



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



LUIZ FELIPE REZENDE CLAVERY

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA MECÂNICO NA BUSCA PELA
MELHORIA DE DESEMPENHO DE MOTORES À COMBUSTÃO
INTERNA EM CARROS *FLEX***

**OURO PRETO - MG
2023**

LUIZ FELIPE REZENDE CLAVERY

luiz.clavery@aluno.ufop.edu.br

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA MECÂNICO NA BUSCA PELA
MELHORA DE DESEMPENHO DE MOTORES À COMBUSTÃO
INTERNA EM CARROS FLEX**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Professor orientador: Dr. Diogo Antônio de Sousa

**OURO PRETO – MG
2023**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C617d Clavery, Luiz Felipe Rezende.
Desenvolvimento de sistema mecânico na busca pela melhoria de desempenho de motores à combustão interna em carros flex. [manuscrito] / Luiz Felipe Rezende Clavery. Luiz Felipe Rezende Clavery. - 2023.
31 f.: il.: color., tab..

Orientador: Prof. Dr. Diogo Antônio Sousa.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Veículos. 2. Motores de combustão interna - Taxa de compressão. 3. Veículos a motor - Veículo de combustível duplo. 4. Petróleo como combustível. 5. Álcool como combustível. I. Clavery, Luiz Felipe Rezende. II. Sousa, Diogo Antônio. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Luiz Felipe Rezende Clavery

Desenvolvimento de sistema mecânico na busca pela melhoria de desempenho de motores à combustão interna em carros flex

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico

Aprovada em 22 de agosto de 2023

Membros da banca

DSc. Diogo Antônio de Sousa - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
DSc. Cláudio Márcio Santana (Universidade Federal de Ouro Preto)
DSc. Washington Luis Vieira da Silva (Universidade Federal de Ouro Preto)

Diogo Antônio de Sousa, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 29/08/2023



Documento assinado eletronicamente por **Diogo Antonio de Sousa, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 29/08/2023, às 15:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0582664** e o código CRC **04A27A2B**.

Dedico mais esta etapa vencida aos meus pais, às minhas irmãs e irmãos e à minha família.

Dedico também a minha República Sinagoga e todos que me acompanharam durante esses anos em que estive aqui.

AGRADECIMENTO

Essa foi uma jornada absurda que eu vivi, e parte da jornada é o fim. Se cheguei até aqui foi graças às pessoas que me ajudaram nesse caminho e é a elas que quero agradecer. Primeiramente e principalmente gostaria de agradecer a minha mãe Rosana e meu pai Luiz, vocês são o meu maior orgulho, minha maior fonte de inspiração e motivação, sem vocês eu jamais teria chegado até aqui, espero do fundo do coração que vocês saibam o tanto que eu amo vocês! Também quero agradecer às minhas irmãs Simone e Vanessa, obrigado por sempre estarem presente, seja nos momentos bons ou ruins eu sempre sei que posso contar com vocês! Quero agradecer aos meus irmãos André e Gabriel também que mesmo não sendo de sangue foram sempre minha maior companhia e meus melhores amigos, não tem ninguém que eu preferiria mais passar o tempo! Agradeço também à toda a minha família que sempre me apoiou e me aconselhou para que eu sempre pudesse tomar as melhores decisões, sem todos vocês não teria chegado onde estou hoje!

À Escola de Minas pelo ensino público de qualidade e ao Prof. Diogo pela orientação de qualidade. À Andrade e a todos que conheci por lá e que tanto me ensinaram e ainda ensinam.

Agora sobre quem esteve comigo nesses últimos seis anos de Ouro Preto, gostaria de agradecer primeiramente ao Teko, um irmão que eu fiz aqui e que vou sempre considerar como um, gostaria de agradecer também aos meus irmãos 18.1 que por mais que sejam muito doidos, eu também sou, então são com quem eu quero estar: Jabulani, Dobby, DK, Mico, Duracell, Leproso, Geléia, 100Pai, Negão, Refri, Goleiro, Bag, Afronta, Bananera, Jaymin e Jacu. E gostaria de agradecer também aos amigos que fiz durante esses anos e que são pessoas que vou levar pra vida inteira, vocês são foda demais: Avery, Telazúl, Japa, Tuca, Imbecil, 3 Minutos, Pit, Vitu, Indeciso, Anomalia, Devs, Korsinha, Sidnet, Hit, Poma, Yule, Brasa, F2, Barsa, Mega, Artilheira, Tevê, Murta, Samuel, Tadeu, Carlos, Guidão, Matheus e Rodrigo.

Por fim quero agradecer à melhor decisão da minha vida, onde eu vivi sessenta anos em seis e onde pude aprender o que é viver de verdade, à minha querida mansão SINAGOGA!! E a todos com quem tive a oportunidade de morar e conviver durante todos esses anos, vocês são os mais importantes de todos esses anos aqui: Foia, Mascherânus, Tolosco, Narelha, Eddiota, Beluga, Beiçola, Jumba, Pebá, Páxupá, Leléó, Diana e calouros.

LOUVEMOS SINAGOGA!

“O sonho das pessoas nunca morrerá! Existem três coisas que não podem ser interrompidas: o sonho dos homens, o fluxo do tempo e a vontade herdada, enquanto as pessoas continuarem buscando o sentido da liberdade tudo isso jamais deixará de existir”.

Eiichiro Oda

RESUMO

Ao observar a sociedade atualmente, fica nítido como em geral a população vem se tornando cada vez mais sustentável e preocupada com o meio ambiente em geral, mas também uma sociedade mais exigente, que demanda por produtos mais eficientes e modernos. Dentro desse contexto, encontram-se os carros flex, utilizados em larga escala nos dias atuais, e que demonstram uma evidente capacidade de melhora no seu desempenho, uma vez que, pelo seu funcionamento, este não consegue tirar o máximo proveito das características de seus dois combustíveis, sendo estas o melhor desempenho apresentado pela gasolina e a maior potência demonstrada pelo etanol. Sendo assim, o estudo tem como objetivo desenvolver um sistema mecânico de forma a melhorar o desempenho de motores flex de combustão interna verificando sua aplicabilidade e efetividade junto ao desenvolvimento de um mecanismo para variar a taxa de compressão do motor conforme o combustível presente. Para tal, foi pensado um modelo de biela que poderia variar de comprimento de acordo com o combustível presente na câmara de combustão. Essa variação seria realizada por meio de um cilindro hidráulico que substituiria o parafuso de fixação entre a biela e a tapa da biela, gerando um aumento da taxa de compressão quando o motor estivesse utilizando etanol. Este modelo de componente foi modelado e simulado em computador de forma a verificar sua aplicabilidade e eficiência, tendo seus resultados apresentados considerados satisfatórios para a execução, porém ainda com margem para melhorias dimensionais e estruturais. Contudo, para que o sistema tivesse sua eficiência maximizada, foi necessário desenvolver uma forma para que os combustíveis estivessem presentes de forma isolada na câmara. Desta forma, foi pensado num modelo de veículo que trabalharia com dois tanques de combustível, um para gasolina e um para etanol, de maneira que, através de um torquímetro ligado a caixa de transmissão, quando o carro necessitasse de mais potência, a bomba de etanol seria acionada, enquanto que, ao necessitar de mais eficiência, a bomba de gasolina seria acionada. O modelo se mostrou uma base promissora para futuros experimentos, ao relacionar um meio para que o veículo consiga aproveitar o melhor de cada combustível variando a taxa de compressão do motor, gerando assim um veículo mais potente e eficiente.

Palavras-chave: Veículos; Gasolina; Etanol; Taxa de Compressão; Carros *Flex*.

ABSTRACT

When observing society today, it becomes clear that the population, in general, is becoming increasingly sustainable and environmentally conscious. However, it's also a more demanding society that seeks more efficient and modern products. Within this context, we find flex-fuel cars, which are widely used nowadays and demonstrate a clear potential for improvement in their performance. Due to their operation, they are not able to fully utilize the characteristics of their two fuels, namely the better performance offered by gasoline and the greater power demonstrated by ethanol. Therefore, the study aims to develop a mechanical system to enhance the performance of flex-fuel internal combustion engines by examining its applicability and effectiveness in conjunction with the development of a mechanism to vary the engine's compression ratio based on the present fuel. For this purpose, a connecting rod model was devised that could change its length according to the fuel present in the combustion chamber. This variation would be achieved through a hydraulic cylinder replacing the connecting rod bolt, leading to an increased compression ratio when the engine was running on ethanol. This component model was computer-modeled and simulated to verify its applicability and efficiency, with the obtained results considered satisfactory for implementation but still with room for dimensional and structural improvements. However, in order to maximize the system's efficiency, a way for the fuels to be present separately in the chamber was required. Thus, a vehicle model was conceived that would operate with two fuel tanks, one for gasoline and one for ethanol. Through a torque converter linked to the transmission box, when the car needed more power, the ethanol pump would be activated, while requiring more efficiency would activate the gasoline pump. The model proved to be a promising foundation for future experiments, by providing a means for the vehicle to make the most of each fuel by varying the engine's compression ratio, thereby generating a more powerful and efficient vehicle.

Keywords: Vehicles; Gasoline; Ethanol; Compression Ratio; Flex-Fuel Cars.

LISTA DE SIMBOLOS

σ – Torque

F – Força

d – Curso do Pistão

LISTA DE FIGURAS

1. Comparação entre os ciclos teórico e real em um motor de ignição comandada
2. Motor alternativa a Quatro Tempos
3. Tempos do Motor x Posição dos Cilindros
4. Componentes de uma Caixa de Marcha
5. Comparação das Taxas de Compressão nas Montadoras no Brasil
6. Fluxograma de Materiais e Métodos
7. Corpo e Tapa da Biela
8. Cilindro Hidráulico Vista Direita e Seccionada
9. Variação de Biela: Taxa de Compressão Gasolina x Etanol
10. Trava do Eixo do Virabrequim
11. Simulação de Carga de Corpo do Cilindro
12. Simulação de Carga da Trava do Eixo do Virabrequim
13. Projeto de dois tanques de combustível
14. Sistema de acionamento por torque

LISTA DE TABELAS

1. Octanagem de alguns combustíveis no Brasil
2. Variáveis dos carros flex e seus indicadores

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	2
1.3	Objetivos.....	2
1.3.1	Geral	2
1.3.2	Específicos.....	3
1.4	Estrutura do Trabalho	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	Motores de Combustão Interna.....	4
2.1.1	Ciclo Otto	4
2.1.2	Motores Quatro Tempos.....	6
2.2	Caixa de Transmissão	8
2.2.1	Relação Torque x Velocidade.....	8
2.3	Combustíveis	10
2.3.1	Gasolina.....	10
2.3.2	Etanol.....	11
2.3.3	Taxa de Compressão.....	11
3	METODOLOGIA.....	14
3.1	Tipos de Pesquisa	14
3.2	Materiais e Métodos	15
3.3	Variáveis e Indicadores	16
3.4	Instrumento de Coleta de dados.....	17
3.5	Tabulação de Dados.....	17
3.6	Considerações Finais	17
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	19
4.1	Componente para Variação da Taxa de Compressão	19
4.2	Simulação dos Componentes.....	22
4.3	Variação de Combustível na Câmara.....	24
5	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	27
5.1	Conclusão.....	27

5.2 Recomendações.....	28
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	30

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

O crescente desenvolvimento de novas tecnologias associada à necessidade de adaptação a uma sociedade cada vez mais sustentável e preocupada com o meio ambiente, vem gerando uma constante demanda por veículos mais econômicos, que ao mesmo tempo proporcionem as mesmas capacidades energéticas dos atuais. Sendo assim, uma vez que o capitalismo e o consumo de combustíveis fósseis ainda prevalecem ao redor do mundo, cabe à indústria automobilística adaptar-se, ou seja, atuar em problemas existentes nas próprias estruturais funcionais dos veículos atuais (GOLDESTEIN, 2006).

