



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP**

**ESCOLA DE MINAS**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**



**TADEU PEDROSA FERREIRA**

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA MECÂNICA  
RESULTANTE DA COMPRESSÃO DOS GASES DE ADMISSÃO EM  
UM MOTOR DE CICLO OTTO E SEU IMPACTO NA POTÊNCIA DE  
SAÍDA NA RODA: ESTUDO DE CASO DE UMA MOTOCICLETA**

**OURO PRETO - MG  
2023**

**TADEU PEDROSA FERREIRA**  
**tadeu.ferreira@aluno.ufop.edu.br**

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA MECÂNICA  
RESULTANTE DA COMPRESSÃO DOS GASES DE ADMISSÃO EM  
UM MOTOR DE CICLO OTTO E SEU IMPACTO NA POTÊNCIA DE  
SAÍDA NA RODA: ESTUDO DE CASO DE UMA MOTOCICLETA**

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

F383a Ferreira, Tadeu Pedrosa.  
análise experimental da resistência mecânica resultante da compressão dos gases de admissão em um motor de ciclo Otto e seu impacto na potência de saída na roda [manuscrito]: estudo de caso de uma motocicleta. / Tadeu Pedrosa Ferreira. Tadeu Pedrosa Ferreira. - 2023.  
54 f.: il.: color., gráf., tab..

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

1. Poluentes. 2. Motores a gasolina. 3. Potência. 4. Engenharia mecânica - Deformações (Mecânica). 5. Petróleo como combustível. I. Ferreira, Tadeu Pedrosa. II. Sousa, Diogo Antônio de. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 621

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



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Tadeu Pedrosa Ferreira**

**Análise experimental da resistência mecânica resultante da compressão dos gases de admissão em um motor de ciclo Otto e seu impacto na potência de saída na roda: estudo de caso de uma motocicleta**

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

Aprovada em 29 de junho de 2023

### Membros da banca

DSc. Diogo Antônio de Sousa - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)  
MSc. Sávio Sade Tayer (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 28/08/2023



Documento assinado eletronicamente por **Diogo Antonio de Sousa, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/08/2023, às 11:36, 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](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0581731** e o código CRC **2F35FFD3**.

A minha família, meus amigos e  
professores, dedico mais uma etapa  
vencida

.

## **AGRADECIMENTO**

À Deus, por ter conseguido concluir mais uma etapa com saúde

Aos meus pais, Gilson e Eliane, pelo apoio durante essa jornada.

Aos meus irmãos, Rafaela, Tiago e Tobias por estar sempre ao meu lado.

Ao meu orientador e amigo, Diogo Antônio de Sousa, pelo incentivo e orientação neste trabalho. Ao Savinho e Washigton , que além de professores foram grandes amigos e avaliadores do meu trabalho.

Aos meus amigos de curso, em especial, Carlos Eduardo (CheckList), Matheus Caiaffa (Caxeta), Guilherme Pedro (Guidão), Samuel Góis (Chorão), Luiz Felipe (Elevador), Rodrigo José (Prop) e Marcos Túlio (Jogador), Luis Eduardo (Led).

Aos amigos da Republica Quinta, agradeço pelo convívio.

*“O tempo dirá quem você será.”*

Tadeu Pedrosa Ferreira

## RESUMO

As montadoras de veículos visam aumentar a eficiência dos motores, afim de reduzir o gasto de combustível e as emissões de gases poluentes, assim, empregam diversas estratégias para minimizar as perdas que levam à diminuição da eficiência. Nesse contexto, a taxa de compressão tem uma relação direta com a eficiência do motor. Portanto, em situações de desaceleração (ausência de injeção de combustível), a taxa de compressão resulta em perdas compressivas que diminuem a velocidade do veículo. Este estudo se propôs a analisar as perdas compressivas decorrentes dos gases de admissão em um motor de ciclo Otto, quando não há injeção de combustível, como em situações de decida e/ou sem aceleração. Para tanto, foi desenvolvida uma bancada de testes afim de mensurar a resistência mecânica resultante dos gases de compressão por meio da potência necessária para rotacionar a roda traseira de uma motocicleta, o objeto de estudo. A bancada construída foi idealizada tendo por base um dinamômetro de rolos, com a diferença que os rolos desenvolvidos não ofereceram resistência, pelo contrário, acionam a roda traseira da motocicleta. Para isso, um motor elétrico foi acoplado ao sistema de rolos afim de aciona-los. A potência do motor elétrico usado no acionamento dos rolos foi mensurada/monitorada por meio de um alicate wattímetro modelo MINIPA-ET-4091. Para investigar a resistência mecânica decorrente da compressão dos gases, em um motor ciclo Otto de quatro tempos e simulando a situação sem injeção de combustível, foram consideradas três condições: motor com vela de ignição e engrenado em 5ª marcha; motor sem vela de ignição e engrenado em 5ª marcha; e motor com vela de ignição e em neutro. Os resultados obtidos sugerem que a compressão dos gases de admissão consome 48,4% a mais da potência elétrica do motor de acionamento dos rolos tendo como referência a condição de teste do motor da motocicleta com vela e em neutro. Inicialmente, considerou-se que a condição do motor sem vela e em 5ª marcha resultaria em menor resistência mecânica, dado a ausência de compressão dos gases, em comparação com a configuração de motor com vela e em 5ª marcha. Contudo, os resultados mostraram que essa diferença não foi significativa. O entendimento foi de que a forma e diâmetro da entrada do furo da vela criaram uma região de baixa pressão na sucção dos gases, gerando um vácuo no interior do cilindro e aumentando a resistência mecânica durante a admissão. Logo, os resultados sugerem que, para alcançar os resultados esperados, seria necessário a fabricação de um cabeçote com uma válvula específica para reduzir ou eliminar a resistência compressiva dos gases.

**Palavras-chave:** Poluentes. Compressão. Combustível. Ciclo Otto. Cabeçote. Potência.



## ABSTRACT

*Vehicle manufacturers aim to enhance engine efficiency in order to reduce fuel consumption and emissions of polluting gases. As such, they employ various strategies to mitigate losses that lead to efficiency reduction. In this context, the compression ratio holds a direct relationship with engine efficiency. Therefore, during deceleration scenarios (absence of fuel injection), the compression ratio gives rise to compressive losses that decrease vehicle speed. This study set out to analyze the compressive losses arising from the intake gases in an Otto cycle engine, when fuel injection is absent, as in instances of downhill motion and/or deceleration. To achieve this, a test bench was developed to measure the resultant mechanical resistance from compression gases, through the power required to rotate the rear wheel of a motorcycle, the subject of study. The constructed bench was conceptualized based on a roller dynamometer, with the distinction that the developed rollers did not offer resistance; instead, they activated the motorcycle's rear wheel. For this purpose, an electric motor was coupled to the roller system to drive them. The power of the electric motor used to drive the rollers was measured/monitored using a MINIPA-ET-4091 wattmeter clamp. To investigate the mechanical resistance stemming from gas compression in a four-stroke Otto cycle engine, simulating a scenario without fuel injection, three conditions were considered: engine with ignition spark plug engaged in 5th gear; engine without ignition spark plug engaged in 5th gear; and engine with ignition spark plug and in neutral. The results suggest that the compression of intake gases consumes 48.4% more electrical power from the roller drive motor, using the motor test condition of the motorcycle with ignition spark plug and in neutral as reference. Initially, it was considered that the condition of the engine without the spark plug and in 5th gear would yield lower mechanical resistance due to the absence of gas compression, in comparison to the configuration with the spark plug and in 5th gear. However, the results showed that this difference was not significant. The understanding was that the shape and diameter of the spark plug orifice entrance created a region of low pressure during atmospheric air intake, generating a vacuum within the cylinder and increasing mechanical resistance during the intake phase. Consequently, the results suggest that to attain the expected outcomes, the fabrication of a cylinder head with a specific valve to mitigate or eliminate compressive gas resistance would be necessary.*

