diminuir a velocidade antes da curva previne acidentes e o desgaste excessivo dos componentes de frenagem.

- Reduzir Freadas Bruscas: Quando possível, realizar frenagens graduais preserva o disco, as pastilhas e diminui o consumo de combustível.
- Evitar o Uso do Freio em Ponto Morto em Declives: Esta prática aumenta o desgaste dos freios e é proibida pelo Código de Trânsito Brasileiro (CTB).
- Uso Adequado do Freio ABS: Apesar de permitir frenagens mais seguras, o ABS não elimina a necessidade de uma direção preventiva.

- Manutenção Preventiva e Diagnóstico do Sistema de Freios: A manutenção preventiva do sistema de freio é essencial para a segurança veicular. Sinais como vibração do pedal, ruídos durante a frenagem, pedal muito duro ou macio, e a presença de umidade no fluido de freio indicam a necessidade de revisão e troca de componentes desgastados.

Em conclusão, o sistema de freios automotivo é essencial para a segurança e deve ser mantido em boas condições. A manutenção periódica, o uso de peças de qualidade e a observação de boas práticas de direção são fundamentais para garantir a segurança e o desempenho ideal do veículo.

O sistema de freio de um veículo é considerado um dos seus sistemas de segurança. Assim como os outros itens, houve evolução nesses sistemas com o passar dos anos com novas tecnologias que foram aprimorando-o em si. De acordo com Infantini (2008), o sistema de frenagem pode ser definido como um dispositivo que transforma energia cinética de uma massa em movimento rotacional ou translacional em calor. O freio é um sistema que reduz a velocidade e para um corpo em movimento dissipando calor.

Genta (2000) afirma que a potência dissipada na frenagem pode ser calculada por:

$$P = \mu \cdot Z \cdot v$$

Onde μ (mi) é o coeficiente de atrito com o solo, Z é a carga vertical e v (ni) é a velocidade do veículo.

Eriksson (2000) cita que os principais componentes de um sistema de freio automotivo são:

- Rotor: é o componente fixado à roda que gira, ou seja, o componente do par de fricção que recebe a maior parte da energia térmica do processo de frenagem, sendo assim deve ser projetado com a capacidade de dissipar grande parte dessa energia.
- Material de fricção: pode ser compreendido como o componente estacionário do par de fricção que, durante o processo de frenagem, é pressionado contra o rotor. Portanto, é a força de atrito gerada durante a frenagem que transforma a energia cinética em energia térmica.

- Sistema hidráulico: é o componente que transmite a força aplicada no pedal de freio para o sistema que atua na ação de pressionar o material de fricção contra o rotor.

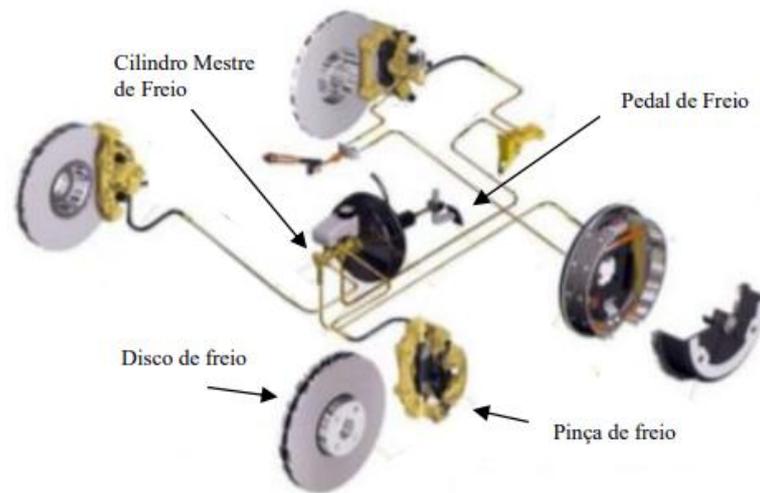
4.2 Discos De Freio

Os componentes de discos de freios acoplados as rodas dos automóveis, tem como função, juntamente as pastilhas de freios, desacelerar o veículo, em função do atrito existente entre as peças citadas. Os disco são fabricados em geometria circular, podendo apresentar variedades nos contornos que de acordo com Brake Colloquium (2003), trazem uma boa condutividade térmica, resistência mecânica a fadiga, amortecimento de vibrações e ruído, trazendo melhores resultados em relação ao desgaste, módulo de elasticidade e resistência à fadiga térmica que se tornam indispensáveis aos discos de freios.

Todos esses parâmetros, indicam a preferência e ampla utilização do ferro fundido pelas indústrias. A geometria dos discos pode ser diferente, podendo ser ventilados por exemplo, formados por dois discos maciços. Em outro aspecto, podem ser utilizados outros tipos de aços como por exemplo SAE 1045 tratado termicamente, ferro fundido cinzento com ligas de nióbio, titânio e molibdênio. A potência da frenagem pode ser melhorada muitas vezes por ranhuras e furos feitos nas superfícies para melhorar todos esses aspectos, reduzindo massa.

As pastilhas de freios podem ter a adição de somente três materiais, restringindo-se a metálicas, orgânicas e cerâmicas. As metálicas têm um alto coeficiente atrito e uma performance alta, as pastilhas de freios orgânicas, que de acordo com Santos (2014), como apresentado na figura 15 abaixo, são recomendadas para o uso moderado dos freios e apresentam um valor de coeficiente de atrito médio, já as de cerâmicas são utilizadas essencialmente em veículos de competição, ou nos que buscam maiores performances, porém, baixo índice de conforto neste material.

Figura 15 - Sistema de Freio



Fonte: Santos, 2014.

Segundo Limpert (2011) as pastilhas de freio podem ser classificadas quanto ao seu coeficiente de atrito (μ) a frio – temperaturas menores que 93°C – e a quente – temperatura média de 315°C .

4.2.1 Tipos de Discos de Freio

- Disco de Freio Sólido: Este tipo de discos de freio costuma equipar veículos convencionais de passeio em seus eixos dianteiros, que possuem a vantagem do baixo peso e de sua potência. Como desvantagem eles possuem baixa resistência e se tornam mais propensos a fadiga e trincas, sendo menor e podendo ter altas temperaturas no atrito entre as pastilhas. Este é o tipo de freio utilizado atualmente no sistema de freios do Volkswagen Gol 1993 em que estamos trabalhando, apresentado na figura 16 a seguir.

Figura 16 - Discos de freio sólidos



Fonte: Combrek.

- **Disco de Freio Ventilado:** Freios dedicado a função de resfriamento, devido seu maior tempo de frenagem e prevenindo o superaquecimento. Consistem em freios com dois discos sólidos, como mostra a figura 17, que formam uma “hélice”, não possuindo contato entre eles, e auxiliando no seu funcionamento. Este é o modelo que optamos para darmos sequência na adaptação do sistema de freios do Volkswagen Gol 1993, com intenção de trazer uma maior eficiência nas frenagens.

Figura 17 - Discos de freio ventilados



Fonte: Combrek.

- Disco de Freio Ventilado e Perfurado: Constituídos por dois corpos e juntamente a uma hélice ao centro, que auxiliam em todo o processo de refrigeração, juntamente a isso, os furos auxiliam a expulsar todos os gases que são gerados a partir do desgaste das pastilhas na frenagem. Podem possuir ainda, questões de trincas. Segue a figura 18.

Figura 18 - Discos de freio ventilados e perfurados



Fonte: Combek.

- Disco de Freio Ranhurado: Funciona com sulcos nas superfícies, como podemos analisar na figura 19, e que auxiliam na limpeza da pastilha do freio, evitando fenômenos como a “Vitrificação”, onde o material é modificado pelo aquecimento, perdendo sua eficiência. É um tipo de disco mais utilizado em carros voltados a esportividade e de competições, voltados a potência, pois auxiliam numa alta potência de frenagem.

Figura 19 - Discos de Freio Ranhurados



Fonte: Mach Freios.

4.3 Pastilhas De Freio

As pastilhas de freio, são essencialmente elementos designados a provocar atrito contra a superfície do disco de freio para converter energia cinética em energia térmica, segundo Brezolin (2007). Composta por um material de atrito, que exerce a função de contato com o freio a disco, juntamente a um material de fundo, que vai trazer a conexão entre os dois materiais perfeitamente para que ocorra a melhor ancoragem mecânica entre adesivo e material de atrito, junto ao seu suporte metálico. Assim, a força gerada é distribuída entre todo o material atritante, e para os discos de freio. Na figura 20 apresentada a seguir podemos ver como são as pastilhas de freio utilizadas em veículos leves.

Figura 20 - Pastilhas de freio



Fonte: Cobreq.

Na figura 21 mostra-se pastilhas de freio de cerâmica indicada geralmente para veículos de alta performance.

Figura 21 - Pastilhas de freio de cerâmica



Fonte: Fras-le.

Materiais das Pastilhas - Atualmente os materiais podem variar entre diversos tipos de compósitos, sendo alguns deles apresentados a seguir na tabela 2:

Tabela 2 - Materiais das pastilhas

Materiais	Detalhamento
Fibra	Pela sua resistência mecânica e térmica, se torna o maior responsável pelo atrito causado.
Modificador de Fricção	Função principal é limpar a superfície do disco das impurezas gerados, alterar ou ajustar o coeficiente de atrito, junto ao melhor controle de abrasivos.
Carga	Tem como função gerar melhor funcionalidade deste sistema, para sua condição de operação, melhorando sua resistência térmica e mecânica.
Ligante	Aglutinante que une os ingredientes do material de fricção, geralmente por meio de resina.
Agente de Cura	Responsável por atuar nas reações químicas que ocorrem durante a fabricação do material.

Fonte: autoria própria.

4.4 Lubrificantes/Fluídos

Um dos itens mais importantes e fundamentais para os freios hidráulicos, que, ainda segundo Santos (2012), sua função é transmitir a força, através da pressão hidráulica, e o movimento dos pistões do cilindro mestre até as pinças ou cilindro de roda, para assim efetuar a frenagem do veículo.