No contexto da utilização de gasolina e etanol, através de estudos realizados, é possível afirmar que a queima de etanol em motores de combustão interna gera maior potência do que quando comparado à gasolina, entretanto, o consumo do combustível proveniente da cana-de-açúcar é demasiadamente maior, sendo assim, a gasolina é mais econômica do que o etanol quando se trata de consumo, porém não apresenta a mesma eficiência energética, além de não ser cabível afirmar que é mais econômico financeiramente, uma vez que, mesmo com menor consumo, a diferença de preço entre os dois combustíveis é geralmente expressiva e muito variável (RODRIGUES, 2017).

Também de acordo com Rodrigues (2017), por conta do alto uso de tecnologia e custos elevados, a taxa de compressão do motor é constante, dessa forma fazendo com que os combustíveis trabalhem em uma faixa que não seria considerada de ótimo funcionamento, não aproveitando ao máximo suas características e reduzindo a eficiência do motor.

O estudo busca desenvolver um método para que os carros *flex* possam ter um melhor desempenho, visando usufruir da potência fornecida pelo etanol juntamente à economia gerada pela gasolina. Associado a tal método será implementado um possível sistema para que a taxa de compressão varie de acordo com o combustível presente na câmara de combustão.

De acordo com a problemática apresentada acima evidencia-se a seguinte pergunta:

Como fazer com que os carros *flex* possam tirar mais proveito da gasolina e do etanol, gerando assim mais potência e eficiência nos motores de combustão interna de forma que seja alterada a taxa de compressão do motor a depender do combustível presente na câmara de combustão?

1.2 Justificativa

A indústria automobilística desempenha um papel de importância na sociedade, tanto no Brasil quanto no mundo, uma vez que, os diversos setores da economia se encontram interligados à mobilidade, seja de produtos ou de pessoas (VARGAS, 2019).

Segundo Leguiça (2021), grande parte dessa relação se deve à grande globalização e adaptação urbana voltada para o transporte nas últimas décadas, indo desde à construção de extensas rodovias em todo o território mundial até a criação de leis e políticas de incentivo à produção de automóveis.

De acordo com a última pesquisa realizada pela Organização Internacional da Indústria Automobilística - OICA (2021), o Brasil encontra-se atualmente na oitava posição com relação à produção mundial de veículos, com uma produção total de 2248253 automóveis no ano de 2021. Outro relevante dado apresentado pela OICA (2021) se deve à emissão de gases de efeito estufa pelo setor automobilístico, sendo este responsável por aproximadamente 16% de toda a emissão de gases CO₂ geradas pelo homem, o que demonstra o impacto que os combustíveis e a queima destes no processo de funcionamento dos motores causam no meio ambiente.

Logo, esta pesquisa irá buscar benefícios no âmbito científico quando se trata de melhorar a eficiência dos motores, modificando o sistema de funcionamento dos mesmos, visando tirar proveito das principais características de cada combustível. Ao mesmo tempo pretende-se causar impactos econômicos na sociedade, pois ao realizar um melhor controle no uso da gasolina e do etanol espera-se que haja uma redução no consumo de ambos, o que consequentemente também levará à redução de emissão de gases de efeito estufa no meio ambiente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Desenvolver um sistema de forma a melhorar o desempenho dos motores *flex* de combustão interna verificando sua aplicabilidade e efetividade junto ao desenvolvimento de um sistema de variação da taxa de compressão do motor.

1.3.2 Específicos

- Realizar um estudo teórico sobre o princípio de funcionamento envolvendo motores de combustão interna, caixa de transmissão, combustíveis e demais componentes;
- Criar metodologia a ser aplicada ao projeto que será desenvolvido, indicando suas formas de pesquisa, as variáveis envolvidas, formas de coleta e tabulação de dados;
- Modelar mecanismo visando variar taxa de compressão no motor;
- Avaliar a resistência mecânica dos componentes do mecanismo utilizando o *software SolidWorks* durante processo de combustão para verificar aplicabilidade e possíveis correções;
- Modelar um sistema eletro mecânico para alterar a distribuição de combustível durante o funcionamento do motor;

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta a formulação do problema juntamente a justificativa, os objetivos gerais e específicos para a formulação deste trabalho. O segundo capítulo trata-se da fundamentação teórica, onde está contida a base teórica para o desenvolvimento de uma solução, aplicação e resolução do problema, envolvendo o baixo rendimento de combustíveis em motores de combustão interna em carros *flex*. O terceiro capítulo trata-se da metodologia aplicada ao trabalho, o desenvolvimento e simulação de mecanismos capazes de otimizar as características individuais de cada combustível associado à variação da taxa de compressão, visando assim, obter dados de aplicabilidade e de comparação de desempenho. O Capítulo quatro apresenta os resultados do trabalho desenvolvido, destacando os dados obtidos, de forma a evidenciar o sistema mecânico mais eficiente. O capítulo cinco apresenta as conclusões a respeito das simulações realizadas, da aplicabilidade e da comparação de dados entre os sistemas mecânicos de forma a otimizar o desempenho da Gasolina e do Etanol nos motores *flex* atuais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são abordadas as bases teóricas para a realização do estudo, sendo explicitados os conceitos de motores de combustão interna e seu funcionamento, os conceitos de queima de diferentes combustíveis e uma abordagem histórica relacionada à adaptação para com a realidade de mercado e ambiental.

2.1 Motores de Combustão Interna

Desde o surgimento dos motores de combustão interna em 1876, segundo Neto (2017), o motor à combustão interna vem sofrendo melhorias e adaptações juntamente à evolução da sociedade, desde à introdução de novas peças e combustíveis até mudanças envolvendo todo o seu mecanismo de funcionamento, sendo essas adaptações provenientes principalmente da crescente preocupação da população com relação aos danos causados ao meio ambiente, ao mesmo tempo em que os mesmos demandam por mais eficiência e potência em seus motores.

Entretanto, mesmo com as diversas mudanças que foram realizadas ao longo dos anos, o conceito de funcionamento permanece o mesmo, seguindo a visão de Ribeiro (2013, p.17), o motor de combustão interna se define como “uma máquina térmica que transforma a energia gerada pela queima do combustível no interior da câmara de combustão em energia mecânica útil”.

O motor à combustão interna possui diversas formas de trabalhar, como ciclos de operação diferentes ou quanto à propriedade do combustível. Essas diferenças geram impactos nas características do veículo, como no consumo de diferentes combustíveis, no desempenho que cada motor apresenta ou até mesmo na maior potência que alguns motores como os esportivos demonstram (MARTINS, 2006).

2.1.1 Ciclo Otto

Segundo Taylor (1988), o funcionamento de motores de combustão interna pode ser dividido em ciclos diferentes, sendo estes conhecidos o Ciclo Otto e Ciclo Diesel.

Mecanicamente não existem grandes diferenças entre os dois ciclos, porém podem ser observadas diferenças na introdução do combustível, onde no ciclo otto este será injetado de

forma previamente homogeneizada, enquanto que no ciclo diesel o combustível é injetado à alta pressão já minimamente pulverizado para se misturar no oxigênio, este último impede que o motor trabalhe em altas rotações, pois será muito difícil para que ocorra a mistura ar-combustível, além disso outras diferenças observadas estão na ignição que ocorre por faísca e menor taxa de compressão no ciclo Otto, enquanto que no ciclo diesel ocorre a autoignição, logo espera-se que a taxa de compressão seja mais alta (BRUNETTI, 2018).

O ciclo Otto real de um motor a combustão interna ocorre através de uma alteração nos valores de pressão e volume do combustível presente na câmara como pode ser observado na figura 1.

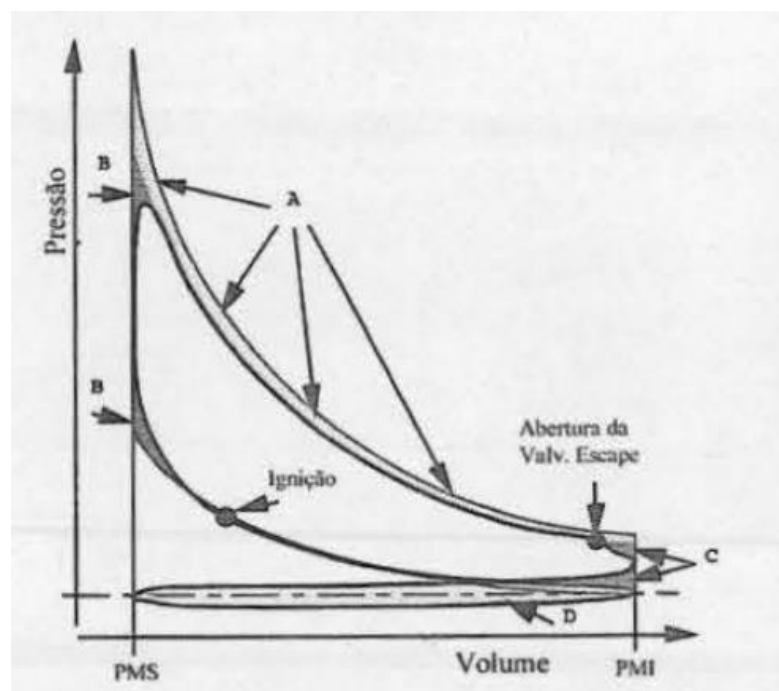


Figura 1 – Comparação entre os ciclos teórico e real num motor de ignição comandada
Fonte: Martins (2006)

Conforme pode ser observado na figura 1, o ciclo Otto teórico se divide em quatro transformações termodinâmicas, sendo duas delas adiabáticas e duas isocóricas, havendo o aumento da taxa de compressão quando há aumento de pressão e redução de volume, entretanto, o ciclo real demonstra que as transformações físicas e químicas que ocorrem na câmara de combustão são mais complexas e de difícil análise quantitativa, logo para a realização de cálculos e determinações, utilizam-se hipóteses de características dos combustíveis para aproximar o ciclo real do teórico, (MARTINS, 2006).

2.1.2 Motores Quatro Tempos

Os motores de combustão interna também podem ser classificados quanto à sua rotação, ou seja, quantas vezes e de que forma o sistema formado pelo pistão e pelo virabrequim irá rotacionar de forma a gerar a queima do combustível (TAYLOR, 1988).