Key-words: Pollutants. Compression. Fuel. Otto cycle. Head. Power

**LISTA DE SIMBOLOS**

|          |                                                              |
|----------|--------------------------------------------------------------|
| $ppm$    | Partes por Milhão (mol)                                      |
| $r$      | Taxa de compressão                                           |
| $\eta_t$ | Eficiência do Motor (%)                                      |
| $r$      | Coefficiente de expansão adiabática                          |
| $C_p$    | Calor específico a pressão constante (J/(kg.K))              |
| $C_v$    | Calor específico a volume constante (J/(kg.K))               |
| $P_2$    | Pressão interna PMS do segundo tempo (N/m <sup>2</sup> )     |
| $P_1$    | Pressão interna no PMI do primeiro tempo (N/m <sup>2</sup> ) |
| $R_{ca}$ | Razão ar-combustível                                         |
| $M_c$    | Massa molar combustível (kg/mol)                             |
| $M_a$    | Massa molar ar (kg/mol)                                      |
| $Q$      | Calor (J/K)                                                  |
| $T$      | Trabalho (W)                                                 |
| $U$      | Energia interna (J)                                          |
| $W$      | Potência Elétrica (W)                                        |

**LISTA DE FIGURAS**

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Bloco do Motor .....                          | 5  |
| Figura 2 - Pistão .....                                  | 6  |
| Figura 3 - Biela .....                                   | 6  |
| Figura 4 - Virabrequim .....                             | 7  |
| Figura 5 - Cabeçote.....                                 | 7  |
| Figura 6 – Comando de Válvulas .....                     | 8  |
| Figura 7– Vela de Ignição.....                           | 9  |
| Figura 8 - Carter .....                                  | 9  |
| Figura 9 – Ciclo Otto .....                              | 10 |
| Figura 10 – Gráfico de Volume x Pressão.....             | 11 |
| Figura 11 - Deslocamento do Pistão.....                  | 12 |
| Figura 12 - Sistema de Injeção Eletrônica.....           | 14 |
| Figura 13 - Fluxograma do Trabalho.....                  | 20 |
| Figura 14 –Dinamômetro .....                             | 23 |
| Figura 15– Motor Elétrico .....                          | 23 |
| Figura 16 – Rolo de Teste.....                           | 25 |
| Figura 17 – Aferição da Potência em Regime com Vela..... | 26 |
| Figura 18 –Resultados em Regime com Vela .....           | 27 |
| Figura 19 –Aferição da Potência sem Vela .....           | 28 |
| Figura 20 –Resultados sem Vela .....                     | 29 |
| Figura 21 –Aferição da Potência em Neutro .....          | 30 |
| Figura 22 –Resultados em Neutro .....                    | 30 |
| Figura 23 –Ciclo Otto sem Vela.....                      | 34 |
| Figura 24 – Ciclo Otto com Vela.....                     | 35 |

**LISTA DE TABELAS**

|                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Relação Ar Combustível.....                                                                                                                                | 15 |
| Tabela 2 – Variáveis e Indicadores.....                                                                                                                               | 24 |
| Tabela 3 – Análise Estatística: Anova (Fator Único) .....                                                                                                             | 31 |
| Tabela 4 - <i>Teste-t</i> : duas amostras presumindo variâncias diferentes – Comparativo: (a) Com vela x Sem vela; (b) Com vela x Neutro; (c) Sem vela x Neutro ..... | 32 |

## SUMÁRIO

|          |                                        |           |
|----------|----------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                | <b>1</b>  |
| 1.1      | Formulação do Problema.....            | 1         |
| 1.2      | Justificativa.....                     | 3         |
| 1.3      | Objetivos.....                         | 3         |
| 1.3.1    | Geral .....                            | 3         |
| 1.3.2    | Específicos.....                       | 3         |
| 1.4      | Estrutura do Trabalho .....            | 4         |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>     | <b>5</b>  |
| 2.1      | Componentes do Motor .....             | 5         |
| 2.1.1    | Bloco.....                             | 5         |
| 2.1.2    | Cabeçote .....                         | 7         |
| 2.1.3    | Cárter .....                           | 9         |
| 2.2      | Ciclo Otto .....                       | 10        |
| 2.2.1    | Pressão Interna do Ciclo Otto.....     | 10        |
| 2.2.2    | Rendimento do Ciclo.....               | 12        |
| 2.3      | Sistema de Injeção de Combustível..... | 13        |
| 2.3.1    | Carburador .....                       | 13        |
| 2.3.2    | Injeção Eletrônica.....                | 14        |
| 2.3.3    | Sensor de Oxigênio – Sonda Lambda..... | 14        |
| 2.3.4    | Sensor de Marcha Lenta .....           | 15        |
| 2.4      | Primeira Lei da Termodinâmica .....    | 16        |
| 2.5      | Ciclo Diesel .....                     | 17        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA.....</b>                | <b>19</b> |
| 3.1      | Tipos de Pesquisa .....                | 19        |
| 3.2      | Materiais e Métodos .....              | 20        |
| 3.2.1    | Experimento Prático .....              | 21        |
| 3.3      | Variáveis e Indicadores.....           | 24        |
| 3.4      | Instrumento de Coleta de Dados.....    | 24        |
| 3.5      | Tabulação de Dados.....                | 24        |
| 3.6      | Considerações Finais .....             | 24        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS .....</b>                | <b>25</b> |

|          |                                                                                                  |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1      | Condição de operação: motor com vela de ignição e em 5ª marcha .....                             | 26        |
| 4.2      | Condição de operação: motor sem vela de ignição e em 5ª marcha .....                             | 27        |
| 4.3      | Condição de operação: motor com vela de ignição e em neutro <b>Erro! Indicador não definido.</b> |           |
| 4.4      | Comparação Entre os Experimentos.....                                                            | 31        |
| 4.4.1    | Análise Estatística.....                                                                         | 31        |
| 4.4.1    | Análise comparativa entre “Com vela de ignição” e “ Sem vela de ignição” ....                    | 31        |
| 4.4.2    | Análise comparativa entre “Com vela de ignição: 5ª marcha e Neutro”.....                         | 32        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÃO.....</b>                                                                            | <b>37</b> |
| 5.1      | Conclusões.....                                                                                  | 37        |
| 5.2      | Recomendações .....                                                                              | 38        |
|          | <b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>                                                             | <b>39</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Formulação do Problema

Diante das questões relacionadas ao meio ambiente, é importante ressaltar que a matriz energética do mundo é composta principalmente por fontes não renováveis (IEA 2021). Visto que o petróleo é um dos principais combustíveis poluentes da atmosfera, logo sua utilização tem sido discutida no contexto global, em maio de 2022 teve uma taxa de emissão de 421ppm de CO<sub>2</sub> a maior atualmente (NOAA 2022). Sendo assim, a fim de reduzir as emissões, deve haver mudanças nos motores a combustão a fim de reduzir os índices de poluentes emitidos por eles.