Para seu funcionamento perfeito, exige algumas características, segundo Costa (2012), o fluido deve apresentar algumas características, tais como ser quimicamente estável sob altas temperaturas, apresentar alto ponto de ebulição, não ser corrosivos às partes metálicas do sistema e não degradar as borrachas dos anéis de vedação. A viscosidade também é uma característica importante, pois baixa viscosidade pode causar vazamentos nas conexões, enquanto alta viscosidade aumenta a perda de carga, diminuindo a eficiência do sistema.

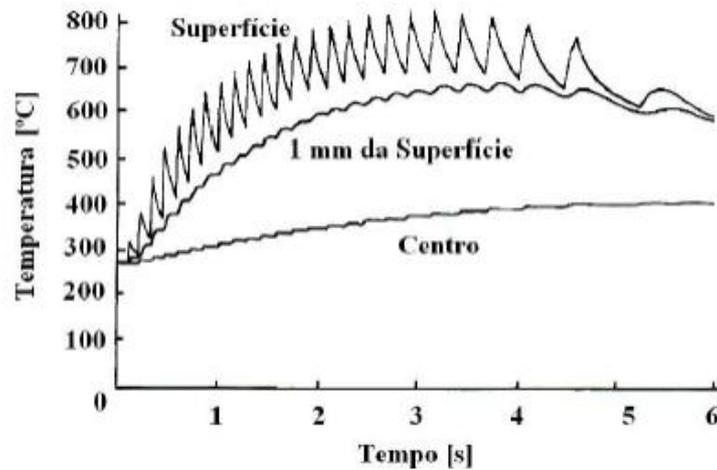
4.5 Temperatura

Na eficiência e desempenho de um sistema de freio, a temperatura é um dos fatores mais importantes, se não o mais importante. Ela pode ser responsável pela redução do coeficiente de atrito e também do aumento do desgaste dos componentes. No veículo Gol 1993 citado no trabalho ela pode estar sendo totalmente responsável pelo problema que estamos buscando solucionar no projeto.

Tirovic e Todorovic (1988) após analisarem as deformações e tensões em uma pastilha de freio, em um veículo de uso comercial, concluíram que o fator que mais teve influência na deformação das pastilhas foi a introdução de cargas térmicas, o que levou também ao aumento da temperatura e da pressão de contato.

Neuman (1983) destaca que a temperatura medida na superfície do disco pode ser significativamente mais elevada do que no resto do disco, como é mostrado na Figura 22. Notamos uma diferença de aproximadamente 450°C entre a superfície e o centro do disco, isso ocorreu basicamente pela variação da temperatura devido à realização de frenagens intermitentes. Nos testes realizados foi analisado que após poucas frenagens seguidas uma das outras o freio original do Gol já atingia altas temperaturas.

Figura 22 - Temperatura medida em três profundidades de um disco



Fonte: Neuman, 1983.

Segundo Silva (2007) usando simulação, por elementos finitos, determinou que para um sistema específico, 5% do calor total gerado na frenagem é transferido para a pastilha, 93% para o disco e 2% para o meio ambiente. Além disso, ele observou também que ao ter intervalos curtos na frenagem, aproximadamente 6 segundos, o calor que é dissipado dos discos para o meio ambiente é menor ainda.

No veículo Gol 1993, utilizado para os estudos, que teve as melhorias nos componentes do motor citadas anteriormente, com o aumento de potência que o motor obteve e o carro atingindo velocidades mais altas em um tempo menor, após testes realizados em uma pista fechada com um circuito curto onde a utilização do freio é constante e intensa, foi analisado que o freio estava atingindo o efeito *fade* com uma maior frequência comparado ao veículo totalmente original. A partir do resultado desses testes descobrimos a necessidade de atualizações no sistema original do freio do veículo.

4.5.1 Temperaturas de Frenagem

Segundo Incropera (2008), problemas transientes de transferência de calor apresentam dependência do tempo. Quando uma condição como fluxo de calor é imposta em uma superfície, a temperatura do material muda, e, pela condução, cada ponto do sistema também se ajusta até alcançar uma distribuição estável. Contudo,

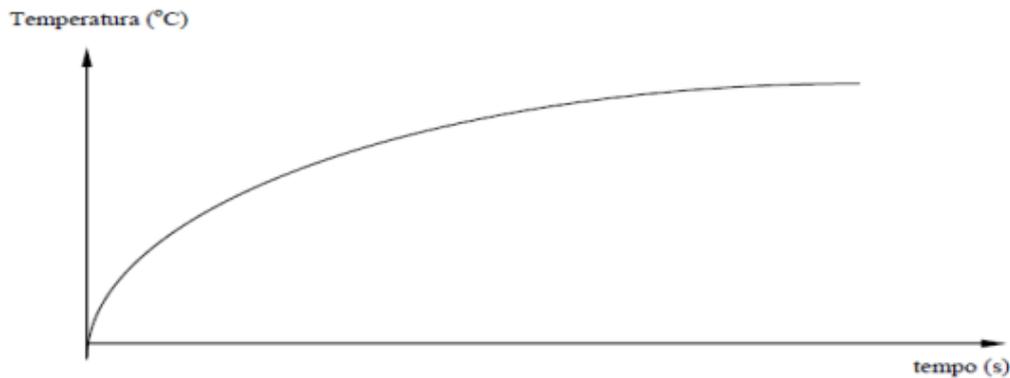
em sistemas de freios, onde as frenagens ocorrem rapidamente, o regime estacionário raramente é alcançado, tornando a análise de temperatura do disco um problema transiente. Newcomb (1960) foi pioneiro na determinação das temperaturas durante frenagens, utilizando um dinamômetro inercial e desenvolvendo equações complexas para descrever essas temperaturas, que variavam conforme a velocidade e dependiam de constantes experimentais. Ele também observou que a temperatura da superfície pode ser muito mais alta que no restante do rial.

Para monitorar a temperatura em ensaios, diversas técnicas de medição são descritas na literatura. O termopar fixo, por exemplo, é instalado próximo à superfície do disco, sendo fácil de usar e de baixo custo, mas captura apenas temperaturas pontuais. O termopar deslizante desliza sobre o disco e obtém temperaturas em um único raio específico, com menor resolução. Já o termopar exposto mede a temperatura na interface de contato do par de fricção, sendo instalado na pastilha do disco. Pirometria e termografia também são métodos eficazes, embora mais caros. Dependem da emissividade do material e de um termopar de referência, mas permitem medir temperaturas em toda a superfície do disco.

4.6 Efeito *Fade* em Sistemas de Frenagem

O calor em excesso que é gerado durante a frenagem de um veículo pode ocasionar a perda de atrito entre o disco e a pastilha, esse efeito é chamado de *fade*. O fator que ocasiona esse efeito é a variação de temperatura durante frenagens sucessivas, ou seja, esse efeito diz na prática sobre o uso do freio em intervalos curtos em situações como uma descida de uma serra ou por exemplo em carros de competições que usam no freio em condições extremas. Na figura 23 mostra-se como a temperatura aumenta com o tempo no qual são feitas várias aplicações do freio.

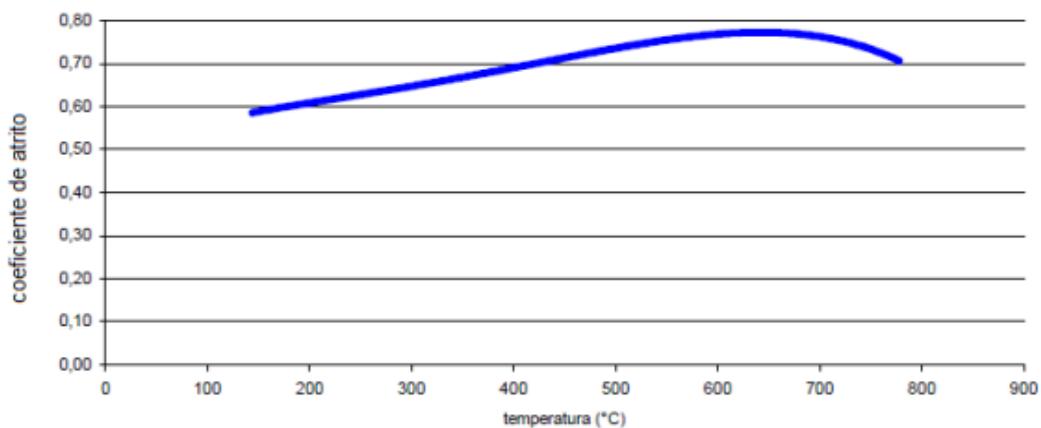
Figura 23 - Comportamento da temperatura após inúmeras aplicações do freio



Fonte: Ritz, Adas & Francisco (1995).

Infantini (2008), Lombriller (2002) e Brezolin (2007) analisaram a influência da temperatura no sistema de freio, tanto para a ocorrência do fade, quanto para a formação de trincas e a influência na estrutura do material dos freios. Lombriller (2002) analisou esse efeito em ônibus, caminhões e veículos mais pesados. Na figura 24 é mostrado o comportamento do coeficiente de atrito em comparação com a temperatura. Podemos observar que depois de uma temperatura superior aos 650°C, tem ou se inicia o decaimento do coeficiente do atrito.

Figura 24 - Comportamento do coeficiente de atrito versus temperatura

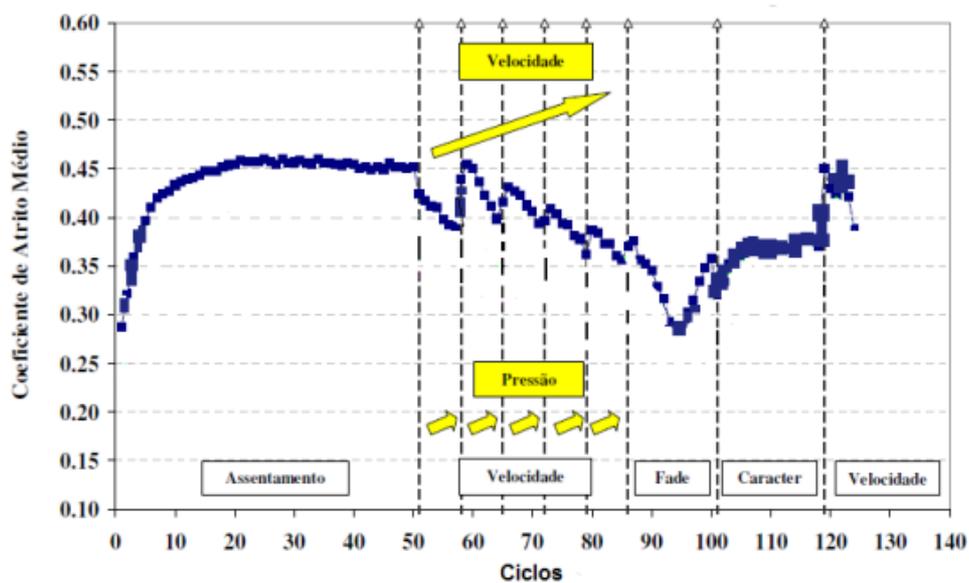


Fonte: Lombriller, 2002.