Dentre as formas mais conhecidas de rotação estão a dos motores dois tempos e dos motores quatro tempos, entretanto, segundo Brunetti (2018), nos motores dois tempos ocorre a mistura entre combustível e lubrificante durante o processo de queima, o que além de prejudicar o motor, faz com que os poluentes emitidos sejam mais nocivos ao meio ambiente.

Uma característica que existe em comum entre esses dois tipos de motores é evidenciada na figura 2 no que se refere à movimentação do pistão, uma vez que, este geralmente realiza somente movimentos verticais, podendo assim classificar os dois pontos principais em que o pistão se encontra como Ponto Morto Superior ou PMS, que é quando o pistão se encontra no seu ponto mais alto durante a queima de combustível, e Ponto Morto Inferior ou PMI, que é quando o pistão se encontra no seu ponto mais baixo verticalmente durante o funcionamento do motor.

Com relação ao motor quatro tempos, pela visão de Neto (2017, p.20), “os motores quatro tempos são aqueles que o pistão percorre o cilindro do PMI ao PMS quatro vezes, ou seja, duas voltas do eixo.” Com isso é possível concluir que o funcionamento do motor quatro tempos dentro da câmara de combustão pode ser dividido em quatro etapas, assim como demonstrado na figura 2.

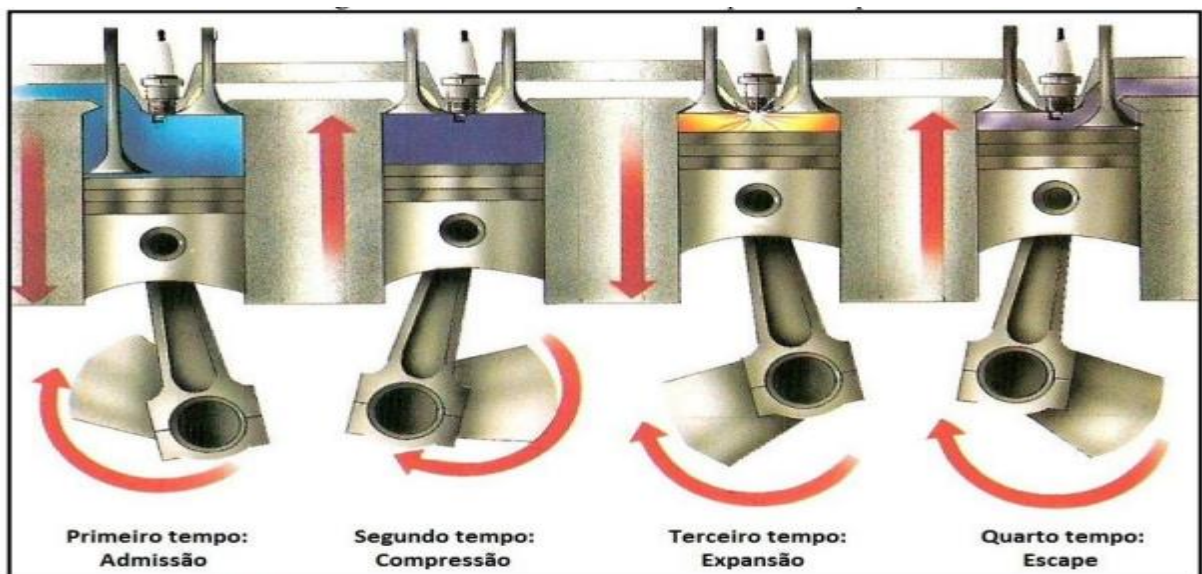


Figura 2 – Motor Alternativo a Quatro Tempos

Fonte: Sorgato apud adaptado de Tabuenca (1996)

Conforme é possível visualizar na figura 2, o motor quatro tempos se refere ao posicionamento do pistão de acordo com a queima de combustível dentro da câmara de combustão.

Segundo Brunetti (2018), os quatro tempos do motor podem ser descritos da seguinte forma:

- Admissão: é a primeira etapa, quando o pistão irá se movimentar para o PMI, de forma a permitir a entrada da mistura ar-combustível na câmara;
- Compressão: a válvula que permite a entrada da mistura se fecha e o pistão se move do PMI para o PMS, dessa forma o combustível presente na câmara é comprimido;
- Expansão: quando o pistão alcança o PMS máximo de forma que o combustível não sofra autoignição, ocorre então a faísca de ignição da mistura, gerando um grande aumento de pressão, que faz com que o pistão se mova de volta para o PMI;
- Escape: Sendo a última etapa antes do ciclo recomeçar, é quando a válvula de escapamento se abre e o pistão retorna ao PMS, assim liberando os gases provenientes da combustão realizada.

Outro ponto importante como pode ser verificado na figura 3 envolve a movimentação dos pistões dentro do motor, e os tempos de movimentação dos mesmos.

Diagrama de um motor de quatro cilindros mostrando a sequência dos quatro tempos (Admissão, Compressão, Expansão, Escape) para cada cilindro em função do ângulo de giro (α).

	0°	180°	360°	540°	720°
1	Expansão	Escape	Admissão	Compressão	
2	Escape	Admissão	Compressão	Expansão	
3	Compressão	Expansão	Escape	Admissão	
4	Admissão	Compressão	Expansão	Escape	

Tempos do motor

Figura 3 – Tempos do motor x Posição dos Cilindros.

Fonte: Brunetti (2018).

Analisando a figura 3, é possível perceber que cada etapa ocorre em um pistão em um momento diferente dos outros, evitando que o conjunto entre em ressonância, isso ocorre de forma a não gerar vibrações no motor, (BRUNETTI, 2018).

2.2 Caixa de Transmissão

As relações da transmissão segundo Soares (2021, p. 19), “consistem em promover a continuidade do movimento com a multiplicação, diminuição ou permanência do torque de um determinado sistema”.

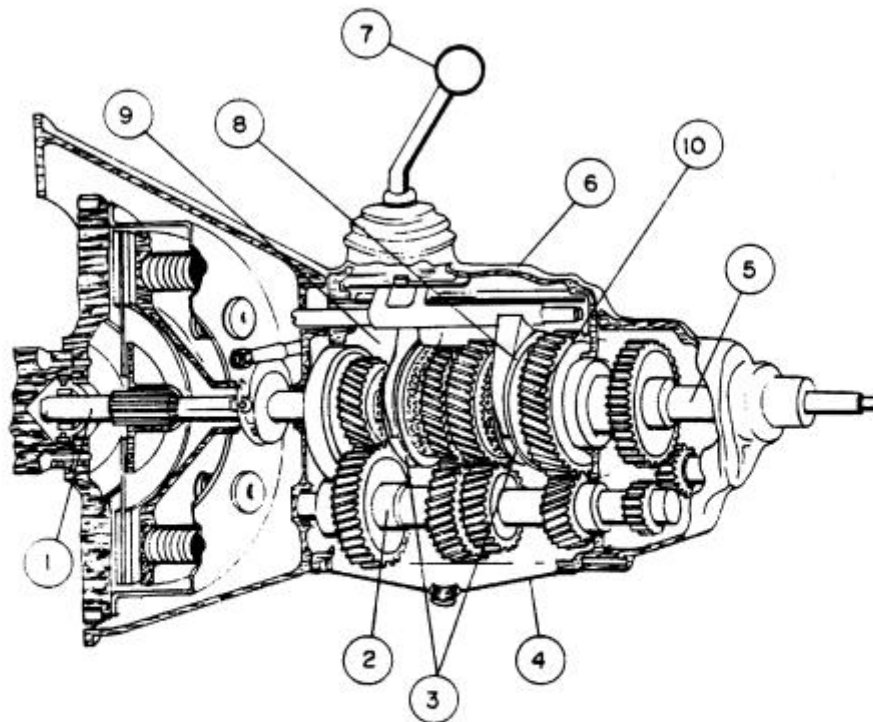
Quando se leva o conceito de transmissão para um sistema mecânico veicular, este será responsável por transferir o torque gerado pelo motor para as rodas, de forma a movimentar o veículo, podendo essa relação de torque e movimento ser realizada de forma a gerar diferentes velocidades (JUNIOR *apud* SENAI, 2016).

2.2.1 Relação Torque x Velocidade

Torque pode ser definido segundo Neto (2017, p.25) como sendo “uma grandeza vetorial definida através da componente perpendicular ao eixo de rotação da força aplicada sobre um objeto, que é efetivamente utilizada para fazê-lo girar”. Logo, o torque fica sendo o parâmetro responsável por fazer o virabrequim girar e transmitir a rotação para as rodas.

Quando os conceitos de torque e velocidade são relacionados, é introduzido então um outro componente do veículo chamado de caixa de marchas, que funcionam através de um conjunto de engrenagens, tendo como objetivo pelas palavras de Calabrez *et al* (2015, p.28), “inverter a direção de rotação, aumentar ou diminuir a velocidade de rotação, transferir o movimento rotatório para um eixo diferente, manter sincronizada a rotação de dois eixos”.

A caixa de marcha como pode ser observado na figura 4, é composta por engrenagens de diferentes tamanhos, podendo ser divididas em engrenagem motora ou movida.



- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| 1. Árvore primária | 6. Tampa da caixa |
| 2. Árvore intermediária | 7. Alavanca de mudanças |
| 3. Conjunto sincronizador | 8. Anel sincronizador |
| 4. Carcaça da caixa | 9. Garfo seletor |
| 5. Árvore secundária | 10. Engrenagens |

Figura 4 – Componentes de uma caixa de marchas

Fonte: EEEP (2014)

Como pode ser visualizado na figura 4, existem dois conjuntos de engrenagens, cada um em sua respectiva árvore, a árvore primária recebe o torque do motor, repassando-o para a árvore intermediária que transmitirá esse torque à árvore secundária que é a responsável por transmitir o torque para o eixo de rodas do veículo (EEEP, 2014).

Cada marcha aciona um conjunto diferente de engrenagens, com o objetivo de fornecer mais força ou velocidade ao veículo, sendo que a primeira marcha tem a função de fornecer muita força ao veículo, mas não tanta velocidade, pois o veículo tem mais dificuldade para sair do repouso do que quando já está em movimento, logo o conjunto de engrenagens será formado pela menor engrenagem da árvore intermediária e pela maior engrenagem da árvore secundária, de forma a fornecer mais torque ao motor. Já da segunda até a quinta marcha, a relação torque e velocidade vai se invertendo, na medida em que o carro vai ganhando mais velocidade e necessitando menos de força, logo a diferença de tamanho entre as engrenagens vai diminuindo conforme se aumenta a marcha. A última

marcha é a de ré, que assim como a primeira necessita de muita força para tirar o veículo do repouso, entretanto esta se utiliza de uma terceira engrenagem para inverter o sentido de rotação (EEEP, 2014).

Uma equação que pode ser utilizada para definir essa relação de engrenagens é a seguinte:

$$I = \frac{\text{Número de dentes da engrenagem movida}}{\text{Número de dentes da engrenagem motora}} \quad (1)$$

Sendo que, quando o número de dentes da engrenagem motora for menor, a relação irá causar redução de velocidade e aumento de torque, enquanto que caso aconteça o contrário a velocidade irá aumentar e o torque irá reduzir (JUNIOR, 2018).