Os motores a combustão convencionais, comumente utilizados em veículos rodoviários, são separados em dois modelos, o Ciclo Otto e o Diesel. Ambos são caracterizados por apresentarem o ciclo de funcionamento em quatro tempos, sendo: Admissão, Compressão, Explosão e Exaustão. Martins (2006) afirma que a elevada pressão na compressão gera um aumento no rendimento, visando melhor aproveitamento energético do combustível. Com isso, para garantir melhor eficiência requer motores com taxa de compressões dimensionadas para determinado combustível e uma injeção programada para extrair o máximo de potência possível.

De acordo com Çengel e Boles (2013), motores de combustão interna cumprem bem sua função de converter energia térmica através da queima de combustíveis em energia mecânica. O autor também afirma que a eficiência dos motores a gasolina é de 26% a 30% e 34% a 40% nos veículos diesel. Dito isso é notório que há lacunas no conhecimento com relação à melhoria de eficiência dos motores de combustão interna.

Brunetti (2018) preleciona que os motores atuais possuem um rendimento superior aos primordiais, com o desenvolvimento de alguns equipamentos e produtos que mantêm um melhor funcionamento do motor, reduzindo perdas e consumo excessivo. Segundo Cunha (1972) o desenvolvimento de óleos lubrificantes com menor degradação e maior desempenho e o sistema de injeção eletrônica. Estes foram fundamentais para o aumento de performance, reduzindo perdas por atrito e possibilitando uma combustão controlada. Ambos os desenvolvimentos citados contribuem para o menor consumo de combustível, logo, para maior eficiência energética.

De acordo com Martins (2016), a evolução do carburador para a injeção eletrônica garantiu uma economia de combustível e, por consequência, uma redução de poluentes emitidos na queima. Seu funcionamento por meio de uma central eletrônica que controla a quantidade correta da razão de combustível por comburente conforme a necessidade do motorista, podendo cortar a alimentação total de combustível (corte de injeção) quando não há demanda vinda do acelerador. Isto tornou os veículos mais econômicos quando estão em situação de decida de declive.

Segundo Costa (2001) as empresas vêm estudando uma maneira de reduzir os atritos e aumentar os ganhos de potência do veículo a fim de reduzir o consumo de combustível. O aumento da taxa de compressão é um ponto aprofundado quando se trata de potência em regime de queima de combustível. Porém, em regime que não há injeção de combustível, há poucos estudos para compreender as perdas do sistema (BOSCH, 2005).

Para Brunetti (2018) o motor ciclo Otto possui quatro tempos, seu ciclo completo necessita de um giro de 720 graus, cada tempo é determinado com um giro de 180 graus do motor, com isso um tempo representa  $\frac{1}{4}$  do ciclo. Com isso a combustão representa apenas  $\frac{1}{4}$  do ciclo do motor, sendo ela a propulsora de potência para o motor manter girando. Com isso  $\frac{3}{4}$  do ciclo do motor consome energia, porém em regime que não há combustão, não há ganhos de potência, apenas perdas. Van Wylen (1994) afirma que uma compressão de gases requer um trabalho, gasto de energia do sistema, sendo assim a compressão de gases que não será inflamados gera perdas no motor, reduzindo sua energia interna que seria transformada em cinética do veículo.

O freio motor é um dispositivo contido nos veículos pesado a diesel, sua função é reduzir a velocidade do veículo através das forças compressivas, sendo elas no segundo e quarto tempo. Já em veículos leves que possuem motor Otto, não possui sistema de freio motor, porém ainda possui perdas compressivas referentes ao segundo tempo do motor, que é a compressão. Essa perda compressiva do ciclo Otto retarda o movimento do veículo quando não há injeção de combustível, fazendo perder energia que seria transformada em locomoção, reduzindo a eficiência do veículo.

Diante do contexto apresentado, pretende-se responder com este trabalho a pergunta:



## **Como analisar experimentalmente a resistência mecânica decorrente da compressão dos gases de admissão em um motor de ciclo Otto e seu impacto na potência de saída na roda de uma motocicleta?**

### **1.2 Justificativa**

Segundo Guimarães (2017) o petróleo é uma das fontes de energia mais importantes do mundo, sendo usada em muitas indústrias, como transporte, produção de eletricidade, fabricação de plásticos, produtos químicos e fertilizantes. Embora o petróleo tenha sido fundamental para o desenvolvimento econômico e industrial, seu impacto no meio ambiente e na saúde humana pode ser significativo.

Este estudo reside na importância de aprofundar a compreensão das perdas mecânicas por compressão nos motores de ciclo Otto e seu impacto na potência de saída, visando aprimorar a eficiência e o desempenho dos veículos motorizados. O estudo visa preencher uma lacuna de conhecimento sobre como as perdas mecânicas resultantes da compressão dos gases de admissão podem influenciar diretamente a potência de saída do motor. Além disso, busca por compreender de forma precisa e mensurável como a compressão dos gases de admissão em um motor de ciclo Otto afeta a eficiência do motor e, conseqüentemente, a potência de saída na roda de uma motocicleta. O ciclo Otto é amplamente utilizado em motores de combustão interna, e a compreensão das perdas mecânicas causadas pela compressão dos gases durante a admissão é fundamental para otimizar a eficiência do motor.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Geral**

Estudar o comportamento de perdas compressivas quando um motor não estiver injetando combustível.

#### **1.3.2 Específicos**

- Realizar um estudo bibliográfico do ciclo Otto e os componentes do motor;
- Propor uma alternativa para descompressão controlada de motores a combustão ciclo Otto;

- Elaborar um procedimento metodológico que possibilite avaliação da perda por compressão;
- Construir uma bancada de teste para avaliar a perda por compressão do motor ciclo Otto;
- Analisar a resistência mecânica decorrente da compressão dos gases de admissão do motor ciclo Otto;

#### **1.4 Estrutura do Trabalho**

A presente monografia é composta por 5 Capítulos e suas respectivas subdivisões. No Capítulo 1, foi apresentado o problema a ser analisado, assim como a justificativa para tal estudo e seus objetivos gerais e específicos.

No Capítulo 2 realizou-se uma revisão bibliográfica sobre o tema, no qual apontou-se os conceitos importantes sobre o assunto, importantes necessários para a continuação da monografia, e no 3 iniciou-se a metodologia utilizada.

No capítulo 3 abordou-se a metodologia utilizada, descrevendo os equipamentos e componentes empregados na montagem do dinamômetro.

O quarto capítulo contém os resultados experimentais que são apresentados em gráficos e as discussões acerca dos resultados obtidos.

No capítulo 5 é reservado para a conclusão do trabalho realizado, demonstrando os objetivos alcançados e citando possibilidades de trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Componentes do Motor

#### 2.1.1 Bloco

Segundo Penido (1992) o bloco do motor (figura 1) é o componente que sustenta todas as outras peças, é a parte estrutural do motor, com isso cilindros e pistão são que determinam a classificação do bloco, podendo ser em linha ou em “V”, a cilindrada do motor é determinada através do volume dos cilindros que constituem o bloco.