Infantini (2008) em seus testes e estudos em cima da frenagem em veículos leves, seguindo normas estabelecidas para dinamômetros inerciais ele observou que

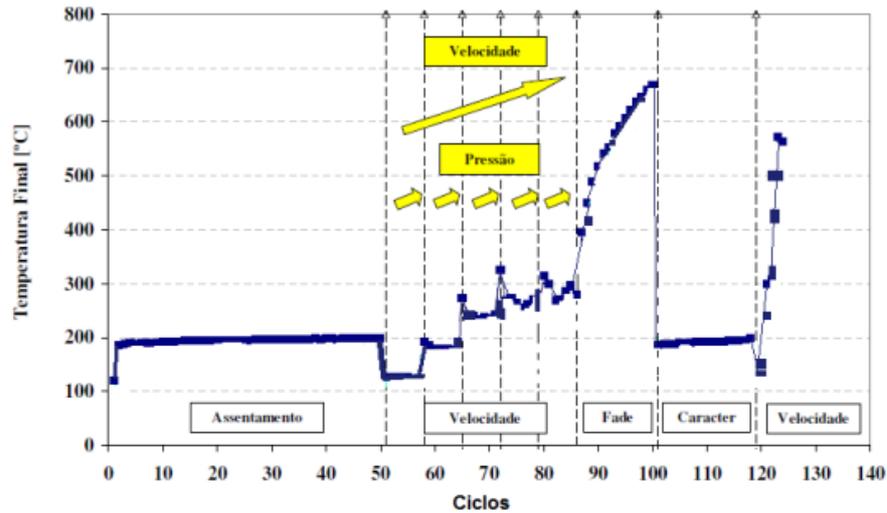
o coeficiente de atrito tem um decaimento considerável quando ocorre o *fade*, pode ser analisado na figura 25. É notado em seus estudos também que após a temperatura atingir e ultrapassar os 600°C o coeficiente de atrito tende a cair e chegar próximo de zero, como apresentado na figura 26. O autor concluiu que após diminuir na etapa do *fade*, caso não exista uma etapa de recuperação do sistema de freio, ele irá estabilizar o coeficiente de atrito de forma que sistema vai trabalhar sempre na faixa de *Fading*. No veículo Gol 1993 pode ser facilmente analisada essa conclusão, se faz necessário rodar em baixa velocidade com o veículo evitando ao máximo qualquer frenagem para que o ar possa trocar calor com os discos e pastilhas e esfriar o conjunto como todo para que a sua eficiente volte.

Figura 25 - Comportamento do coeficiente de atrito seguindo as normas de ensaio para dinamômetro inercial



Fonte: Infantini, 2008.

Figura 26 - Comportamento do coeficiente de atrito seguindo as normas de ensaio para dinamômetro inercial

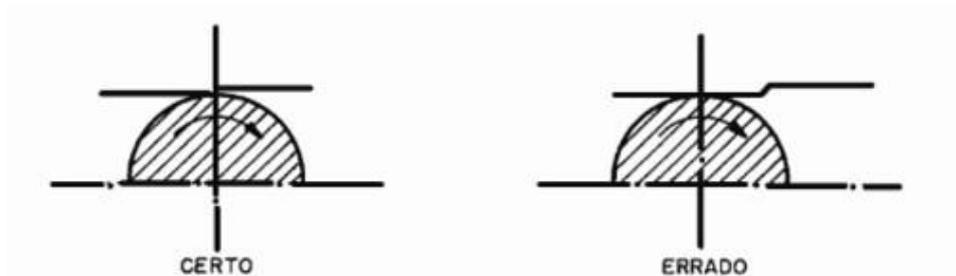


Fonte: Infantini, 2008.

4.7 Cálculos para ensaio de frenagem

O coeficiente de atrito entre o par de atrito pastilha-disco pode ser determinado pela norma ABNT NBR 6143:1995 - Pastilha do freio a disco que propõe o cálculo para a determinação do atrito e desgaste através da bancada de ensaio Krauss, como mostra a figura 27 o esquema da bancada de ensaio Krauss.

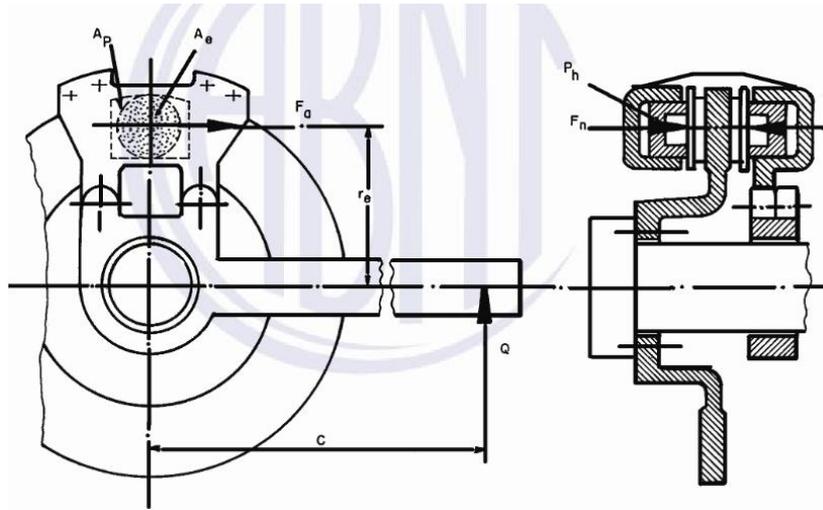
Figura 27 - Esquema hidropneumático da bancada de ensaio Krauss



Font: ABNT NBR 6143, 1995.

Adotando-se M_t como o momento da força de frenagem, em Newton vezes metros (N.m), e r_e como o raio efetivo do disco, em metros (m), conforme a figura 28 onde mostra o esquema do sistema de medição do momento de força de frenagem e a equação abaixo.

Figura 28 - Esquema do sistema de medição do momento de força de frenagem



Fonte: ABNT NBR 6143, 1995.

Onde:

A_p = área da pastilha, em mm^2

A_e = área do êmbolo, em mm^2

F_a = Força de atrito, em N

M_f = Momento de força de frenagem, em N.m

r_e = raio de atuação do freio a disco, em m

P_h = Pressão hidráulica, em MPa

F_n = Força normal do êmbolo sobre a pastilha, em N

C = Comprimento da alavanca, em m

Q = Força que atua sobre a tomada de medição, em N

μ = coeficiente de atrito

- Equação para cálculo do coeficiente de atrito

$$\mu = \frac{M_t}{2 \cdot r_e \cdot A_p \cdot P_h}$$

- Equação para Pressão hidráulica

$$P_h = \frac{M_t}{2 \cdot \mu \cdot r_e \cdot A_e}$$

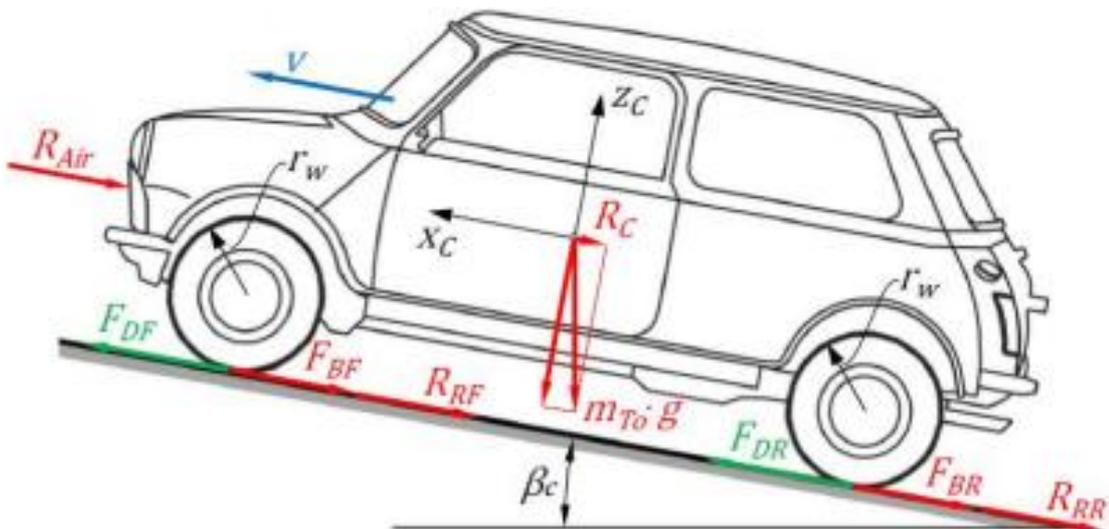
- Pressão específica na pastilha de freio

$$P_{esp} = \frac{A_e \cdot P_h}{A_p} = \frac{F_n}{A_p}$$

4.8 Introdução a dinâmica longitudinal

A dinâmica longitudinal descreve o comportamento do veículo diante dos movimentos de aceleração e desaceleração. Um estudo completo da dinâmica longitudinal precisa contemplar as forças motrizes e de frenagem, bem como as resistências ao rolamento, à escalada e o arrasto aerodinâmico. A figura 29 mostra as variáveis elementares que originam as equações que descrevem essa dinâmica conforme Hirz (2015), sendo que através das equações que descrevem o comportamento dinâmico do veículo que os modelos de simulação são criados.

Figura 29 - Principais variáveis para dinâmica longitudinal



Fonte: HIRZ (2015).