2.3 Combustíveis

Na visão de Neto (2017, p.27), os combustíveis se definem como “qualquer corpo cuja combinação química com outro seja exotérmica, em geral é qualquer substância que reage com o oxigênio produzindo calor”.

Quando se leva esse conceito para o contexto mecânico veicular, os combustíveis tem efeito em diversos parâmetros do veículo, como desempenho, rendimento, emissões e reações de combustão (RODRIGUES *apud* OWEN E COLEY, 2017).

No geral existem alguns combustíveis que são utilizados em veículos atuais, entretanto quando se colocam os carros flex em evidência, os combustíveis mais utilizados são a gasolina e o etanol, tendo ambos os combustíveis uma boa atuação no processo de queima, contudo, cada um desses combustíveis tem suas próprias propriedades como poder calorífico, octanagem e temperatura de ignição (RODRIGUES, 2017).

2.3.1 Gasolina

A gasolina é atualmente o combustível mais predominante em automóveis no Brasil, sendo um derivado do petróleo, esse combustível possui uma união de hidrocarbonetos com centenas de compostos químicos distintos (RODRIGUES, 2017).

No geral. é comum a mistura de uma porcentagem de etanol na gasolina, hoje regulamentada por 25% de etanol anidro e 75% de gasolina pura, sendo assim, esse tipo de gasolina passou a ser denominada de tipo C, (PRUDENTE, 2010).

Quando se trata das propriedades da gasolina em motores de combustão interna, conforme se gera um aumento na rotação do motor, esta apresenta baixos valores de torque, potência e eficiência térmica, porém apresentam consumo específico menor do que os outros combustíveis (CARVALHO, 2011).

2.3.2 Etanol

O etanol é uma composição de álcool, que são basicamente hidrocarbonetos parcialmente oxidados. Em motores de combustão interna, tanto o etanol quanto o metanol são utilizados como combustíveis, sendo que no Brasil o etanol é produzido e utilizado em larga escala (MARTINS, 2006).

No Brasil, segundo Rodrigues (2017), o álcool combustível é produzido de duas formas, sendo elas o álcool etílico anídrico ou AEAC e o álcool etílico hidratado ou AEHC, destacando-se que o primeiro é utilizado na mistura com a gasolina tipo A e a segunda possui uma pequena porcentagem de água em sua mistura.

A produção de etanol brasileiro é significativa por conta da histórica facilidade e extensão de produção de cana-de-açúcar, de onde é possível retirar o etanol (MERLIM *apud* CARVALHO, 2011).

Além disso também há a introdução dos carros que rodam somente com álcool no século XX e a ascensão dos carros *flex*, onde foi possível dar ao consumidor a opção de escolha de combustível e por conta da diferença de preços entre o etanol e a gasolina, gerar uma alta no consumo de etanol (RODRIGUES, 2017).

Com relação às propriedades do etanol, conforme se aumenta a rotação do motor, este apresenta maiores torque e potência, principalmente no AEAC, além de apresentar boa eficiência térmica, contudo, o consumo específico apresentado por este combustível é mais elevado do que os demais (CARVALHO, 2011).

2.3.3 Taxa de Compressão

Segundo Santos (2018), a taxa de compressão pode ser definida como “a expressão utilizada para determinar a razão do volume no interior do cilindro quando o pistão está em ponto morto inferior em comparação com quando ele está em ponto morto superior”. Ou seja, a expressão da taxa de compressão pode ser definida como:

$$RC = \frac{\text{Volume máximo da câmara}}{\text{Volume mínimo da câmara}} \quad (2)$$

No geral, a taxa de compressão pode ser adaptada de forma a favorecer mais algum tipo de combustível, isso pode ser observado na figura 5.

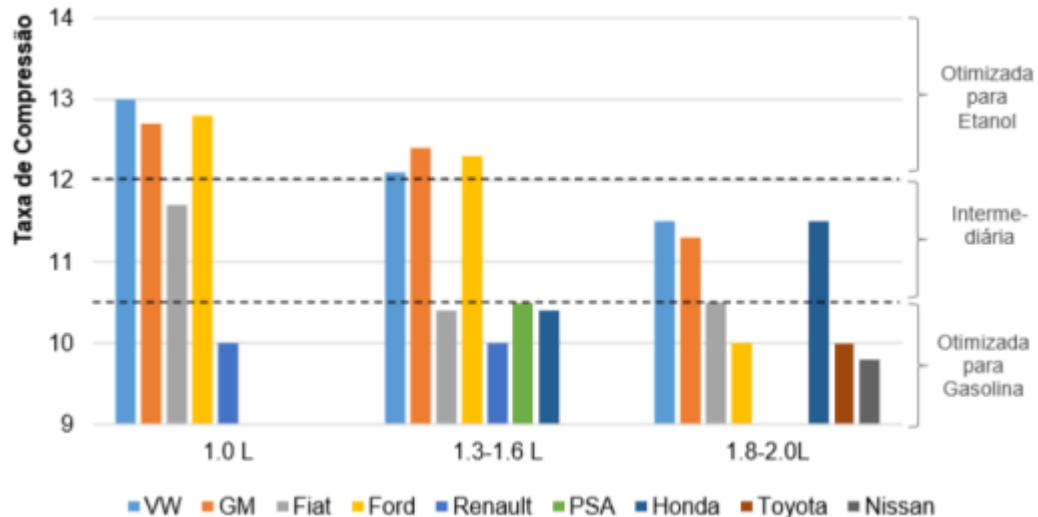


Figura 5 – Comparação das Taxas de Compressão das Montadoras no Brasil.

Fonte: Rodrigues *apud* Nascimento *et al.*, (2010).

Analisando a figura 5, é possível visualizar que cada montadora possui sua própria taxa de compressão a depender da versão do carro e, principalmente, dependendo de qual combustível cada uma tem preferência por dar prioridade.

Quando se analisa a taxa de compressão, é possível afirmar que quanto maior ela for, maior será a eficiência energética do veículo em uma potência específica, pois permite maiores temperaturas na combustão para determinadas quantidades de combustível (SANTOS, 2018).

É possível afirmar pela visão de Martins (2006), que a taxa de compressão está intimamente ligada ao índice de octano, uma vez que é através desse índice que se pode medir a taxa de compressão ideal para cada combustível em determinadas condições, de forma que o mesmo não sofra detonação antes da hora.

Como pode ser observado na tabela 1, cada combustível apresenta um índice de octano diferente, isso devido as propriedades que cada um apresenta.

Tabela 1 – Octanagem de alguns combustíveis no Brasil

	Gasolina Comum	Gasolina Premium	Gasolina Podium	E100
Octanagem (IAD)	87	91	95	105

Fonte: Adaptado de Neto (2017).

Pela tabela 1, é possível afirmar que, o etanol possui octanagem superior à da gasolina, o que significa que, conseqüentemente, possui maior taxa de compressão, logo o etanol irá apresentar maior eficiência energética do que a gasolina durante o processo de combustão.

3 METODOLOGIA

Este capítulo tem por objetivo demonstrar as características dos procedimentos realizados para a pesquisa, e apresentar os materiais e metodologias utilizados de forma a obter e tabular os dados, além de, por fim, apresentar as considerações finais.

3.1 Tipos de Pesquisa

Ao verificar o dicionário de língua portuguesa de 2022 é possível definir o significado de pesquisa como sendo um “conjunto de atividades que tem por finalidade a descoberta de novos conhecimentos no domínio científico, literário, artístico, etc.”

Já segundo Gil (2002), as pesquisas podem ser classificadas em exploratórias, descritivas e explicativas, sendo que, as exploratórias tem como objetivo a análise de variáveis para identificação de problemas e criação de hipóteses para sua resolução, enquanto que, as descritivas visam coletar dados de forma padronizada a fim de gerar um estudo. Por fim, as explicativas visam identificar causas raízes de um determinado acontecimento.

Também é possível dividir a pesquisa entre qualitativa e quantitativa, onde a qualitativa gera uma relação entre o indivíduo e o meio, de forma a avaliar muito mais intensidade do que quantidade. Já a quantitativa visa quantificar dados e números tendo como objetivo gerar análises e classificações (SILVA e MENEZES, 2001).

De acordo com a visão de Gil (2002), a pesquisa bibliográfica é um tipo de investigação que se baseia em fontes teóricas, como livros, artigos científicos, teses e dissertações, a fim de reunir e analisar informações já publicadas sobre um determinado tema. Nesse tipo de pesquisa, busca-se compreender e sintetizar o conhecimento existente, estabelecendo relações entre as diferentes abordagens e teorias encontradas. Já a pesquisa exploratória é um tipo de investigação que visa explorar um tema ou problema pouco conhecido ou estudado, sendo uma etapa inicial do processo de pesquisa. Seu objetivo é formular hipóteses e identificar lacunas de conhecimento, utilizando métodos como revisão de literatura, entrevistas exploratórias e observação informal. Essa modalidade de pesquisa é especialmente útil quando se pretende desenvolver um projeto de pesquisa mais abrangente e detalhado posteriormente.

Assim sendo, de acordo com as definições citadas, este estudo se trata de uma pesquisa exploratória, uma vez que, visa a identificação de problemas envolvendo carros *flex* e busca possíveis soluções para estes problemas. Desta forma também pode ser classificada

como uma pesquisa quantitativa, pois serão analisadas as diferenças gráficas e numéricas de desempenho, potência e consumo na comparação entre as formas de se utilizar o motor de combustão interna para gasolina e etanol. Por fim, este trabalho também pode ser definido como uma pesquisa experimental e bibliográfica, logo, terá as variações dos combustíveis nos automóveis como variáveis de forma a controlar e observar os efeitos dessas mudanças além de utilizar conceitos já estudados e pré-estabelecidos como base para a realização do estudo.

3.2 Materiais e Métodos

Os materiais e métodos a serem utilizados estão demonstrados conforme disposto na figura 6.

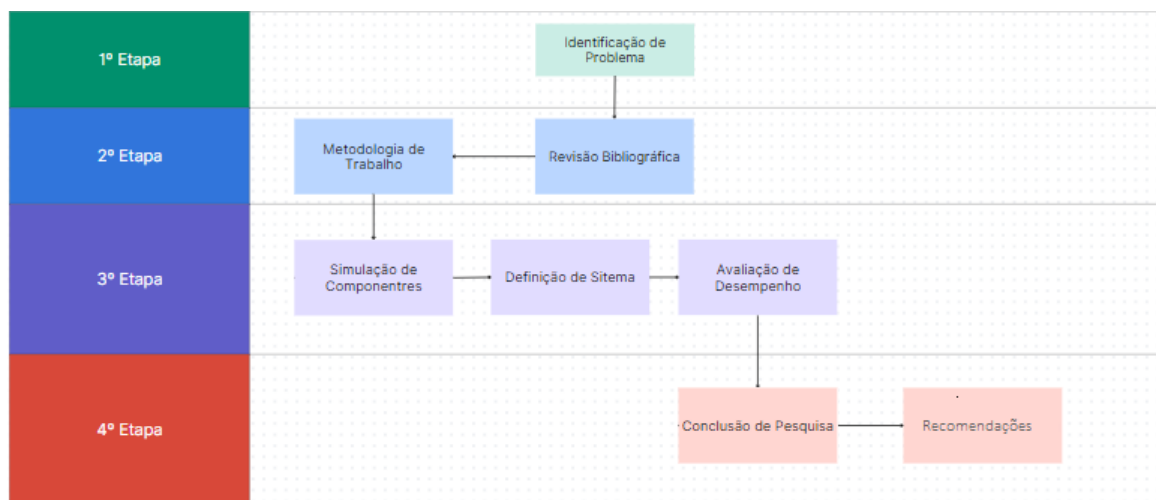


Figura 6 – Fluxograma de Materiais e Métodos

Fonte: Pesquisa Direta (2023)

Como apresentado na figura 6, o estudo tem base na exposição do baixo desempenho dos motores de combustão interna em carros *flex* em estudos prévios, sendo possível identificar a margem de melhora para o desempenho de ambos gasolina e etanol em seus motores.