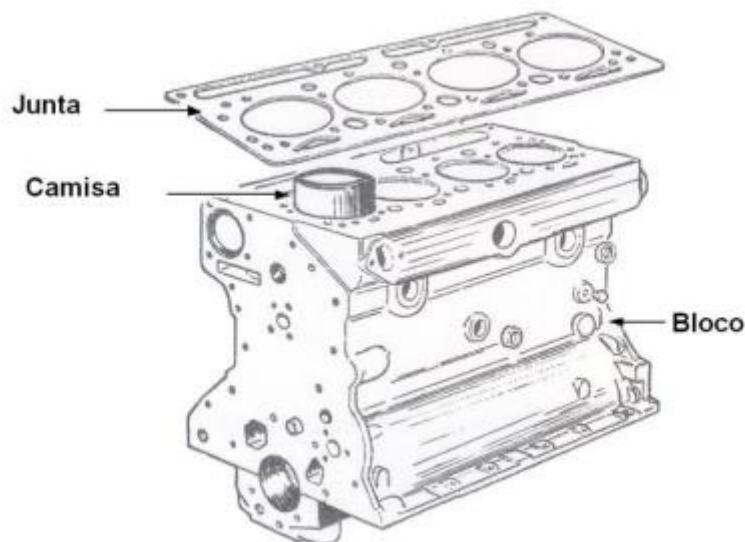


Figura 1 – Bloco do motor

Fonte: RAHDE, S. B. Apostila de motores de combustão interna.

No interior do bloco apresenta as camisas dos cilindros, na qual o pistão realiza seu trabalho. Segundo Penido (1992) o pistão realiza os movimentos lineares de compressão e expansão dos gases, para realizar esse trabalho que requer altas pressões, os pistões possuem anéis de vedação que suporta todas pressões interna impedindo a contaminação da câmaras de combustão com óleo lubrificante, e além desses anéis, possui os de lubrificação que tem finalidade de espalhar o óleo em todo cilindro na subida do pistão e raspar o óleo na descida do pistão, como demonstrado na figura 2.

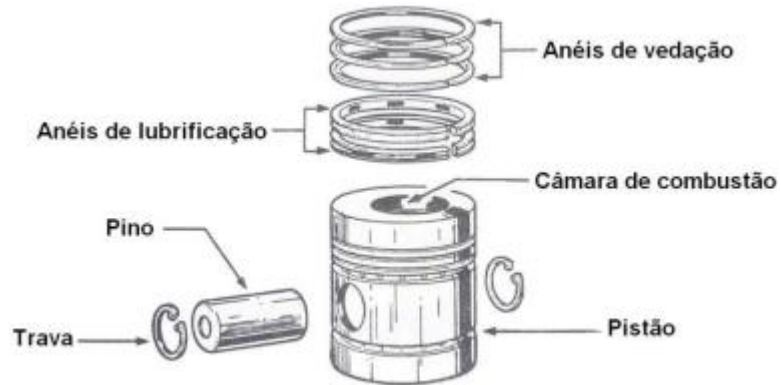


Figura 2- Pistão.

Fonte: RAHDE, S. B. Apostila de motores de combustão interna.

Para Bruneti (2018) a biela (figura 3) é mecanismo muito importante, pois ela dá continuidade no movimento do pistão para o virabrequim, essa alavanca transforma o movimento longitudinal em rotação do virabrequim. O pistão é acoplado na 'Cabeça' e o virabrequim no 'Pé'.

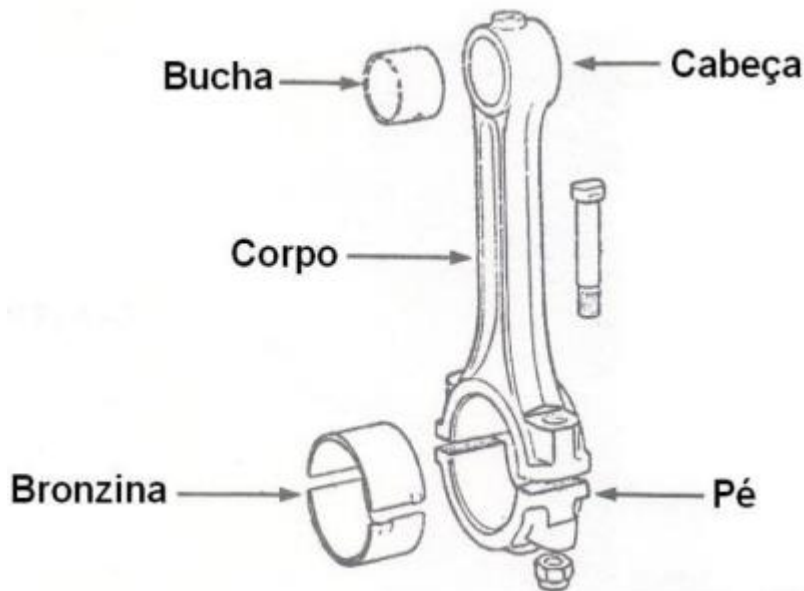


Figura 3 - Biela

Fonte : RAHDE, S. B. Apostila de motores de combustão interna.

Segundo Cunha (1972) o virabrequim (figura 4) é o primeiro elemento móvel giratório que dá sequência na transmissão da força motriz, ele dá continuidade do movimento para volante do motor ou mais conhecido como volante de inércia que acopla a caixa de marcha com sua respectiva embreagem. Cunha (1972) afirma que peças giratórias se estiverem um pequeno

desbalanceamento geram vibrações para o motor, que as mesma são nocivas para seu funcionamento.

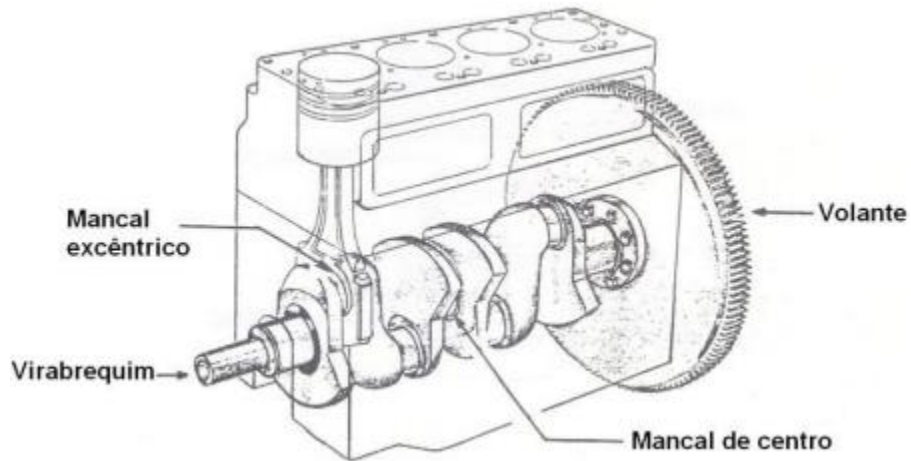


Figura 4 - Virabrequim

Fonte: RAHDE, S. B. Apostila de motores de combustão interna.

### 2.1.2 Cabeçote

Segundo Martins (2006), as válvulas e a árvore de comando (figura 5) estão posicionadas no cabeçote, onde as válvulas têm como função a entrada e saída dos gases, para que o sistema consiga concluir os quatro tempos do ciclo Otto, além das válvulas, no cabeçote contém as velas que são responsáveis pela ignição do combustível.