De acordo com a figura 27:

- F_{DF} e F_{DR} = Forças motrizes [N]
- F_{BF} e F_{BR} = Forças de frenagem [N]
- R_{RF} e R_{RR} = Resistência ao rolamento [N]
- R_{AIR} = Arrasto aerodinâmico [N]
- R_C = Resistência à escalada [N]
- m^* = Massa total do veículo [kg]
- β_c = Ângulo de escalada [deg]
- V = Velocidade do veículo [m/s]
- r_w = Raio dinâmico da roda [m]

Todas essas variáveis influenciam o comportamento dinâmico longitudinal de um veículo. Quanto maior for o número de variáveis, mais complexa se torna a criação de modelos, porém mais completo e preciso eles serão também. Pode-se começar por um modelamento matemático mais simples e acrescentar complexidade conforme a necessidade do estudo a ser realizado. Um exemplo simplificado do movimento longitudinal sob condições de estado estacionário pode ser visto na equação:

$$m^* \dot{v} = \frac{M_D - M_B - M_R}{r_w} - R_{Air} - R_C$$

Sendo:

- $M_D = (F_{DF} e F_{DR}) \cdot r_w$ = Torque de condução [Nm]
- $M_B = (F_{BF} e F_{BR}) \cdot r_w$ = Torque de frenagem [Nm]
- $M_R = (R_{RF} e R_{RR}) \cdot r_w$ = Torque de resistência ao rolamento [Nm]
- \dot{v} = Aceleração do veículo [m/s^2]
- m^* = Massa total do veículo [kg]

Neste contexto, uma modelagem matemática simples foi realizada por Abeid (2010) e pode ser utilizada para criação de modelos em diagramas de simulink. O

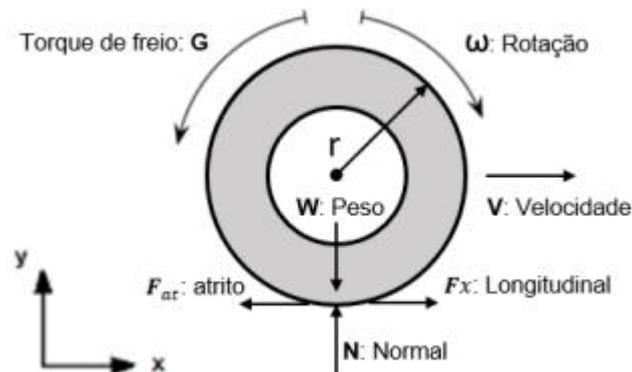
autor baseou-se apenas nas equações relacionadas às forças de atrito e nas aplicações das leis de Newton e Torricelli. O modelo simples, quando comparado aos modelos complexos produziu resultados plausíveis e muito aproximado, tornando sua utilização didática viável para compreensão do comportamento dinâmico do veículo e função dos seus sistemas.

4.8.1 Dinâmica longitudinal do conjunto pneu e roda

Para a criação de modelos matemáticos da dinâmica veicular longitudinal, além das forças que interagem com o veículo completo, outras variáveis devem ser consideradas. Conforme explica Ashby (2013), variáveis como carga do pneu, deslizamento, tipo de solo, pressão, condição das estradas, entre outros, devem ser também observadas.

De acordo com o entendimento de Hiroaki (2005), é comum relacionar as forças que agem no contato pneu-pavimento, tais como a força de tração e a força de frenagem, diretamente com a força de atrito, baseada na lei de Coulumb. A figura 30 mostra as forças que atuam no conjunto roda e pneu e também outros termos que estão diretamente relacionados à dinâmica longitudinal.

Figura 30 - Forças atuantes no conjunto roda e pneu



Fonte: Adaptado de GARDINALLI (2005).

De acordo com a figura 30, as variáveis diretamente ligadas ao pneu e o pavimento são velocidade angular da roda, velocidade longitudinal do veículo, torque de freio e as forças peso, e reação normal, força longitudinal e reação de atrito. Uma explicação inicial de como o pneu gera força pode ser obtido pela Equação (2):

$$F_x = \mu \cdot W$$

Em que F_x é a força longitudinal gerada pelo pneu, μ , o coeficiente de atrito e W é a força peso sempre vertical (peso) sobre pneu.

Segundo Abeid (2010), as equações que descrevem as forças de atrito são complexas e estudadas na Tribologia (Física, Química e Mecânica), assim ele propôs uma modelagem matemática simplificada, que divide o atrito em dois tipos: estático e cinético. Quando não há movimento entre as superfícies em contato, o atrito é estático e coeficiente de atrito é chamado de estático (μ_e). Seu módulo é dado por:

$$0 \leq F_{at} \leq \mu_e \cdot N$$

Em que μ_e é o coeficiente de atrito estático e N é o módulo da força normal de contato entre as duas superfícies.

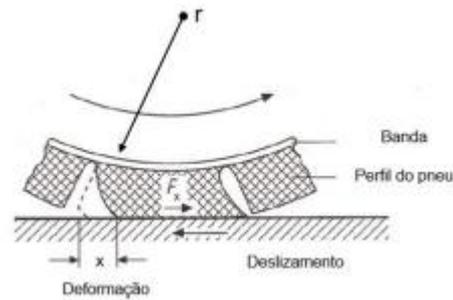
Neste caso a força longitudinal de atrito F_{at} , não é constante, mas varia de zero até $\mu_e \cdot N$. Por outro lado, quando há movimento relativo entre as superfícies de contato, o atrito é cinético e o coeficiente é chamado de cinético (μ_c). Neste caso o módulo de força de atrito pode ser considerado constante, conforme dado por Abeid (2010):

$$F_{at} = \mu_c \cdot N$$

Este módulo de atrito é uma aproximação que não considera as deformações do contato entre pneu e o piso, ou seja, as superfícies de contato são rígidas e indeformáveis.

Neste contexto, de acordo com Abeid (2010), essa deformação faz com que a pressão na região de contato com o solo não seja uniforme, mas cresça no sentido do movimento, fazendo com que a força normal seja deslocada para frente em relação ao centro da região de contato de uma distância x , conforme mostrado na figura 31.

Figura 31 - Deformação da borracha e origem do escorregamento



Fonte: Adaptado de GARDINALLI (2005).

Assim foi apresentada a importância de se considerar a relação entre pneu e o solo durante a modelagem matemática de dinâmica de veículos. Essa dinâmica inclusive a compreender a influência da configuração do cenário do ambiente de simulação. A escolha da configuração correta desse cenário resulta na precisão e credibilidade das respostas do sistema durante a realização da simulação.

4.8.2 Dinâmica de frenagem

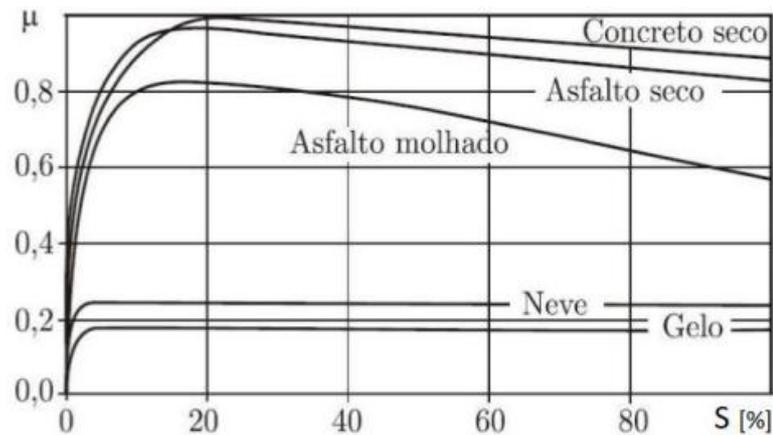
Para que um veículo acelere ou desacelere, existe uma relação direta entre o coeficiente de atrito e a força peso da Equação (2) para que seja obtida a força longitudinal de aceleração ou frenagem. É importante destacar que o coeficiente de atrito por não ser um valor constante conforme Ashby (2013), também depende muito do coeficiente de deslizamento ou de escorregamento relativo entre pneu e pavimento. As forças de frenagem em um veículo podem ser previstas utilizando a equação a seguir:

$$D = \frac{V^2}{250 \cdot \mu}$$

No entanto, a força de frenagem só pode aumentar até o limite do acoplamento friccional entre o pneu e a estrada. Existem dois mecanismos principais responsáveis pelo acoplamento friccional. A aderência superficial surge das ligações intermoleculares entre a borracha e o agregado na superfície da estrada. O componente de aderência é o maior dos dois mecanismos em estradas secas, mas é

substancialmente reduzido de acordo com a superfície da estrada, como apresentado na figura 32.

Figura 32 - Coeficiente de frenagem versus deslizamento de roda



Fonte. Adaptado de Ashby (2013).

Observa-se na figura 32 que conforme a taxa de deslizamento aumenta após 20%, o coeficiente de atrito começa a cair. Deve-se notar que os valores numéricos nesta figura são relativos a uma determinada condição de estudo de pneu e pavimento, sendo que valores de coeficiente de atrito versus coeficiente de deslizamento podem variar para cada condição estudada, mas a forma geral das curvas sempre será similar.

4.9 Análise Dos Testes

Após a análise de todos esses estudos e a identificação desse problema do Gol 1993 atingir facilmente o efeito *fade* após o aumento de desempenho do motor nos testes, fica visível que a raiz do problema está no fato que o sistema e componentes estão atingindo temperaturas muito altas por conta de o veículo ter tido um aumento de potência significativo e isso está exigindo mais dos freios.

Discos sólidos, ventilados, pastilhas de diversas composições e materiais, pinças de diversos tamanhos e quantidades de pistões, fluídos de freio com menores e maiores ponto de ebulição, mangueiras de borracha e linhas de combustível de aço... são várias as opções para atualização de um sistema no mercado e conseqüentemente vários preços e formas de instalação, até também a necessidade de adaptação

dependendo da escolha do componente. Para o projeto buscamos analisar cada opção e dados detalhadamente até chegarmos na que solucionasse o nosso problema e fosse viável economicamente.

5 Estudo de Caso

O projeto analisou a necessidade de atualização do sistema de freios de um VW Gol 1993, motivada pelo aumento da potência do motor, que passou a se aproximar da potência do Gol GTI. Foram comparadas as especificações técnicas dos freios e motores de diferentes veículos, com testes realizados em dinamômetro de rolo e frenômetro. Os resultados mostraram que o sistema de freios original do Gol 1993 é insuficiente diante das novas exigências. A troca por discos ventilados e componentes mais robustos foi considerada essencial. O estudo reforça a importância de equilibrar desempenho e segurança nos veículos modificados.