Para a realização do trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica voltada para os assuntos principais envolvendo o problema exposto, suas possíveis causas e suas hipóteses de melhoria provenientes de estudos já realizados com relação ao assunto a ser tratado.

Na sequência é desenvolvida uma metodologia de trabalho de forma a identificar os pontos de melhora, os aspectos principais e determinar de que forma o estudo irá trabalhar em cima destes pontos.

Durante o desenvolvimento da pesquisa é apresentada a ideia a ser estudada para que seja possível retirar o melhor de cada combustível e de que forma pode-se variar a taxa de compressão associado a isso.

Primeiramente é identificado que o componente da biela pode ter seu tamanho alterado através de um cilindro hidráulico entre o corpo da biela e a tapa da biela, fazendo com que seja possível variar a taxa de compressão.

Para verificar se o sistema é aplicável é necessário avaliar a resistência mecânica dos componentes, de forma a garantir que o mesmo não seria inutilizado pelas próprias forças existentes no sistema.

De forma a variar o combustível na câmara de combustão será preciso utilizar dois tanques de combustível, para que a gasolina e o etanol não se misturem, associado a isso um torquímetro deve estar ligado em ambas as bombas de combustível assim como na caixa de marcha, de forma a realizar o acionamento e desligamento das bombas de acordo com o torque apresentado pelo motor.

Após verificar os resultados apresentados, será possível determinar sua aplicabilidade e chegar às conclusões para com a pesquisa e observar possíveis recomendações para futuros estudos envolvendo o tema abordado.

3.3 Variáveis e Indicadores

Segundo Gil (1999), variáveis são fatores que influenciam diretamente o objeto de estudo em uma pesquisa, podendo demonstrar valores ou especificações determinantes na configuração de diferentes resultados, sendo assim classificadas de acordo com suas características qualitativas ou quantitativas na forma em que se apresentam.

Para Bernardi (2013), indicadores são formas de se determinar a qualidade ou efetividade de um processo visando os objetivos finais do mesmo, utilizando-se de critérios pré-estabelecidos para a geração dos mesmos.

Para análise de variáveis e indicadores pode ser visualizada a tabela 2.

Tabela 2 – Variável dos Carros *Flex* e seus indicadores

Variáveis	Indicadores
Carros <i>Flex</i>	Tanque de Combustível
	Taxa de Compressão
	Curso do Pistão
	Troca de Marchas
	Rotação do Motor
Combustíveis	Torque
	Potência
	Eficiência
	Consumo
	Custo

Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Na tabela 2 é possível observar que quando os carros *flex* são colocados como variável, cinco indicadores se tornam aparentes, sendo eles, o tanque de combustível, uma vez que este realiza a mistura de gasolina e etanol, sendo que, individualmente, cada um apresenta características próprias, a taxa de compressão, que pode ser variada de acordo com o combustível que está sendo utilizado no motor, o curso do pistão que também pode ser alterado para se adaptar ao combustível utilizado, a troca de marchas que apresentam maior ou menor necessidade de torque a depender da marcha utilizada e, por fim, a rotação do motor, que da mesma forma que a marcha pode levar a uma variação na necessidade de torque pelo motor.

Ao verificar a tabela 2, também são apresentados cinco indicadores para a variável dos combustíveis, sendo que, quando analisados a gasolina e o etanol, cada um deles apresenta diferentes valores de torque, potência, consumo e eficiência, a depender da forma como são utilizados e também pelas características que cada um possui. Com relação ao custo, esta se torna um indicador importante, uma vez que, para o motorista, deve haver uma relação entre o valor que cada combustível apresenta e o quão melhor ou pior este demonstra ser em uma determinada situação.

3.4 Instrumento de Coleta de dados

Ao desenvolver a coleta de dados, foram utilizados como meio de obtenção o estudo de análises documentais prévias envolvendo o mesmo assunto, ou seja, registros institucionais que abordassem o funcionamento dos motores de combustão interna, principalmente em

carros *flex*, junto a isso documentos que tratassem de taxa de compressão variável, além de análises comparativas envolvendo a gasolina e o etanol.

3.5 Tabulação de Dados

Para a tabulação de dados foi utilizado o *software* Excel, pois este atenderá bem as necessidades de armazenagem e distribuição gráfica dos dados, sendo estes posteriormente repassados para o software SolidWorks para serem realizadas as simulações.

Posteriormente, o Excel também será responsável por tabular os dados obtidos pelas mudanças propostas já simuladas, de forma que seja possível realizar análises de desempenho através do próprio software.

3.6 Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentadas as ferramentas utilizadas para a concretização desta pesquisa, cujos instrumentos escolhidos, estão de acordo com o objeto proposto na mesma.

No capítulo seguinte, são apresentadas as simulações dos projetos propostos, assim como os resultados das comparações entre os dados prévios e os dados obtidos pelas hipóteses apresentadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Componente para Variação da Taxa de Compressão

A variação da taxa de compressão se torna imprescindível para o bom funcionamento do sistema estudado, logo, foi proposto um sistema que conseguisse aplicar tal efeito ao processo de combustão interna no motor, de forma que, quando o combustível presente na câmara fosse a gasolina, a taxa de compressão fosse menor, enquanto que quando o combustível fosse etanol, essa taxa aumentasse.

Quando são analisados os componentes que influenciam diretamente na taxa de compressão do motor, se torna evidente como que o formato, o movimento e a disposição do conjunto envolvendo o virabrequim, a biela e o pistão são os principais responsáveis por determinar quanto o combustível será comprimido na câmara.

Assim sendo, foi pensado um sistema que alterasse uma dessas propriedades destes componentes. Considerando que a distância entre a cabeça do pistão e o cabeçote devem diminuir de forma a reduzir o volume e aumentar a pressão na câmara de combustão, ficou determinado que o comprimento do conjunto biela e pistão deveria ser variável para causar essas alterações.

Como pode ser observado na figura 7, a biela seria a peça ideal a ser modificada, uma vez que, esta pode ser montada utilizando duas partes separadas.

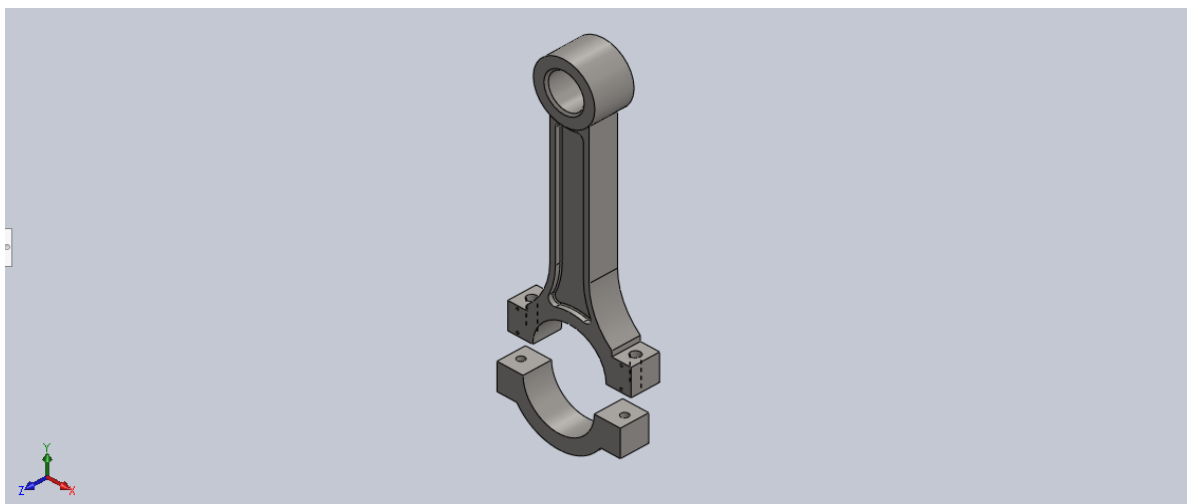


Figura 7 – Corpo e taba da biela

Fonte: Pesquisa direta (2023)

Na figura 7 é possível visualizar as duas partes que representam o conjunto da peça, sendo elas a biela e a tapa da biela, sendo que as mesmas normalmente são fixadas por um parafuso, logo, a mesma pode possuir diferentes comprimentos a depender da distância entre as duas partes, o que demonstra como a peça em questão em conjunto com o virabrequim e o pistão são fundamentais no processo de variação da taxa de compressão.

Contudo, como um parafuso seria algo extremamente difícil de ter seu rosqueamento alterado durante o processo de rotação do motor, o componente de fixação foi alterado por algo que pudesse alterar suas medidas sempre que preciso. Sendo assim, o parafuso foi substituído por um cilindro hidráulico, conforme exibido na figura 8.