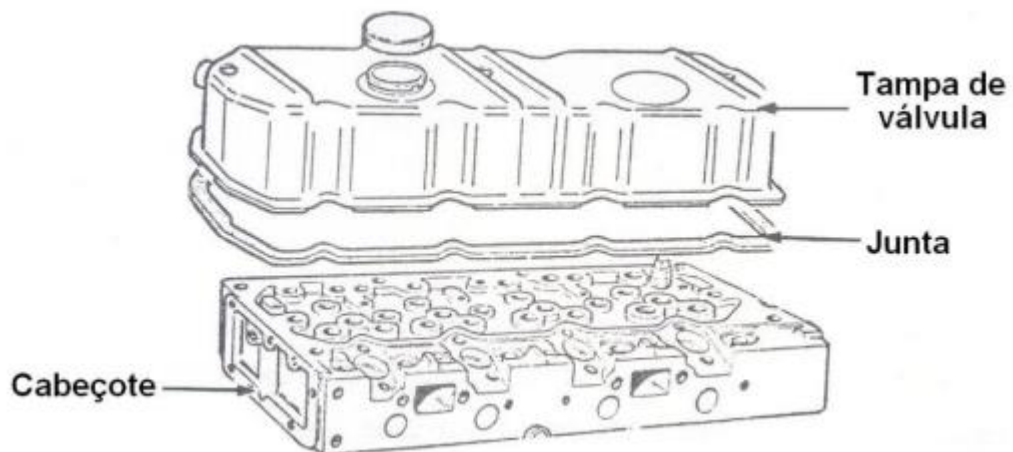


Figura 5 - Cabeçote

Fonte: RAHDE, S. B. Apostila de motores de combustão interna.

Martins (2006) afirma que as válvulas (figura 6) que constituem o cabeçote são de dois tipos, admissão e exaustão, são acionadas pelo comando de válvulas que possibilita a abertura

e fechamento delas nos tempos corretos, assim como o comando possui um ressalto também conhecido como *Cames*, o ressalto que faz a abertura das válvulas, podendo ser através do tucho hidráulico ou por meio de balancins. O fechamento das válvulas é feito por meio de molas.

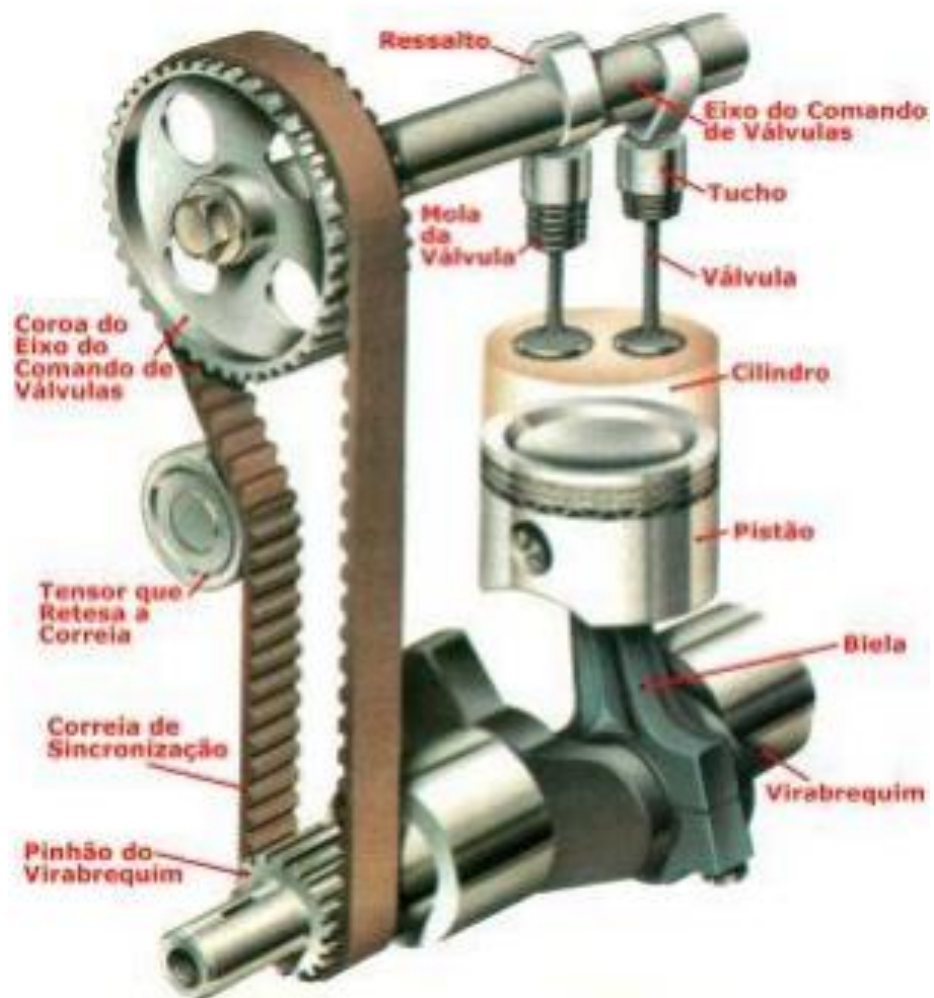


Figura 6 – Comando de Válvulas.

Fonte: RAHDE, S. B. Apostila de motores de combustão interna.

Costa (2001) afirma que as velas (figura 7) são responsáveis pela ignição do combustível, no ciclo Otto necessita da vela pois gasolina e etanol necessitam das velas, já no ciclo diesel os motores não possuem velas.

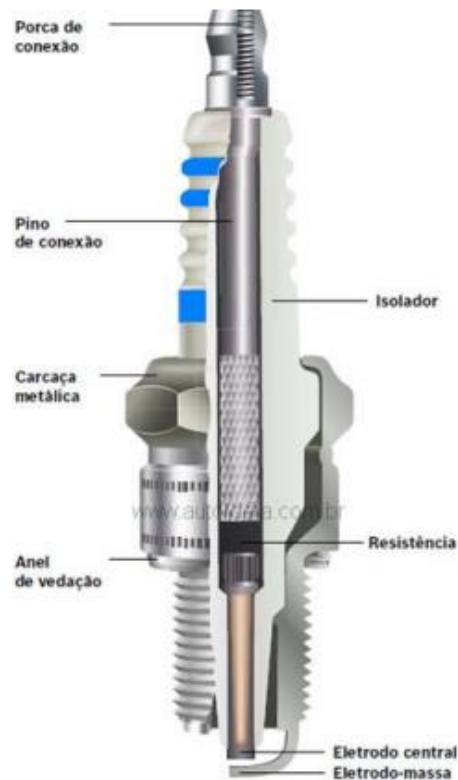


Figura 7 – Vela de Ignição.

Fonte: RAHDE, S. B. Apostila de motores de combustão interna.

### 2.1.3 Cárter

Segundo Heywood (1988), a parte inferior do motor denominado como cárter (figura 8) é o recipiente para drenagem de óleo para lubrificação. Após o óleo drenar no fundo do motor, a bomba hidráulica succiona ele para continuar a lubrificação das peças móveis.

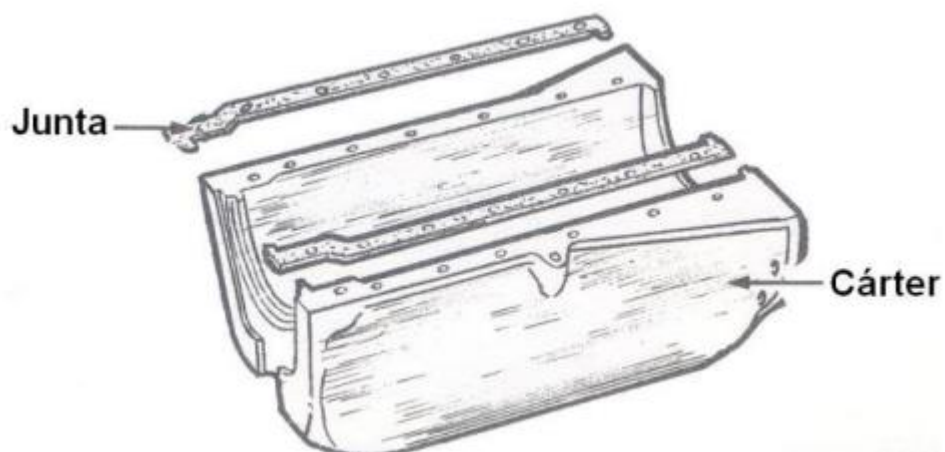


Figura 8 – Cárter.