5.1 Apresentação do Caso

Como citado no resumo do nosso projeto, devido ao aumento na potência do veículo e visto a possibilidade do aumento em sua segurança, com isso obtivemos a ideia de que seria necessário realizar mudanças no sistema de freio para que acompanhasse e aguentasse as pressões de frenagem em relação as modificações do motor, onde tivemos um ganho de potência significativo, e quanto mais potência tivermos, melhor terão que ser o sistema de freio também, afim de obtermos um conjunto mecânico equilibrado eficiente. Para melhor apresentação do projeto, inicialmente iremos observar a potência máxima dos dois carros, o Gol CL com motor 1.8 (igual ao que estamos trabalhando no projeto) obtém 96cv e 14,9kgfm de torque, enquanto o Gol GTI originalmente com motor 2.0 obtém 112cv e 17,5kgfm de torque. Com base nas modificações feitas no nosso veículo estima-se que ele alcance números semelhantes ao do Gol GTI, e para termos real certeza desses números utilizaremos um dinamômetro para aferição de potência e torque exatos. Conforme a tabela 3 a seguir:

Tabela 3 - Comparação entre veículos

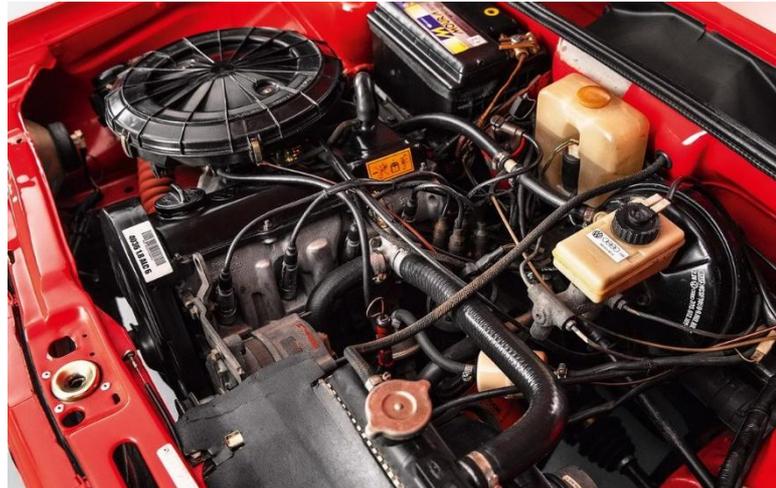
		
Categorias	Gol CL 1.8	Gol GTI 2.0
Potência Máxima	96 cv	112 cv
Torque Máximo	14,9 kgf.m	17,5 kgf.m
Diâmetro do Cilindro	81 mm	82,5 mm
Freios Dianteiros	Disco sólido	Disco Ventilado
Freios Traseiros	Tambor	Tambor

Fonte: Carros na web.

Como podemos observar na tabela 3 o diâmetro dos pistões do Gol CL originais são de 81 milímetros, porém o do Gol 1993 citado no trabalho foi modificado para pistões de 82 milímetros, número bem semelhante ao diâmetro de pistão utilizado pelo Gol GTI, no caso 82,5 milímetros, porém vale ressaltar que o curso do pistão não foi alterado, continuamos tendo um curso de pistão de 86,4 milímetros, enquanto o Gol GTI tem um curso do pistão de 92,8 milímetros. Em relação aos freios a intenção será colocar discos ventilados iguais os que são utilizados no Gol GTI, no intuito de termos freios mais eficientes para acompanhar as modificações feitas no motor.

Enfim, vamos começar mostrando um pouco nas figuras 33 e 34 de como é visualmente um motor AP, um motor tão famoso, que marcou uma grande geração e é conhecido pelos entusiastas até atualmente. E em seguida citaremos um pouco mais sobre seus componentes mecânicos que foram modificados.

Figura 33 - Motor AP original



Fonte. Webmotors.

Figura 34 - Motor AP modificado



Fonte. Autoria própria.

Enfim, já mostramos um pouco sobre o veículo usado no projeto, mostrando comparações com outra versão que usamos de base e que se equilibra com as modificações feitas em nosso projeto com números parecidos, mostramos fotos acima dos motores AP, uma em sua versão original e outra modificado, e agora vamos falar um pouco mais afundo sobre as modificações mecânicas feitas no Gol 1993 e também sobre o seu sistema de freio original. Então, como antigamente na década de 90 ainda era comum se ver carros com sistema de carburador, no Gol 1993 não é diferente, sendo assim um veículo carburado, que por sua vez apresenta modificações no bloco do motor, com cilindros e pistões aumentados em 1 milímetro (original usa-se pistões de 81 milímetros, sendo assim foram substituídos por pistões de 82 milímetros, bem

próximo dos pistões usados no Gol GTI que comparamos acima, onde usa pistões de 82,5 milímetros), comando de válvulas trocado para uma graduação maior em relação ao original (modelo 49H, muito conhecido na época), modificando assim o tempo de abertura e fechamento de válvulas de admissão e escape. Contém também modificação em toda linha de escapamento, com um coletor de escapamento com sistema 4x1 e sistema de carburador trocado para um carburador 2E, que consiste em um carburador com dois estágios de abertura do corpo de borboleta, seguido de um filtro de ar esportivo acoplado ao carburador. O sistema de freio original do Gol 1993 é composto por discos de 239 milímetros e pastilhas de 151,30 por 49,20 milímetros convencionais de material orgânico na dianteira, e tambor que utilizam o sistema de lonas na traseira. O disco que é utilizado é sólido, ou seja, ele não possui nenhuma tecnologia para ventilação e diminuição mais rápida da sua temperatura na sua utilização. Logo, vimos aí a possibilidade de iniciar a nossa atualização e melhoria do sistema de freio já que na parte de motorização um *upgrade* já estava consolidado.

5.2 Ensaios Experimentais

Inicialmente para fazermos as medições em relação a motorização de um veículo utilizaremos um dinamômetro de rolo que nos dará todas as informações de potência e torque em picos de rotações específicas. Para a realização desse teste exige-se uma preparação detalhada do equipamento (dinamômetro de rolo), do veículo e do dinamometrista que irá realizar o teste, como dito em nossas aulas de ensaios dinamométricos presenciais sobre como realizar preparações para um teste em dinamômetro.

Para continuarmos com as análises, nossa faculdade nos disponibilizou dois veículos que são utilizados como materiais didáticos, onde poderíamos extrair as informações necessárias para darmos continuidade em nossos estudos. Dois veículos Volkswagen, um Gol 2008 1.6 e uma T-Cross 2018 1.0T, como apresentado nas tabelas 4 e 5, onde podemos ver um pouco das especificações de cada um dos dois veículos. E em seguida na figura 35 o veículo Gol 2008 1.6 e na figura 36 a T-Cross 2018 1.0T.

Tabela 4 - Comparação motorização dos veículos

Motorização	Gol 2008 1.6	T-Cross 2018 1.0T
Potência (cv)	103 (A) 101 (G)	128 (A) 116 (G)
Torque (kgfm)	14,48 (A) 14,28 (G)	20,4 (A) 20,4 (G)

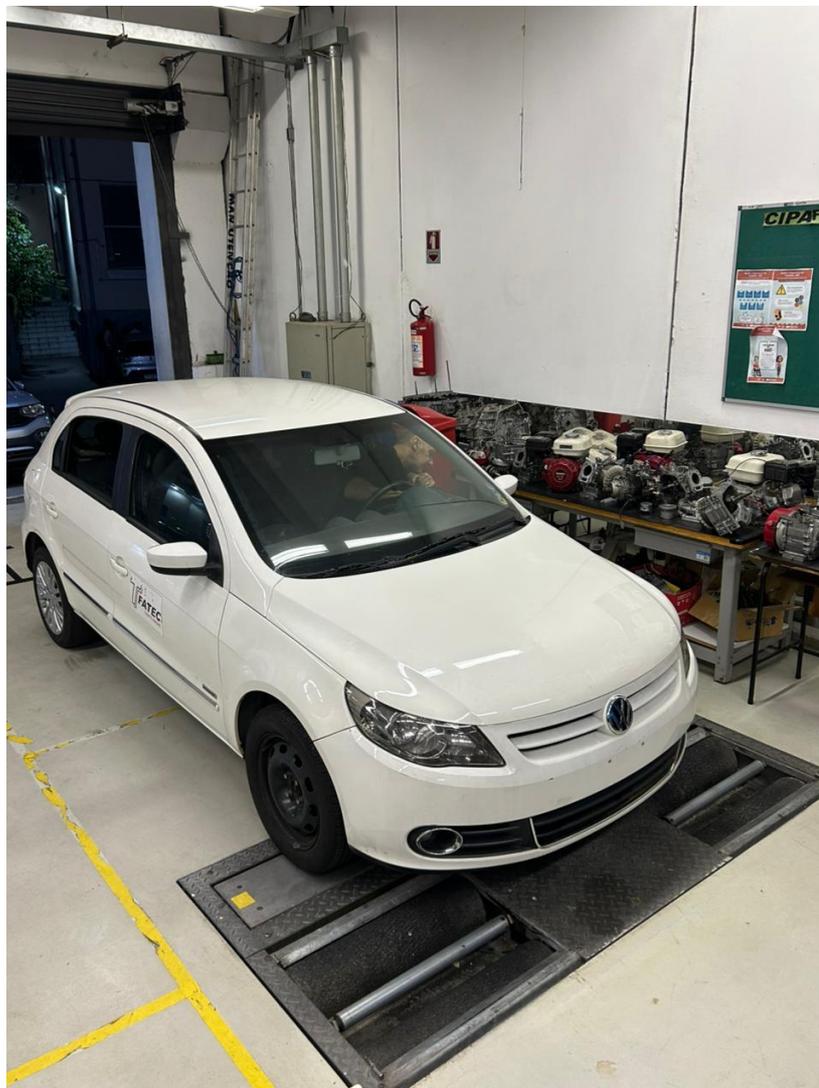
Fonte. Carros na Web.