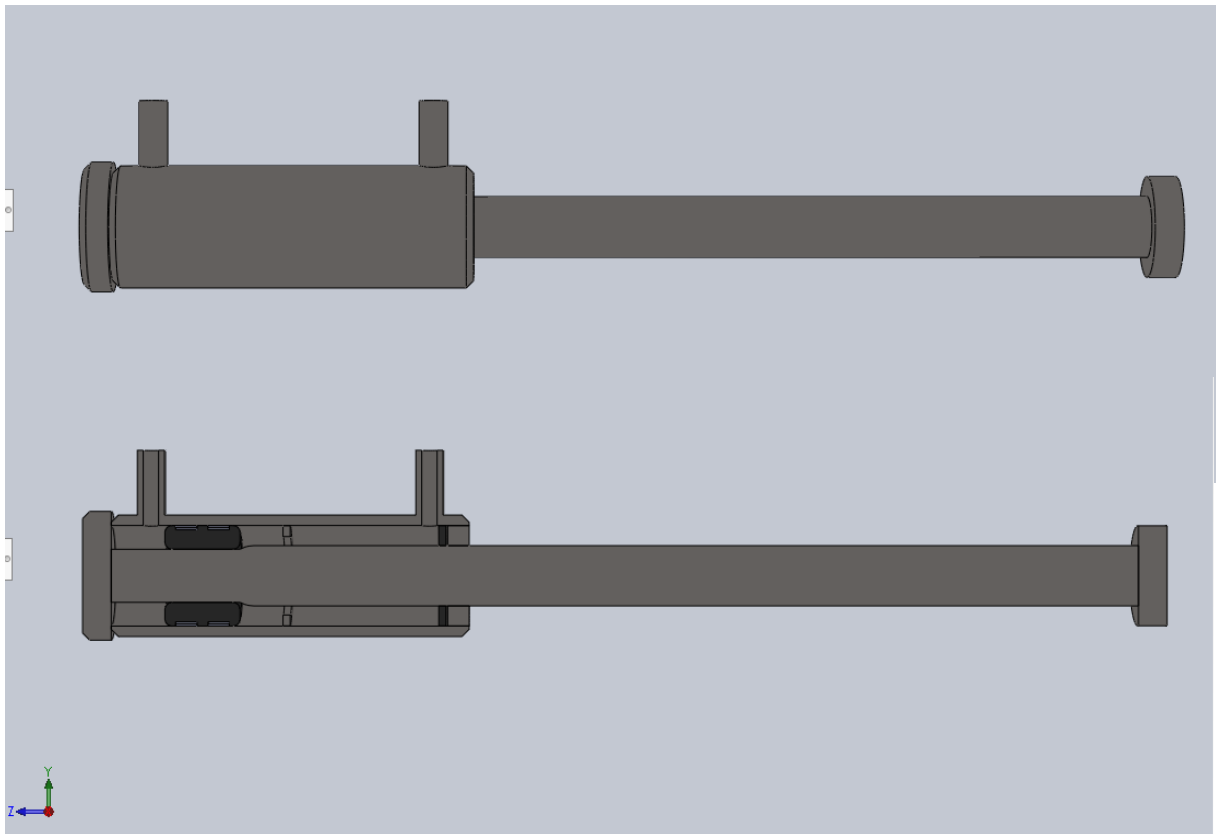


Figura 8 – Cilindro Hidráulico vista direita e seccionada

Fonte: Pesquisa direta (2023)

Observando a figura 8, percebe-se que o cilindro funciona de forma que o óleo é inserido por uma bomba através do orifício esquerdo, gerando a movimentação do êmbolo fixo ao corpo do cilindro, este se movimenta até o anel de travamento do êmbolo, dessa forma o cilindro gera uma expansão de 4mm no comprimento total da biela. Quando o cilindro

precisa retornar ao seu comprimento inicial, o óleo é inserido no orifício direito, forçando o retorno do êmbolo para sua posição original.

Essa variação de 4mm foi pensada considerando a diferença da taxa de compressão dos dois combustíveis obtida através da equação 2, onde enquanto a gasolina possui usualmente uma taxa de compressão de 10:1, o etanol possui uma taxa de compressão de 14:1, logo, é com essa diferença que será possível aproveitar o melhor de ambos os combustíveis.

Conforme demonstrado na figura 9, a biela agora possui duas posições de atuação, uma voltada para a queima de gasolina e a outra voltada para a queima de etanol.

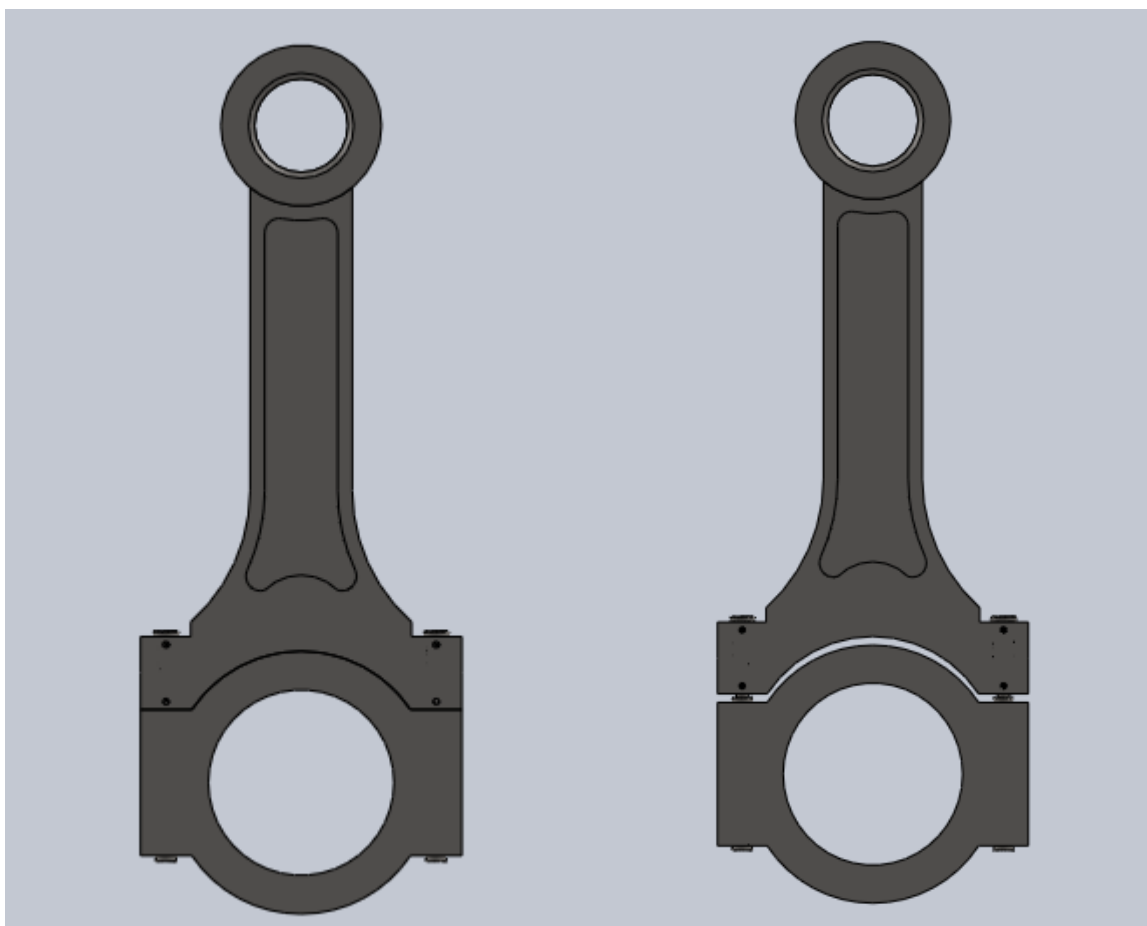


Figura 9 – Variação de biela: Taxa de compressão gasolina x etanol

Fonte: Pesquisa direta (2023)

Na figura 9, fica visível a variação gerada pelo cilindro hidráulico na peça, de forma que durante a taxa de compressão da gasolina, a mesma permanece fechada, enquanto que ao passar para a taxa de compressão do etanol ela se expande de forma a reduzir o volume da câmara de combustão.

Outro ponto importante que pode ser presentada na figura 10, é que foi necessário desenvolver uma trava para o eixo do virabrequim.

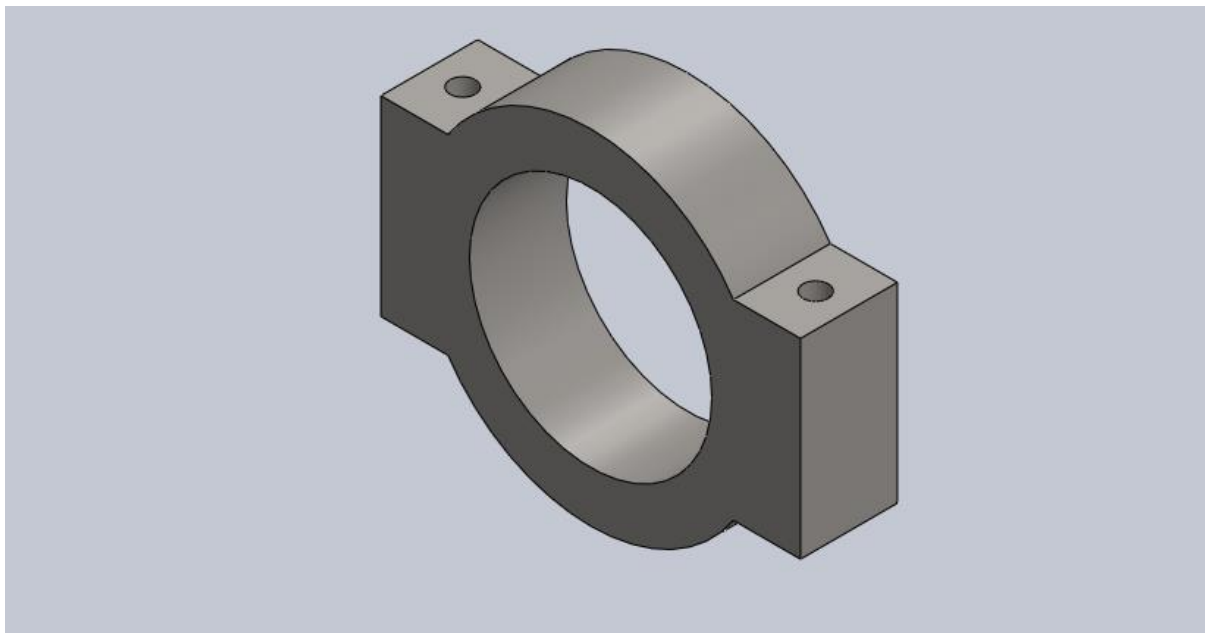


Figura 10 – Trava do eixo do virabrequim

Fonte: Pesquisa direta (2023)

A trava exibida na figura 10 fica fixa à tapa da biela, com o objetivo de segurar o eixo do virabrequim, uma vez que, quando a biela estiver expandida para compressão de etanol, o espaço onde se localiza o eixo também aumenta, criando assim a possibilidade de este entrar em choque com as faces internas da peça durante o movimento de rotação do motor, o que causaria problemas como desgaste prematuro, possível quebra e aumento de vibração. Porém, com a trava, este movimento é impedido podendo assim ter este espaço aumentado sem maiores prejuízos ao eixo.

4.2 Simulação dos componentes

Durante a rotação do motor para realização do processo de combustão interna, diversas forças estão atuando constantemente, com isso, o conjunto virabrequim, biela e pistão realizam uma sequência de movimentos fazendo com que o combustível adentre a câmara, seja comprimido, sofra a combustão e na sequência seja eliminado.

Esse movimento basicamente funciona de forma que a rotação do virabrequim faça com que a biela realize um movimento elíptico para que por fim o pistão se movimente verticalmente para cima e para baixo.

Logo, é possível concluir que haverá uma força empurrando a biela para cima durante seu movimento, ao mesmo tempo em que ela tende a se movimentar para baixo pela ação da gravidade. Para determinar qual é o valor da força atuando no sistema, foi definido uma média de torque para carros populares em 2023, sendo encontrado um valor de 100,02Nm. Através deste valor e considerando que o valor do raio de torque varia de 0mm até 0,042mm, utilizou-se o software Excel para determinar através de uma média aritmética o valor da força atuante considerando a fórmula 3.

$$\sigma = F \times d \quad (3)$$

Como foi demonstrado na equação 3, divide-se o torque mínimo atingido pela variação da distância do curso do pistão do motor, e é encontrado um resultado de força atuante de 15761,87N.