Fonte : RAHDE, S. B. Apostila de motores de combustão interna.

## 2.2 Ciclo Otto

Brunetti (2018) afirma que o ciclo Otto é um ciclo termodinâmico que descreve o funcionamento de um motor de pistão com ignição por faísca. Os motores dos automóveis são comuns a utilização desse ciclo, sendo denominado como motor de quatro tempos.

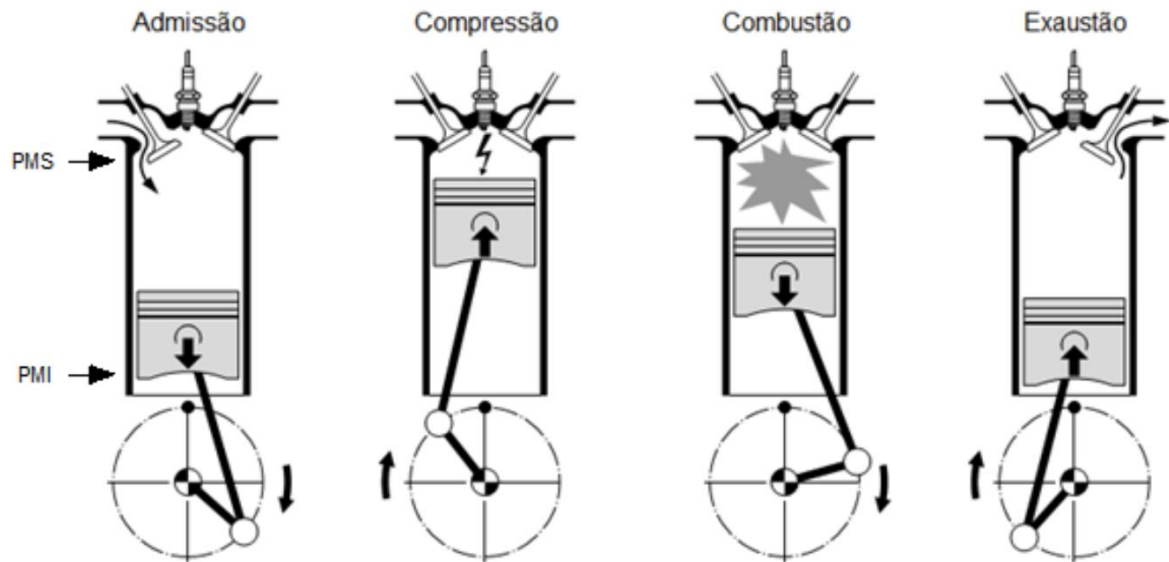


Figura 9 – Ciclo Otto.  
Fonte: Adaptado de BOSCH, 1999.

Na Figura 9 demonstra os ciclos do motor Otto, o sistema é iniciado pela admissão da mistura ar combustível para dentro do cilindro, através da abertura da válvula de admissão. Após um giro de 90 graus no virabrequim, o pistão começa comprimir essa mistura. Já no terceiro tempo, ocorre a ignição por centelha, gerando trabalho mecânico através da expansão dos gases queimados. Os gases são liberados para fora do cilindro, pela abertura da válvula de escape, fechando os quatro tempos do motor.

### 2.2.1 Pressão Interna do Ciclo Otto

Çengel e Boles (2013) afirma que o ciclo Otto determina graficamente o funcionamento dos motores com ignição por centelha, determinando as variações de pressão e volume que ocorre nos quatro tempos do motor



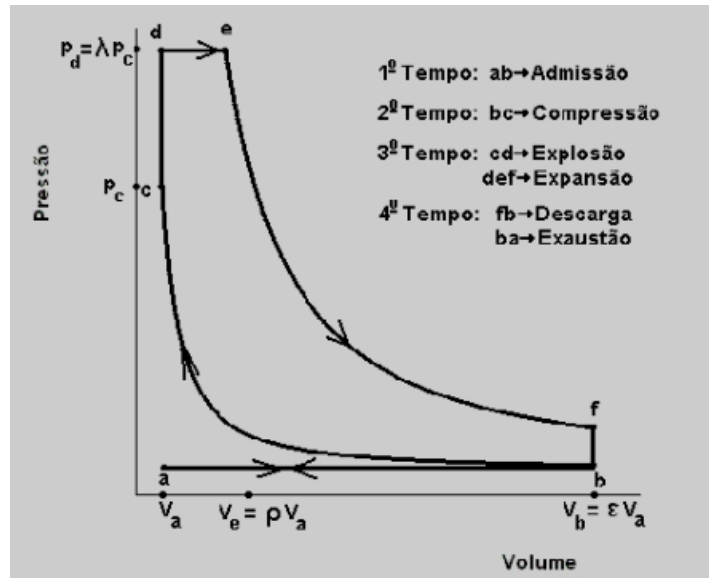


Figura 10 – Gráfico de Volume × Pressão  
 Fonte: Adaptado de ÇENGEL e BOLES, 2013.

A Figura 10 demonstra a variação do volume de controle com relação à pressão do sistema (ÇENGEL e BOLES 2013). A movimentação do pistão no cilindro gera uma alteração do volume e conseqüentemente a pressão.

No primeiro tempo como demonstra a imagem, a um aumento do volume por consequência da descida do pistão que irá admitir a mistura gás – combustível. Neste gráfico não tem alteração da pressão, pois se trata de um motor aspirado sem o turbo compressor.

Já no segundo tempo, o volume começa reduzir e a pressão subir, pois o pistão inicia a compressão dos gases. O pistão subindo do PMI até o PMS ele está realizando um trabalho de compressão dos gases, esta compressão se finaliza no ponto ‘C’ da figura 2.

No ponto ‘C’ ocorre a ignição por meio de uma centelha produzida pela vela, a partir desse momento a pressão do sistema aumenta significamente num pequeno intervalo de tempo. Como demonstrado na figura 2, a pressão aumenta, porem o volume não altera, pois nesse instante acontece a queima do combustível e a pressão aumenta não pela redução do volume e sim pela explosão dos gases. Já no ponto ‘D’ acontece o pistão começa descer e pela força de expansão dos gases, esta força que movimenta o motor em funcionamento, gerando trabalho.

No quarto tempo, inicia com pistão no PMI e ainda tem pressão interna oriunda da explosão do combustível, no ponto ‘F’ ocorre abertura da válvula de escape que libera a pressão interna e após isso o pistão vai voltando para PMS, reduzindo o volume de controle liberando o resto dos resíduos da queima, preparando para começar novamente o ciclo.