Tabela 5 - Comparação discos dos veículos

Freios (Discos dianteiros)	Gol 2008 1.6	T-Cross 2018 1.0T
Diâmetro externo (mm)	256	276
Espessura (mm)	18	24

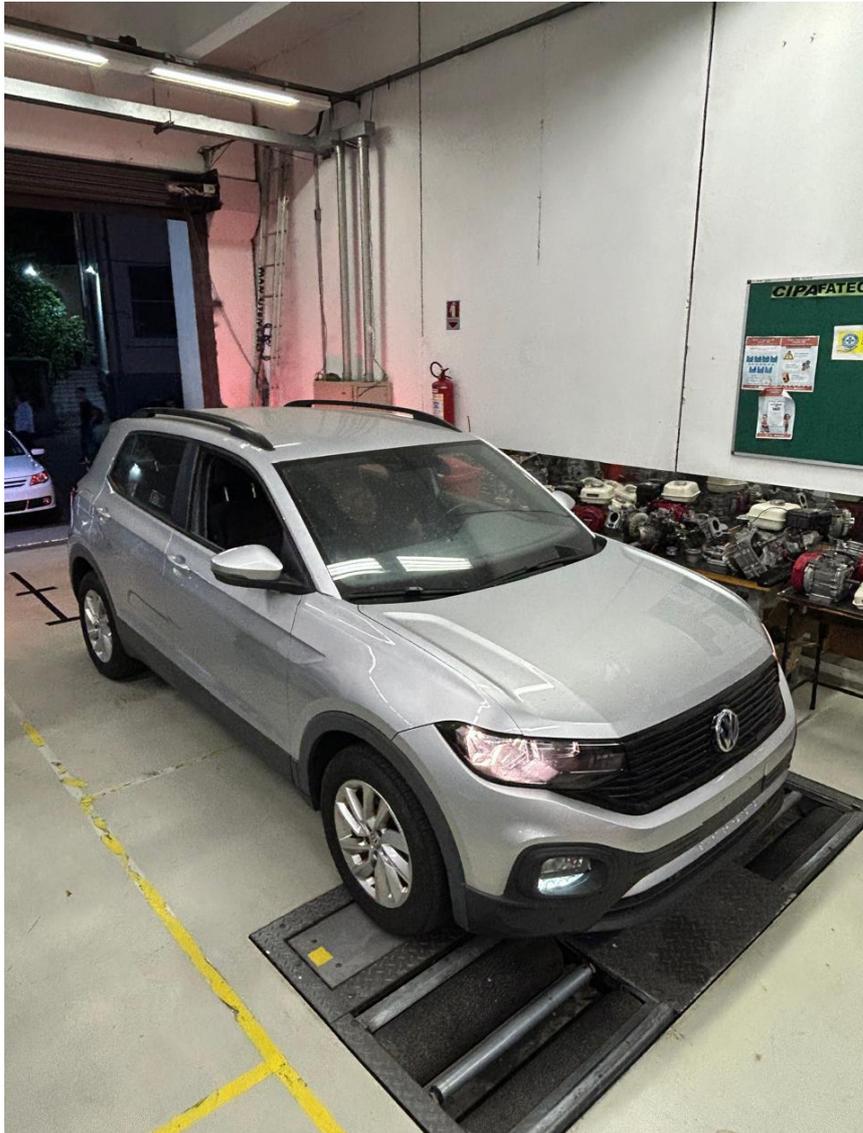
Fonte. Carros na Web.

Figura 35 - Gol 2008



Fonte. Autoria própria.

Figura 36 - T-Cross 2018



Fonte: Autoria própria

A comparação entre esses dois veículos nos traz uma base, pois a potência do Gol 2008 1.6 original de 101 cavalos, é bem próxima a do Gol 1993 1.8, veículo base do projeto, e que também em condições originais obtém uma potência de 99 cavalos, porém com as modificações que foram feitas no motor a sua potência aumentou sendo estimada próxima à da T-Cross utilizando gasolina como combustível, que atinge seus 116 cavalos, já o gol estima-se ter 115 cavalos aproximadamente. Com essas informações, após analisarmos os freios do Gol 2008 e da T-Cross, onde suas medidas de diâmetro de discos e espessura foram apresentadas na tabela 5, um cruzamento de informações entre potência e especificações de discos dos dois

veículos nos mostrou que o aumento na potência de um veículo faz-se necessário uma atualização/aprimoramento no sistema de freio de um veículo.

Na parte essencialmente dos freios, ao se tratar da frenagem em si, em nossa faculdade também possuímos um frenômetro, que é um equipamento que mede a eficiência dos freios de um veículo e é utilizado na linha de inspeção veicular. Com ele, iremos coletar dados detalhados das condições de frenagem originais dos dois veículos disponibilizados e compararmos a eficiência de ambos. Os resultados obtidos foram os seguintes:

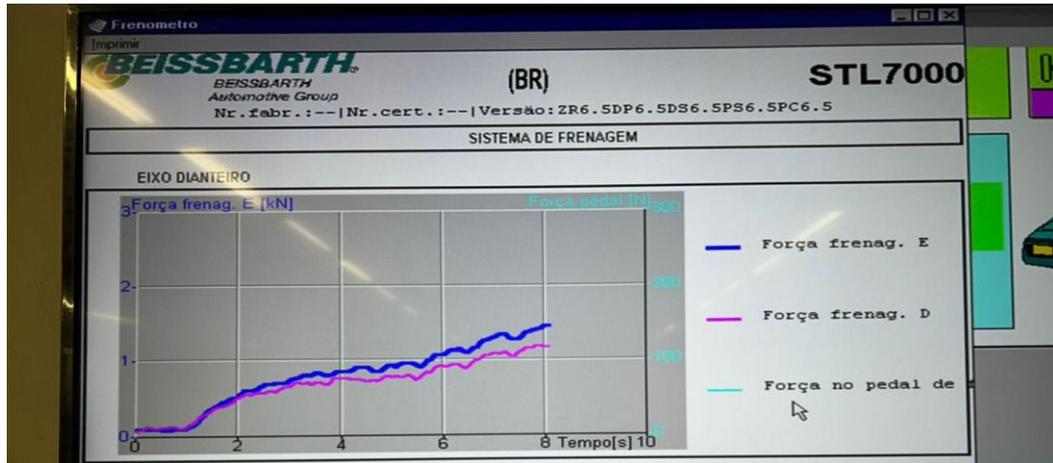
5.2.1 Ensaio Gol 1.6

Figura 37 - Dados Gol 2008

RESULTADOS		EIXO DIANTEIRO	
DESVIO LATERAL	0,0 mm/m		
SUSPENSÃO	ESQUERDO	DIREITO	
Aderência	24 %	13 %	
Frequência de ressonância	17 Hz	16 Hz	
Diferença de aderência	45 %		
Peso	600 kg		
Peso total	935 kg		
FREIO DE SERVIÇO	ESQUERDO	DIREITO	
Resistência ao rolamento	100 N	100 N	
Força de frenagem	1470 N	1190 N	
Dyn. desequilíbrio na frenagem	20 %		
Peso	600 kg		
Eficiência de frenagem	45 %		
Peso total	935 kg		
Eficiência total do freio	52 %		
FREIO DE ESTACIONAMENTO	ESQUERDO	DIREITO	
Resistência ao rolamento	80 N	110 N	
Força de frenagem	1070 N	970 N	
Dyn. desequilíbrio na frenagem	15 %		
Peso	935 kg		
Eficiência de frenagem	22 %		

Fonte: Autoria própria.

Figura 38 - Gráfico do sistema de frenagem Gol 2008



Fonte: Autoria própria.

Figura 39 - Medição da força aplicada no pedal



Fonte: Autoria própria.

Figura 40 - Pico de força do pedal



Fonte: Autoria própria.

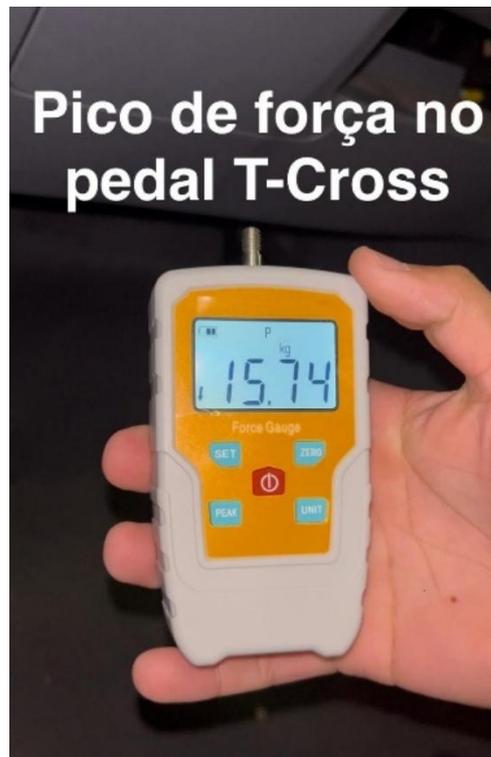
5.2.2 Ensaio T-Cross 1.0T

Figura 41 - Dados T-Cross

RESULTADOS		EIXO DIANTEIRO	
DESvio LATERAL	0,0 mm/m		
SUSPENSÃO	ESQUERDO	DIREITO	
Aderência	61 %	55 %	
Frequência de ressonância	14 Hz	15 Hz	
Diferença de aderência	9 %		
Peso	710 kg		
Peso total	1175 kg		
FREIO DE SERVIÇO	ESQUERDO	DIREITO	
Resistência ao rolamento	120 N	80 N	
Força de frenagem	3010 N	2350 N	
Dyn. desequilíbrio na frenagem	22 %		
Peso	710 kg		
Eficiência de frenagem	76 %		
Peso total	1175 kg		
Eficiência total do freio	72 %		
FREIO DE ESTACIONAMENTO	ESQUERDO	DIREITO	
Resistência ao rolamento	90 N	70 N	
Força de frenagem	1090 N	990 N	
Dyn. desequilíbrio na frenagem	14 %		
Peso	1175 kg		
Eficiência de frenagem	18 %		

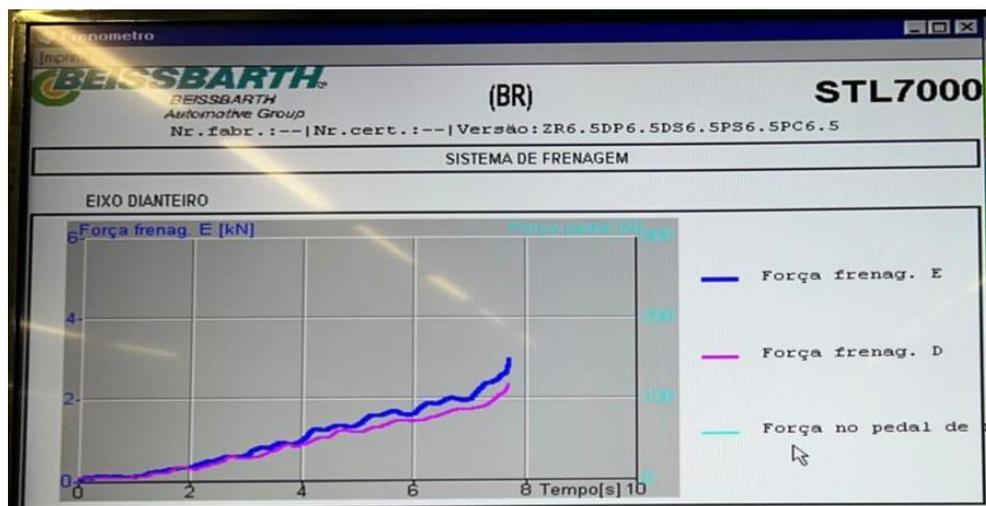
Fonte: Autoria própria.