Ao se realizar uma simulação, destacam-se dois componentes principais onde a força estará gerando um processo de deformação mais acentuado, sendo estes o corpo do cilindro que pode vir a sofrer flambagem durante o movimento da biela, e a trava do eixo do virabrequim, que estará podendo vir a sofrer deformação durante o movimento, uma vez que o eixo tende a empurrar a trava na direção contrária de sua fixação. Assim sendo, aplica-se a força obtida no resultado do cálculo no software do *Solidworks*, conforme pode-se visualizar na figura 11, onde é feita a simulação no corpo do cilindro.

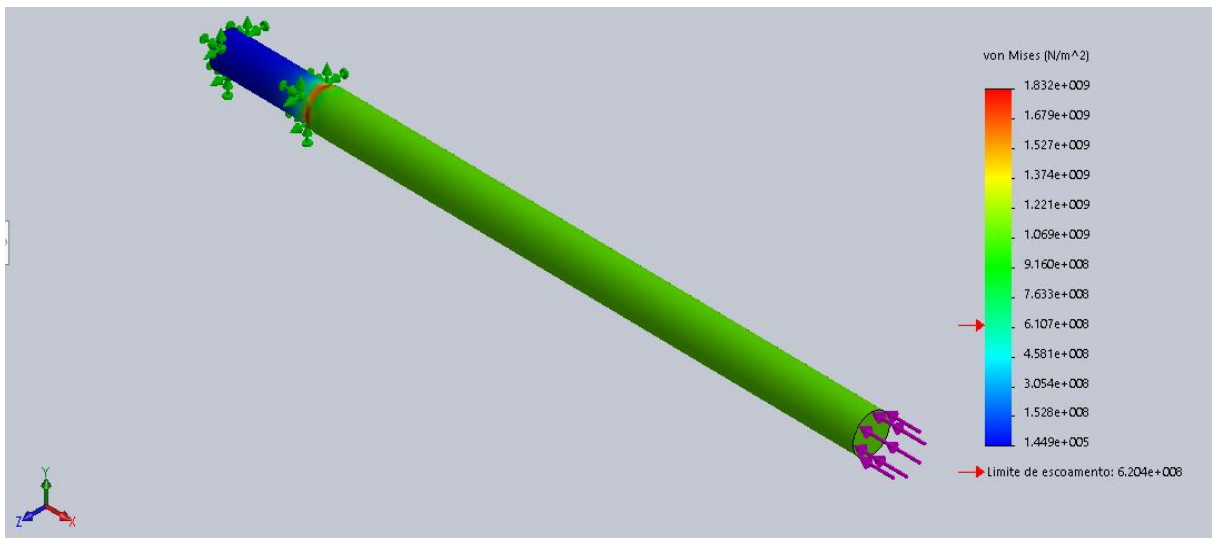


Figura 11 – Simulação de carga do corpo do cilindro

Fonte: Pesquisa direta (2023)

Ao observar a figura 11 percebe-se que o mesmo estará propenso a sofrer um processo de deformação com o tempo ou ao sofrer uma carga em excesso. Porém, a peça não sofrerá fratura ou quebra imediata, demonstrando sua capacidade de suportar a carga definida, enquanto se mostra aplicável ao sistema.

Ao observar a figura 12, pode-se notar que o mesmo acontece para a trava do eixo do virabrequim.

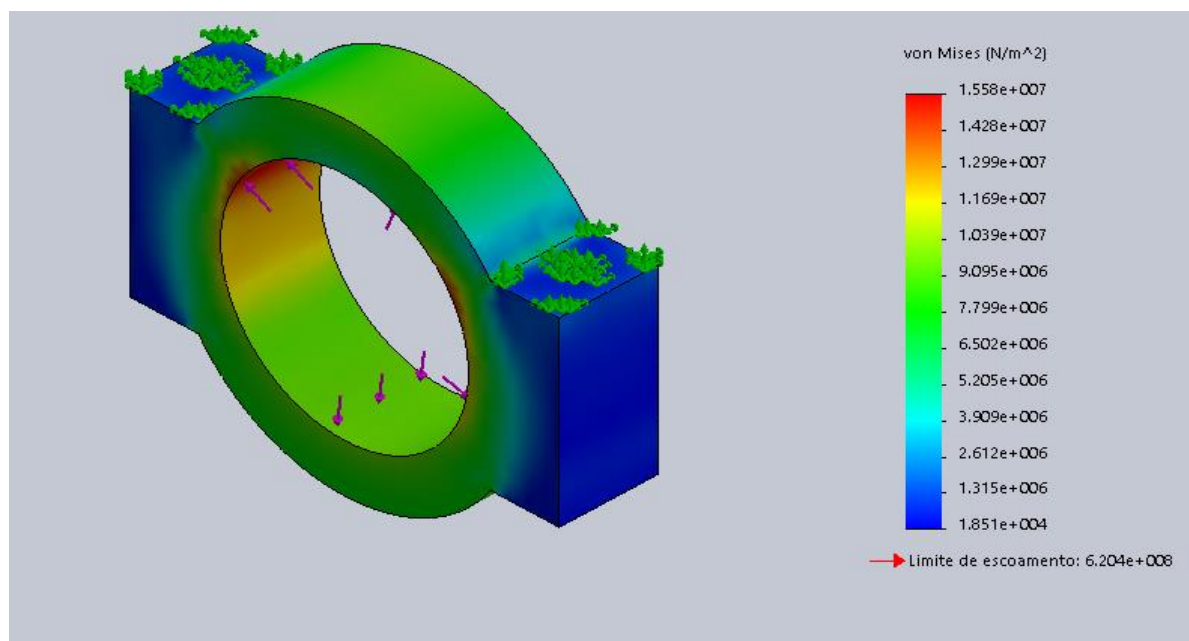


Figura 12 – Simulação de Carga da trava do eixo do virabrequim

Fonte: Pesquisa direta (2023)

De acordo com a simulação realizada no *software*, o componente suporta de forma segura as forças que estarão sendo exercidas sobre ele pelo eixo, sendo este dificilmente deformado, excluídas as ocasiões em que a força gerada exceder o previsto em simulação.

Portanto, ao realizar as simulações dos componentes mais críticos do sistema desenvolvido para variar a taxa de compressão do motor, foi possível afirmar que o sistema é viável e aplicável aos projetos de motores de combustão interna atuais, sempre se limitando aos processos, cargas e dimensões definidos.

4.3 Variação de combustível na câmara

Para que seja possível aproveitar as melhores características de cada combustível e ao mesmo tempo fazer com que a variação da taxa de compressão seja melhor aproveitada, concluiu-se que seria preciso alterar os combustíveis presentes na câmara de combustão, e não

só por uma questão de desempenho, mas também por uma questão de segurança, uma vez que, a gasolina pode sofrer detonação ao ser comprimida a valores acima dos aceitáveis.

Com isso, foi pensado um sistema eletromecânico que poderia realizar essa variação de combustível presente no motor, e foi possível desenvolver um método para que este funcionamento fosse possível, conforme pode ser visualizado na figura 13.

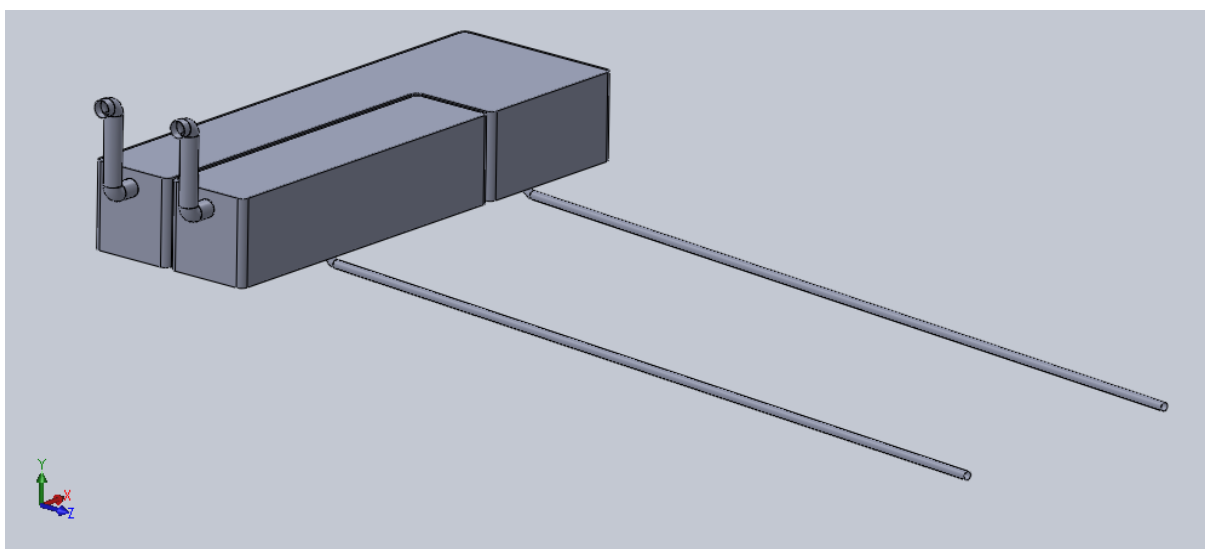


Figura 13 – Projeto de dois tanques de combustível

Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Na figura 13, o modelo desenvolvido para realizar o processo de variação de combustível funciona de forma que o carro agora possua dois tanques de combustível ao em vez de somente um, estes tanques seriam exclusivos para somente um tipo de combustível cada, sendo um para gasolina e um para etanol.

Considerando a quantidade de cada combustível que é consumida e de forma a não gerar mais peso no carro, os tanques foram pensados de forma que o tamanho dos dois juntos fosse o mesmo do que existe atualmente, entretanto o tanque de gasolina representaria 70% desse montante, enquanto o de etanol os 30% restantes.

Ao realizar o abastecimento, haveria duas entradas exclusivas para cada um, sendo estas direcionadas para seus respectivos tanques. Uma vez presente nos reservatórios, estes combustíveis só serão direcionados ao motor pelas suas bombas individuais quando estas forem acionadas.

Analisando o funcionamento do sistema, ainda seria necessário definir a melhor maneira de realizar a troca entre os dois combustíveis, fazendo com que ambos tivessem seus benefícios maximizados, sendo assim, foi definido que a melhor maneira de trocar os

combustíveis na câmara de combustão seria através do torque do motor, pois ao atuar dentro de uma determinada faixa de torque, o etanol começa a apresentar melhores desempenhos do que o ao gasolina, enquanto que fora dessa faixa acontece o inverso. Logo, o sistema eletromecânico também viria a necessitar de um torquímetro associado a caixa de transmissão que pudesse fazer as leituras e repassar essas informações, conforme ilustrado na figura 14.