### 2.2.2 Rendimento do Ciclo

Segundo Heywood (1988), o deslocamento do pistão no cilindro, determina o ciclo volumétrico que será percorrido durante o funcionamento do motor, este ciclo haverá mudança de volume conforme o pistão se movimenta. O volume máximo do sistema, também denominado como cilindradas, é quando o pistão está posicionado no PMI e quando o pistão está no PMS o sistema está submetido ao menor volume por consequência maior a pressão, esse volume que determina a taxa de compressão do motor.

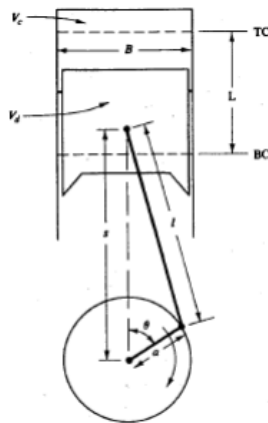


Figura 11 - Deslocamento do Pistão.  
Fonte: HEYWOOD, 1988

Na Figura 3 está representado o deslocamento máximo e mínimo do pistão, comumente denominado Ponto Morto Superior PMS (TC, na Figura 3) e Ponto Morto Inferior PMI (BC, na Figura 3), respectivamente.

Segundo Heywood (1988), a taxa de compressão é a relação entre o volume inicial do ar aspirado sobre o volume do sistema comprimido ou pressão final sobre inicial, sendo assim, quanto maior a taxa de compressão admissível para combustível, maior será a potência gerada pelo motor, melhorando o rendimento termodinâmico.

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \quad (1)$$

$$k = \frac{C_p}{C_v} \quad (2)$$

$$r = \left( \frac{p_2}{p_1} \right) \quad (3)$$

Onde  $\eta_t$  é a eficiência do motor,  $r$  é a taxa de compressão,  $k$  é o coeficiente de expansão adiabática,  $C_p$  é o calor específico a pressão constante e  $C_v$  calor específico a volume constante. Taxa de compressão é calculada pela razão de  $p_2$  (máxima pressão do sistema antes de ocorrer a centelha, pistão no PMS no tempo 2) sobre  $p_1$  (pressão interna após o pistão terminar o tempo 1, PMI no tempo 1).

Sendo assim quanto maior a taxa de compressão  $r$ , maior o rendimento do motor, porem segundo Bruneti (2018) existe um número máximo de compressão que um motor consegue atingir melhor rendimento, pois a partir de um certo valor de compressão o trabalho para comprimir os gases se torna tão alto que ocorre perder rendimento. Segundo o autor gasolina tem um excelente rendimento com taxas próximas a 10:1 quando se tem uma excelente octanagem e álcool até 14,5:1.

## 2.3 Sistema de Injeção de Combustível

### 2.3.1 Carburador

O carburador componente utilizado para alimentação de combustível nos motores que segundo Oliveira Junior (1997) é um sistema que promove uma mistura de ar/combustível, dosando a quantidade de combustível através de um sistema mecânico que induz ocorrer a mistura dentro de um duto de vazão volumétrica admitida pelo motor.

Segundo Martins (2011) a mistura é considera “pobre” quando a quantidade de combustível é menor que a quantidade de ar proposta pela relação estequiométrica, conseqüentemente todo combustível é queimado e sobra ainda quantidade de ar na câmara. Já na mistura rica é o contrário, há um excesso de combustível em relação ao ar admitido, isso ocorre um consumo alto e maior produção de gases poluentes.

### 2.3.2 Injeção Eletrônica

Segundo Silva (2012), o carburador por ser um sistema mecânico possui alguns erros de injeção de combustível, fazendo que a o veículo tenha um alto consumo de combustível e uma emissão de poluente maior. A procura de reduzir o gasto de combustível, em 1957 a Bendix criou a injeção eletrônica que posteriormente foi vendida a patente para Bosch em 1967 (BOSCH, 2005)

A injeção eletrônica foi desenvolvida para substituir o carburador e suprir algumas necessidades que o sistema carburado (BOSCH, 2005), como economia de combustível e também reduzir emissões veiculares. Segundo Martins (2011) o sistema de injeção eletrônica é responsável por enviar o combustível de maneira controlada para dentro da câmara de combustão, este equilíbrio é garantido por meio de uma central eletrônica e alguns sensores, sendo o mais importante a sonda lambda.

### 2.3.3 Sensor de Oxigênio – Sonda Lambda

O sensor de oxigênio, ou mais conhecido como sonda lambda é um dispositivo instalado no escapamento indicando a presença de oxigênio nos gases de escape (BOSCH, 2005), possibilitando que a injeção consiga ajustar a quantidade de combustível até que a presença de oxigênio após a queima seja zero, com isso o sistema consegue fazer o melhor ajuste da mistura ar combustível afim de se tornar uma reação estequiométrica balanceada.

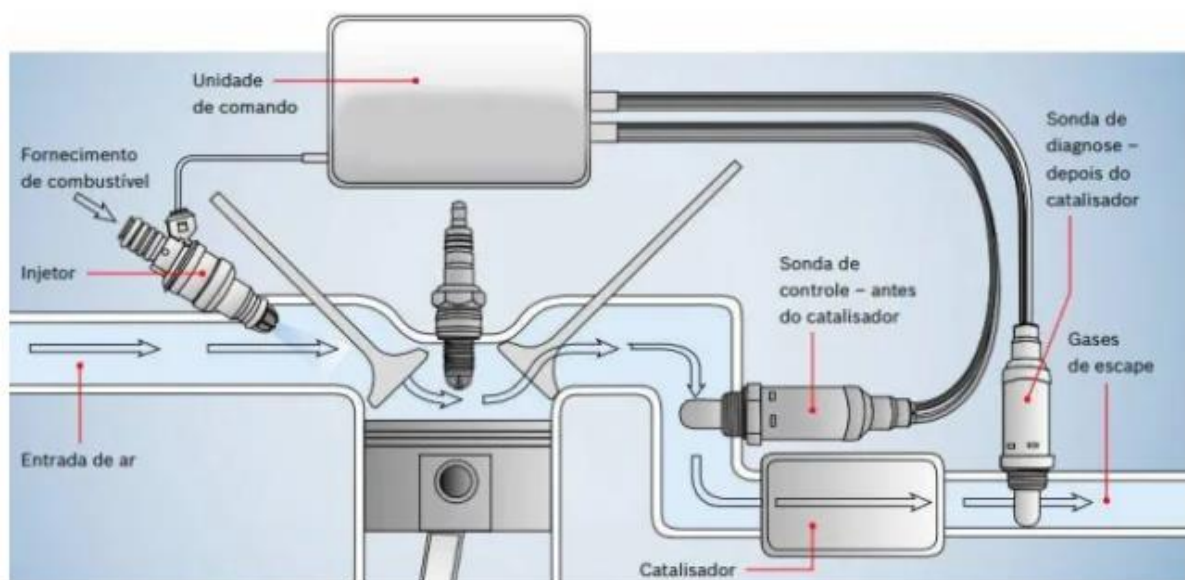


Figura 12 – Sistema de Injeção Eletrônica.  
Fonte: Bosch, 2005

O sistema de injeções referente a Figura 12 são para veículos que trabalham com combustível que necessita de vela de ignição para ativar a combustão. Segundo Heywood (1988) combustíveis mais comuns são álcool e gasolina, mas como eles são muito diferentes, a injeção tem que fazer o balanço estequiométrico para que garanta melhor rendimento do combustível com base a quantidade de ar que entra. Esse balanço é conhecido como razão ar-combustível (RAC) que é a razão de quantidade de ar pela quantidade de combustível, podendo ser calculada por massa molar.

$$R_{ca} = \frac{m_c}{m_a} \quad (4)$$

Onde  $m_c$  é a massa molar do combustível e  $m_a$  é massa molar do ar.