Figura 42 - Pico de força do pedal



Fonte: Autoria própria.

Figura 43 - Gráfico do sistema de frenagem T-Cross



Fonte: Autoria própria.

Após os testes feitos no frenômetro obtivemos resultados bem positivos como era o esperado, onde é possível visualizar que a força de frenagem da T-Cross é mais que o dobro comparado a do Gol. Ao utilizarmos o dinamômetro digital de tração e compressão para conseguirmos analisar a força que é aplicada no pedal de cada

veículo até o final de seus respectivos cursos, como mostra nas figuras 40 e 42, os dados nos mostraram que apesar da força da T-Cross ser o dobro do Gol, o sistema de freio do veículo ainda faz com que a força de aplicação necessária para atingir o travamento das rodas no ensaio ainda seja menor que a exigida no Gol, 15,74 kg na T-Cross e 16,16 kg no Gol.

Nas figuras 37 e 41, na linha que trata sobre a eficiência de frenagem os dados apresentados mostram uma diferença de mais de 30% entre os dois veículos, ao se tratar de eficiência dos freios, já foi confirmado através dos estudos neste projeto que uma temperatura controlada é imprescindível para uma boa eficiência no momento da frenagem. Se tratando dos dois veículos utilizados nos ensaios, os discos que ambos possuem na dianteira são ventilados, uma das principais diferenças que possuem em relação ao veículo base do trabalho. O Gol 2008 que possui freios inferiores ao da T-Cross, em relação ao Gol 1993 já está muito à frente, e ao pontuarmos que a potência do 1993 está quase se igualando ao da T-Cross na gasolina, a substituição dos discos, pinças e pastilhas comprovou-se extremamente necessária após esse aumento de potência no motor 1.8, para garantir um carro mais equilibrado com um sistema de freio que acompanha as modificações no motor.

5.3 Materiais e Métodos

5.3.1 Frenômetro

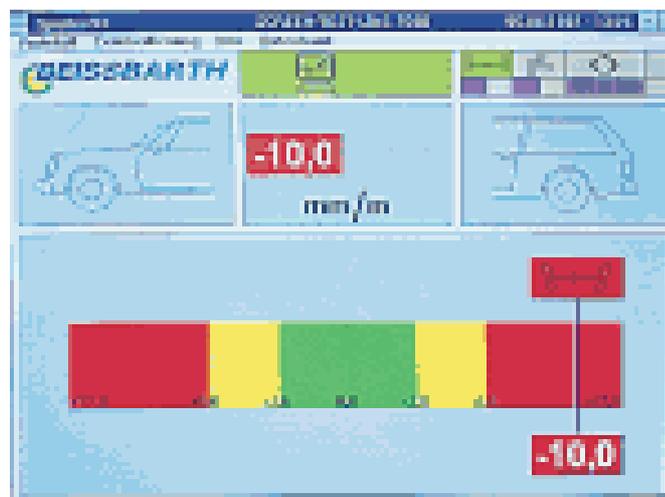
A *BEISSBARTH SCREEN-TESTLINE 7000* é a máquina de inspeção de veículos baseada em PC, com tela colorida de 20", unidade de disco rígido e unidade de disco de 3,5". Os valores medidos e ajustados para freios, alinhamento das rodas, suspensão das rodas, amortecedores e mola ou diferencial de alinhamento podem ser visualizados claramente na tela. Modos de exibição selecionáveis: gráfico ou gráfico de barras. Com todas as unidades da linha de teste, como o banco de medição do alinhamento das rodas e o hodômetro (até 2 toneladas de carga da roda) e o dinamômetro do freio de rolo (até 4 toneladas de carga do eixo), ele tem apenas 1,9 m de comprimento na direção do deslocamento. Além da operação automática, também é possível usar cada unidade separadamente com o controle remoto ou botões de pressão. A figura 44 mostra como é visualmente um frenômetro.

Figura 46 - Dados mostrados na tela do frenômetro



Fonte: Autofit Ltda.

Figura 47 - Dados mostrados na tela do frenômetro



Fonte: Autofit Ltda.

O dispositivo exibe os dados do veículo, diagnósticos de freios, pista, suspensões - incluindo amortecedores e molas - de forma extremamente clara em um monitor colorido.

Os valores exibidos podem ser mostrados em gráficos de barras ou em forma de gráfico, como apresentado nas figuras 48 e 49.

Figura 48 - Gráfico de barra mostrado na tela do frenômetro



Fonte. Autofit Ltda.

Figura 49 - Gráfico mostrado na tela de frenômetro



Fonte. Autofit Ltda.

5.3.2 Dinamômetro

O dinamômetro usado para aferições de potência é um DYNOTECH 720i, porém por ser um modelo antigo, e após diversas pesquisas, nós e corpo docente não conseguimos identificar especificações técnicas deste modelo. E então após contato com a empresa responsável pela fabricação do dinamômetro, fomos direcionados a usar informações do DYNOTECH 450i que é um dinamômetro com especificações bem próximas do 720i usado. O DYNOTECH 450i é um equipamento projetado para carros e camionetes de até 500 CV, móvel, com 30 itens de medição, não necessita nenhuma obra civil, e tem índice de segurança de 100%. A seguir na tabela 6 pode-

se analisar algumas características e itens que compõem este modelo de dinamômetro.

Tabela 6 - Características e itens Dynotech 450i

Características e itens que compõem o DYNOTECH 450i
Chassi completo móvel (sistema de medição inercial)
Amarras especiais para fixação
Placas de instrução para provas e amarração
Ventilador especial de ar progressivo
Inversor de frequência de 10HP
Software de última geração em 5 idiomas
Interface completa
Estação barométrica automática
Rampas (eleva-car)
Rack completo para disponibilidade do computador
Manual de operações em vídeos interativos

Fonte: autoria própria.

- **Software e medições**

Software completo inteligente que mede individualmente motor, caixa, transmissão e roda. Possui 30 itens de medição.

Tabela 7 - Medições

Medições
Potência máximas, médias – pesquisar, medindo perda, para poder detectar
Torque no motor e torque instantâneo na roda
Detector de peso automático
Sensor de alinhamento
Sensor de vibração balanceamento

Fonte: autoria própria.

- **Medidas do equipamento**

Tabela 8 - Medidas do Equipamento

Medidas do Equipamento	
Aberto: 45 cm x 320 cm x 150 cm (altura x largura x comprimento)	
Fechado: 45 cm x 320 cm x 50 cm (altura x largura x comprimento)	
	

Fonte: autoria própria.

5.3.3 Dinamômetro Digital de Tração e Compressão

Diferente do dinamômetro de rolo que é utilizado para medir a potência de um veículo, este é um medidor de força projetado para testes de tração compressão.

Figura 50 - Dinamômetro digital tração e compressão



Fonte: Autoria própria.

Este em específico que foi adquirido para auxiliar nos testes do projeto é da marca Soonda, modelo 500 NEWTON. Ele possui funções como: modo em tempo real, neste modo o valor exibido mudará junto com a carga; modo de pico, neste modo o valor exibido é o valor máximo; primeiro modo de pico; neste modo, o instrumento só exibe o primeiro valor de pico medido em um período de t_{spo} , e o valor medido não será exibido novamente. A precisão desse aparelho é de $\pm 1\%$ e atendeu positivamente as nossas necessidades.

Figura 51 - Dinamômetro digital e compressão



Fonte: Autoria própria.

5.4 Resultados Preliminares

Ao melhorar o sistema de freios do VW Gol, trocando discos e pastilhas por componentes de melhor qualidade, os benefícios vão muito além de apenas parar o carro mais rápido.

Freios mais confiáveis – Com materiais de melhor qualidade, evitamos o superaquecimento e mantemos a eficiência da frenagem por mais tempo.

Menos desgaste e manutenção – Com discos mais resistentes e pastilhas de melhor composição (como as cerâmicas), o desgaste será menor. Isso significa menos idas ao mecânico para trocar peças gastas.

Maior segurança, principalmente em emergências – Um sistema de freios eficiente pode fazer toda a diferença em uma situação inesperada, como quando um carro freia de repente à sua frente.

Melhor controle do carro – Um freio mais responsiva melhora a dirigibilidade e dá mais confiança ao motorista, seja no trânsito, na estrada ou até em pilotagem esportiva.

Menos ruído e vibração – Discos e pastilhas de qualidade reduzem esses problemas, tornando a direção mais confortável.

Desempenho melhor até em alta temperatura – Em frenagens longas ou repetitivas (como em descidas de serra), os freios originais podem perder eficiência. Com componentes de melhor dissipação de calor, o sistema mantém sua capacidade de parar o carro sem sustos.

No fim das contas, fazer essa modificação não é só uma questão de performance, mas também de segurança e economia. Você freia melhor, gasta menos com manutenção e dirige com mais tranquilidade.