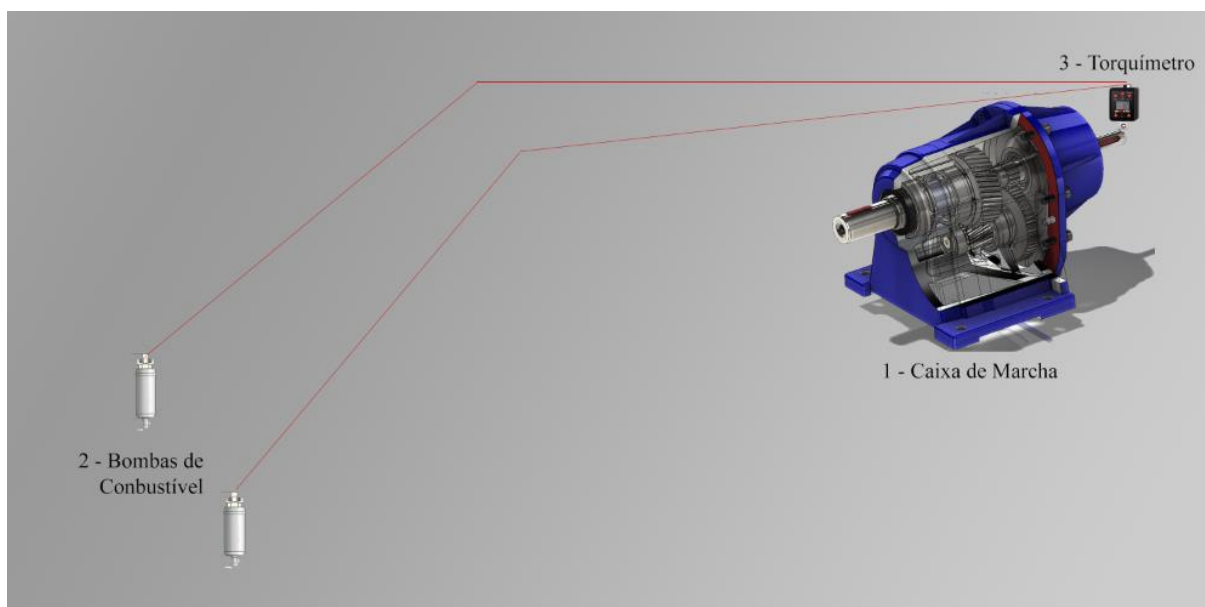


Figura 14 – Sistema de Acionamento por Torque

Fonte: Pesquisa Direta (2023)

Para que o sistema funcione de acordo com a figura 14, o torquímetro deve ser associado à árvore secundária da caixa de marcha com o objetivo de realizar a leitura dos valores de torque atuando no motor. Estes valores serão repassados eletronicamente às bombas de combustível presentes nos tanques, logo, ao trabalhar dentro de uma determinada faixa de torque, a bomba do tanque de gasolina é ativada, enquanto a de etanol permanece inativa, já quando se trabalha dentro de uma outra faixa de torque específica, a bomba de etanol é acionada ao mesmo tempo em que a de gasolina é desligada.

Portanto, ao trabalhar com os combustíveis separados dentro de faixas específicas de torque, é possível obter mais potência do etanol quando o mesmo se fizer necessário, e ao mesmo tempo fazer com que o carro apresente um melhor desempenho com o uso isolado da gasolina.

5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusão

A pesquisa desenvolvida buscou estudar e apresentar um componente para variação da taxa de compressão em motores de combustão interna, visando otimizar o desempenho do veículo e aproveitar as vantagens de diferentes combustíveis. O sistema proposto baseia-se na modificação do comprimento da biela por meio de um cilindro hidráulico acionado eletronicamente, permitindo a adaptação da taxa de compressão conforme o combustível utilizado.

Ao analisar os componentes diretamente responsáveis pela taxa de compressão do motor, verificou-se que o formato, movimento e disposição do conjunto envolvendo o virabrequim, a biela e o pistão têm papel fundamental na determinação da taxa de compressão na câmara de combustão e que a alteração do tamanho da biela se mostrou um processo de fácil ajuste e precisão, principalmente ao ter a peça associada a um cilindro hidráulico.

Ao realizar a simulação destes componentes modificados, o desempenho apresentado pelos mesmos se demonstrou satisfatório dentro do que se era esperado, entretanto, ainda há margem para melhora dos componentes. Isso reforçou a viabilidade do sistema proposto e sua aplicação em motores de combustão interna atuais.

Para maximizar os benefícios do sistema de variação da taxa de compressão, foi desenvolvido um sistema eletromecânico envolvendo dois tanques de combustível, com suas respectivas bombas associadas a um torquímetro ligado diretamente à árvore secundária da caixa de marchas, sendo que, a escolha do combustível adequado para cada situação foi baseada no torque do motor, garantindo o melhor desempenho possível em diferentes faixas de rotação.

Dessa forma, conclui-se que o componente desenvolvido para a variação da taxa de compressão, aliado ao sistema de troca inteligente de combustível, é uma solução viável e promissora para motores de combustão interna, permitindo aprimorar o desempenho do veículo, aproveitar as vantagens de diferentes combustíveis e otimizar o consumo de combustível. Com as devidas adaptações e implementações, esse sistema pode ser aplicado em veículos atuais, contribuindo para a eficiência e sustentabilidade dos motores de combustão interna.

5.2 Recomendações

A pesquisa realizada, voltada para a investigação da otimização da taxa de compressão em motores de combustão interna mediante a modificação do comprimento da biela, aliada à implementação de um sistema de alternância inteligente de combustível, delineou consideráveis implicações que demandam incursões mais aprofundadas. Com base nas conclusões colhidas neste estudo, emergem diretrizes sugeridas para empreendimentos futuros, que se desdobram como oportunidades de pesquisa no campo da engenharia automobilística.

Análise Estrutural Detalhada: Sugere-se a condução de análises estruturais abrangentes, conferindo maior profundidade e abrangência à avaliação da resistência dos componentes em circunstâncias extremas. Tais investigações contribuiriam para aprimorar a confiabilidade e a longevidade do sistema proposto.

Exploração de Diversos Combustíveis: Além da gasolina e do etanol, insta-se a examinar a resposta do sistema de alternância inteligente de combustível frente a outras formulações, como o diesel ou os biocombustíveis. Esse enfoque expandiria a versatilidade do sistema, adaptando-o a contextos e mercados distintos.

Avaliação das Emissões e Impacto Ambiental: Delinear análises minuciosas das emissões emanadas pelos motores quando operando com diferentes combustíveis e taxas de compressão. Tais investigações elucidariam o impacto ambiental da proposta, alinhando-a às regulamentações de emissões vigentes.

Refinamento do Sistema de Troca de Combustível: Propõe-se aprofundar a pesquisa no sistema de alternância inteligente, incorporando não apenas o torque do motor, mas também parâmetros como eficiência térmica, consumo energético e emissões. Essa abordagem facultaria um ajuste mais preciso e dinâmico do sistema em tempo real.

Adaptação em Motores de Diversos Portes: Recomenda-se ensaiar e adaptar o sistema de variação da taxa de compressão em motores de distintas dimensões e configurações, avaliando a efetividade em veículos de variados portes e usos.

Para concluir, as conclusões advindas deste estudo formam a base propícia para a exploração de uma série de futuras empreitadas e pesquisas no domínio da engenharia

automobilística. As recomendações delineadas delineiam direções promissoras para ampliar e aprimorar a eficiência, o desempenho e a sustentabilidade dos motores de combustão interna, contribuindo, assim, para o avanço contínuo na indústria automotiva.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

RODRIGUES, Leonardo. **Avaliação do desempenho de motores a combustão interna com ignição por faísca utilizando misturas de gasolina e etanol**. 2017. 79p. Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

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

NETO, Francisco. **Avaliação numérica do desempenho de um motor a combustão interna operando com combustível de alta octanagem**. 2017. 63p. Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna: volume 1**. 2ed. São Paulo: Blusher, 2018.

GOLDENSTEIN, Marcelo; AZEVEDO, Rodrigo. **Combustíveis alternativos e inovações no setor automotivo: será o fim da “era do petróleo”?**. BNDES Setorial. Rio de Janeiro, n. 23, p. 235-266, mar. 2006.

VARGAS, Priscila. **Indústria automobilística brasileira: uma análise das principais transformações tecnológicas no sistema produtivo e seu impacto sobre o emprego**. 2019. 81p. Ciências Econômicas – Universidade Federal do Pampa, Santana do Livramento, 2019.

LEGUIÇA, Ewerton. **As políticas industriais e a evolução da estrutura e do desempenho do setor automobilístico brasileiro: uma análise para o período de 1990-2020**. 2021. 169p. Ciências Econômicas – Universidade Federal do Pampa, Santana do Livramento, 2021.

OICA, Organização Internacional da Indústria Automobilística, **Dados sobre a emissão de poluentes provenientes de queima de combustíveis em automóveis**. Paris, 2021.

RIBEIRO, Mateus. **Modelagem de motor e combustão interna e simulação do processo de queima de combustível**. 2013. 90p. Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2013.

TAYLOR, Charles. **Análise dos motores de combustão interna: volume 1**. São Paulo, Blusher, 1988.

SORGATO, Rodrigo. **Análise da variação de fase do comando de válvulas em um motor de combustão interna de ciclo otto turbo alimentado**. 2014. 58p. Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2014.

SOARES, Caik. **Estudo comparativo entre transmissões automotivas, automáticas e manuais**. 2021. 70p. Engenharia Mecânica – Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2021.

JUNIOR, Antônio. **Análise técnica e comparativa de caixa de câmbio manual e automática**. 2018. 84p. Engenharia Automotiva – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018.

CEARÁ, Governo do Estado do Ceará. Secretaria de Educação; Escola Estadual de Educação Profissional – EEEP. **Curso técnico em manutenção automotiva**. Ceará.

CALABREZ, Felipe; MELO, Elaine; QUEIROZ, Caio. **Revisão dos sistemas de transmissão automotiva**. 2015. 82p. Tecnologia em Eletrônica Automotiva – Faculdade de Tecnologia de Santo André, Santo André, 2015.

PRUDENTE, Carlos. **Estudo da qualidade da gasolina em postos de abastecimento da cidade de Cândido Mota**. 2010. 37p. Química – Fundação Educacional do Município de Assis, Assis, 2010.

CARVALHO, Márcio. **Avaliação de um motor de combustão interna ciclo otto utilizando diferentes tipos de combustíveis**. 2011. 168p. Engenharia Industrial – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

SANTOS, William. **Tecnologia em mecânica automotiva**. 2018. 59p. Tecnologia em Mecânica Automobilística – Faculdade de Tecnologia de Santo André, Santo André, 2018.

GIL, Antônio. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ed. São Paulo, Atlas, 2002.

SILVA, Edna; MENEZES, Estera. **Metodologia da pesquisa e Elaboração de dissertação**. 3ed. Florianópolis, Laboratório de Ensino a Distância da Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

BERNARDI, Débora. **O uso de indicadores de desempenho no processo de monitoramento e controle de projetos**. 2013. 122p. Pós Graduação em Gestão de TI – Universidade Federal de Santa Maria, 2013.