6 CONCLUSÕES FINAIS

Com a finalização deste projeto embasado em suas teorias, e realização de testes de desempenho, o presente trabalho teve como objetivo a proposta de adaptações no sistema de freios do Volkswagen Gol 1993, com foco em aprimoramento global do veículo, realizando as modificações já anteriores e avançando nas adaptações de frenagem.

As modificações já feitas anteriormente, como pistões de maiores diâmetros, comando de válvulas, agregaram ao veículo um novo desempenho em relação ao original, propiciando um aumento de cilindrada, com um desempenho superior tanto em baixas quanto em altas rotações, garantindo entrega de torque mais eficiente e aceleração mais ágil, otimizando a experiência de condução, e, juntamente a isso, as alterações em sistema de freios, com a adoção de sistema de discos ventilados e pastilhas com materiais de atrito com maior resistência a frenagem, mostrarão um novo rendimento ao sistema de freio em geral, reduzindo o efeito *fade* do sistema e melhorando coeficiente de atrito entre pastilha e disco, proporcionando uma maior segurança para seus ocupantes. O aumento na capacidade de dissipação de calor fornecido pelos discos ventilados, também irá colaborar para uma maior repetitividade e consistência na frenagem, e uma nova experiência na condução do veículo. Portanto, as modificações e proposta trazidas para este projeto foram bem-sucedidas, visto que o estudo e a execução dessas mudanças confirmam as previsões e a prática das adaptações, fornecidas como referência para futuras modificações em veículos de mesmo porte e características.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6143: Pastilha do Freio a Disco - Determinação do atrito e desgaste através da bancada de ensaio Krauss. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 7 p.

AUTO CENTER LUCIANO. Como funciona o carburador e quais os modelos. <https://autocenterluciano.com.br/blog/como-funciona-o-carburador-e-quais-os-modelos/#:~:text=Tipos%20de%20Carburadores,-Vamos%20separar%20em&text=Quanto%20ao%20carburador%20comum%2C%20podemos,carburador%20duplo%20possui%20dois%20venturis>. Acesso em: novembro de 2024.

AUTOFITT. A linha de inspeção de veículos Screen-TestLine 7000 - <http://www.autofitt.hu/index.php?fo=kiirat&lekid=74&valt=2>, Sopron, Hungria, 2011.

BAUER, H., "Conventional and Eletronic Braking Systems", 3° Ed, 2003.
TIROVIC, M., Todorovic, J., 1988, Flexural Effects in Comercial Vehicles Disc Brake Pads, C455/88, IMechE.

BRAKE COLLOQUIUM, 2003, Gramado, Rs. Ferros Fundidos Empregados para Discos e Tambores de Freio. Gramado, Rs: Udesc, 2003. 6 p.

BREZOLIN, A., 2007, Estudo de Geração de Trincas em Discos de Freios de Veículos Comerciais, Tese de mestrado, Universidade de Caxias do Sul.

BRUNETTI, FRANCO, 2012, Motores de Combustão Interna. Volume 1. São Paulo: Blucher.

CANAL DA PEÇA. Entenda mais sobre o funcionamento do carburador! <https://www.canaldapeca.com.br/blog/carburador-entenda-tudo/>. Acesso em: novembro de 2024.

CANAL DA PEÇA. Qual é a Diferença Entre Discos de Freio? <https://www.canaldapeca.com.br/blog/diferenca-entre-discos-de-freio/>. Acesso em: novembro de 2024.

CARROS NA WEB. Carburadores. <https://www.carrosnaweb.com.br/carburadores.asp>. Acesso em: novembro de 2024.

CARROS NA WEB. Comparativo - Gol CI 1.8 e Gol GTI 2.0 - <https://www.carrosnaweb.com.br/resultcompara.asp?token=312613e47b496133ad04e528148b9506&modelos=12542-9616>. Acesso em: 25 de maio de 2025.

COBREQ - Catálogo de Produtos Linha Leve 2022. <https://cobreq.com.br/wp-content/uploads/2024/02/Catalogo-Linha-Leve-2023.pdf>. Acesso em: 25 de maio de 2025.

COMBREK. Discos de freio dianteira Mercedes Benz classe B B180 B200 2012 até 2018 Pista Furada- <https://www.combrek.com.br/disco-de-freio/disco-de-freio-dianteira-mercedes-benz-classe-b-b180-b200-2012-ate-2018-pista-furada-prod.html>. Acesso em: 25 de maio de 2025.

COMBREK. Discos de Freio Dianteira Peugeot 308 1.6 e 2.0 - <https://www.combrek.com.br/disco-de-freio/disco-de-freio-dianteira-peugeot-308-1-6-e-2-43-prod.html>. Acesso em: 25 de maio de 2025.

COMBREK. Discos de freio Dianteira Renault Kwid 2017 até 2019 - <https://www.combrek.com.br/disco-de-freio/disco-de-freio-dianteira-renault-kwid-2017-ate-2019-prod.html>. Acesso em: 25 de maio de 2025.

COSTA, P.G., A Bíblia do Carro, versão digital, 2012

DYNOTECH – Tecnologia avançada em medições. Dynotech 450i. <https://www.dynotechpower.com/produtos/dynotech-450i>. Santa Tereza do Oeste, PR, 2018.

ERIKSSON, M., 2000, Friction and Contact Phenomena of Disc Brakes related to Squeal, Thesis, Acta Universitatis Upsaliensis, Uppsala.

FRAS-LE – Pastilhas de Freio CERAMAXX. <https://www.fras-le.com/pt/produtos/pastilha-de-freio-ceramaxx/>. Acesso em: 25 de maio de 2025.

FRAS-LE. Sistemas de freio: um guia completo para os motoristas. <https://blog.fras-le.com/sistema-de-freio/>. 2023.

GENTA, G., 2000, Meccanicadell' Autoveicolo, Levrotto&Bella, Torino – Itália.

GERHARD, WAGNER, 2001 - Application of Transmission Systems for Different Driveline Configurations in Passenger, Saarbrücken, Germany.

G8 MOTOSPORT. Coletor de escape: guia definitivo para garantir máxima performance do sistema de exaustão. <https://g8motorsport.com.br/coletor-de-escape-guia-definitivo-para-garantir-maxima-performance-do-sistema-de-exaustao/#:~:text=O%20coletor%20de%20escape%204%C3%971%20%C3%A9%2>

Um%20tipo,otimizar%20o%20desempenho%20do%20motor. Acesso em: novembro de 2024.

HELMAN, H.; CETLIN, P. R. Fundamentos da conformação mecânica dos metais. Ed. Artliber, 2015.

HEYWOOD, John B. Internal combustion engines fundamentals. 1. ed. [United States of America]: McGraw-Hill Education, 1988.

INFANTINI, M.B., 2008, Variáveis de Desempenho dos Sistemas de Freio, Dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LIMPERT, Rudolf. Brake Design and Safety. Warrendale, Pa, Usa: Sae International, 2011.

LOMBRILLER, S. F., 2002, Análise térmica e dinâmica do sistema de freio a disco de veículos comerciais pesados. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia São Carlos, Universidade de São Paulo.

MACH FREIOS. Discos de Freio Dianteiro Frisado Esportivo GM Astra Vectra 5 Furos- <https://machfreios.com.br/disco-de-freio-dianteiro-frisado-slotado-perfurado-esportivo-gm-chevrolet-5-furos-hf25a-288-mm-ventilado>. Acesso em: 25 de maio de 2025.

MARTINS, Jorge. Motores de combustão interna. 2. ed. Porto, Portugal: Publindústria, Produção de Comunicação, Lda, 2006.

MATOZO, L.T., "Estudo da relação entre propriedades de compósitos de fricção aplicados a sistemas de freio a disco e a propensão à ocorrência de squeal noise". Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p.80. 2012.

MERCEDES BENZ DO BRASIL. Apostila de treinamento técnico: matemática e metrologia. Impresso. 2006.

NEIS, P.D.; "Projeto e Construção de um Tribômetro para Estudos Relacionados a Materiais de Fricção Veiculares", Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: 2008.

NEUMAN, R.F. Urban, J.A, Mcninch J.H., 1983, Performance Characterzation of Dry Friction Materials, In: Braking of Road Vehicles. London: Mechanical Engineering Publicantions Ltd, 233- 238, [I. Mech, E. Conference Publications].

SANTOS, Gustavo Carvalho Martins dos. PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE FREIOS APLICADO A UM VEÍCULO FÓRMULA SAE. 2014. 150 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

SAGA PEUGEOT. Pistões do motor – Entenda como funciona e a importância da manutenção. <https://www.sagapeugeot.com.br/blog/pist%C3%B5es-do-motor--entenda-como-funciona-e-a-importancia-da-manutencao>. Acesso em: novembro de 2024.

SAGA TOYOTA. Comando de válvulas: Entenda sua função e importância. <https://www.sagatoyota.com.br/blog/comando-de-valvulas-entenda-sua-funcao-e-importancia>. Acesso em: novembro de 2024

SILVA, D.T., 2007, Determinação do Fluxo de Calor entre Pastilhas e Disco de Freio Durante um Intervalo de Frenagem, Monografia, Escola de Engenharia Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SOUZA, Juliana Nazaré Alves. *Escrita científica*. São Paulo: Centro Paula Souza, 2025.

THOMAS D. GILLESPIE, 2021, SAE International Fundamentals of Vehicle Dynamics - Revised Edition, Warrendale, PA 15096-0001 USA.

VARELLA, Carlos Alberto Alves. Estimativa da potência dos motores de combustão interna. Rio de Janeiro: UFRRJ, Instituto de Tecnologia-Departamento de Engenharia Área de Máquinas e Mecanização Agrícola, 2013. 35 slides. Apresentação em Power Point. Disponível em: < [http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/apresenta/estimativa da potência dos motores.pdf](http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/apresenta/estimativa%20da%20pot%C3%AAncia%20dos%20motores.pdf) >. Acesso em: 05 mai. 2016, 16:44.

VOLKSWAGEN. Concessionária Autopeças Volkswagen: pinça de freio vw 5u0615105d. Pinça de Freio VW 5U0615105D. 2025. Disponível em: <https://pecas.vw.com.br/produto/pinca-de-freio-vw-5u0615105d-5u0615105d/9973>. Acesso em: 17 maio 2025.