Por meio dessa razão que encontramos a quantidade correta de combustível a ser injetado. Como demonstrado na Tabela 1 o RAC da gasolina é maior que do etanol, isso significa que para mesma quantidade de ar admitido no cilindro, a gasolina quer um gasto menor de massa molar para realizar a combustão.

Tabela 1 – Relação Ar Combustível.

| Substância                                                      | Componentes (% em peso) | RAC  |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|------|
| Gasolina                                                        | 86% C + 14% H           | 14,7 |
| Etanol (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH) (álcool)              | 52%C + 13%H + 35%O      | 9,0  |
| Gas (76%) + Alc (24%)*                                          | 77,8%C + 13,8%H + 8,4%O | 13,3 |
| Diesel                                                          | 86% C + 13% H           | 14,5 |
| Metano                                                          | 75% C + 25% H           | 17,2 |
| * lei 10.696 art. 18 - 20% a 25% a adição de álcool na gasolina |                         |      |
| ** RAC em kg/kg                                                 |                         |      |

Fonte: Turns, 2013.

### 2.3.4 Sensor de Marcha Lenta

Além da sonda lambda, o sensor de marcha lenta tem grande importância para a funcionalidade da injeção (BOSCH, 2005). Também conhecido como atuador da marcha lenta ele é responsável por garantir a rotação mínima do motor sem o uso do pedal do acelerador. Os sinais são emitidos para a injeção para apenas não deixar o motor desligar quando não tem sinal do pedal.

Além disso, esse sensor só entra em vigor quando a rotação chega próximo a da marcha lenta, fora isso, em regime de alto giro sem sinal do pedal esse atuador não injeta combustível. Com base nisso, esse sensor consegue uma economia de combustível em relação ao funcionamento do carburador numa descida aonde não necessita de injetar combustível.

## 2.4 Primeira Lei da Termodinâmica

Segundo Van Wylen (1994), a primeira lei da termodinâmica mais conhecida como conservação da energia, trata se do balanço energético entre as energias inicial e finais do sistema, podendo afirma que em qualquer processo termodinâmico a quantidade de calor  $Q$  recebida é convertido em energia interna  $\Delta U$ , mais trabalho realizado  $\tau$ .

$$Q = \tau + \Delta U \quad (4)$$

Segundo Wreszinski (2003) o calor é a energia térmica que flui de um sistema ou corpo de maior temperatura para um de menor, sendo assim quando o gás está recebendo calor de uma fonte energética, considera que o  $Q$  é positivo, já quando está perdendo o  $Q$  é negativo.

Segundo Sonntag e Borgnakke (2018) a energia interna é definida como a somatória de todas energia existente nas partículas que compõem o sistema sendo elas cinética ou potencial. Também afirmam que nos gases ideais, só existem energia cinética de agitação molecular, ela é proporcional à temperatura do gás, energia interna positiva quando a temperatura aumentar, e negativa quando a temperatura do sistema diminuir.

Segundo Van Wylen (1994) quando um gás recebe calor, se o sistema for de embolo móvel, o calor pode ser utilizado na expansão do gás. A expansão ou compressão é o trabalho que o sistema está submetido, quando o calor é recebido de uma fonte o gás realiza trabalho por expansão, já em alguns casos pode haver uma força externa reduzindo o volume do embolo, que irá realizar trabalho negativo (VAN WYLEN , 1994),

O gás pode ser sujeito a algumas transformações, sendo elas isotérmica, isovolumétrica, adiabática, isobárica e expansão livre.

- Isotérmica: transformação na qual a temperatura não varia durante o processo;
- Isovolumétrica: transformação no qual o gás mantém seu volume durante todo o processo;
- Adiabática: quando o sistema está isolado de trocas de calor com o meio externo;

- Isobárica: transformação cuja pressão do gás se mantém constante durante o processo;
- Expansão Livre: o gás não realiza trabalho e nem trocas térmicas, sua temperatura e energia interna não variam.

## 2.5 Ciclo Diesel

Segundo Marco (2004), o ciclo diesel é um processo de combustão de um motor alternativo, contendo pistão que realizam trabalho. Possui algumas características que indefere ele do ciclo Otto, como a combustão sem ignição, o combustível é inflamado pelo calor gerado durante a compressão do ar na câmara de combustão sem haver necessidade de velas.

Bruneti (2018) afirma que o ciclo diesel possui o mesmo comportamento do ciclo Otto, a única diferença se dá que no ponto C é injetado o diesel com uma pressão média de 200 bar. Com a pulverização do diesel e alta temperatura propiciada pela compressão do gás, gera a combustão do diesel. Essa combustão gera uma expansão dos gases aumentando ainda mais a pressão interna na câmara de combustão, e forçando o pistão a descer, nesse tempo que produz potência para o motor.

Segundo Çengel (2013) As máquinas Otto operam com taxa de compressão entre 8 a 12:1, sendo que para garantir um funcionamento a 12:1 requer uso de combustível com maior poder antidetonante, combustível de alta octanagem. Porém os ciclos diesel já trabalha com uma compressão superior ao Otto, sendo de 16 a 20:1, sendo necessário esse aumento de pressão para conseguir elevar a temperatura do ar para que possa ocorrer a combustão.

Assim como o ciclo Otto, o diesel também gera trabalho apenas no terceiro tempo, sendo  $\frac{1}{4}$  do seu movimento que produz potência e  $\frac{3}{4}$  consome potência. Segundo Viegas (2003) essa potência consumida se dá das perdas por atrito de pistão sobre a camisa, assim como atrito entre os demais sistemas cinemáticos que constrói o motor, perdas também por compressão de gás.

Como demonstrado na Seção 2.4, Van Wylen (1994) afirma que para uma compressão de um gás requer um trabalho. Com o aumento de pressão oriunda da redução do volume do sistema, faz com que o gás se aqueça. O mesmo autor afirma que é necessário um trabalho para elevar a temperatura do sistema e com consequência uma elevação da energia interna.

Motores diesel são mais usual em veículos de grande porte, e por meio de segurança veicular os engenheiros projetaram um sistema que impede a saída dos gases afim de aumentar

a pressão no quarto tempo. O quarto tempo, denominado como exaustão ele possui uma vazão de ar otimizada para que não há variação da pressão interna. Já no sistema de freio motor, o fechamento do escapamento faz com que no quarto tempo, o pistão necessita de realizar um trabalho para comprimir esse gás. Sendo assim, o freio motor reduz a velocidade do veículo em descidas íngremes através de uma perda compressiva.

Sendo assim, Marco (2004) conclui que a perda compressiva do freio motor, é referente a uma compressão a mais no ciclo. Visto que o ciclo já possui uma compressão no segundo tempo, e com freio motor acionado ele terá outra elevação de pressão no quarto tempo.



### **3 METODOLOGIA**

Esse capítulo aborda a metodologia do desenvolvimento do trabalho, classificando como formas de levantamento de dados além das descrições dos procedimentos ao longo da elaboração do sistema de economizar combustível dos motores veiculares.

#### **3.1 Tipos de Pesquisa**

De uma forma elementar, pesquisar significa procurar respostas para indagações propostas. Minayo (2003) diz que, de um ponto de vista mais filosófico, acredita que a pesquisa é uma atividade básica das ciências que busca a realidade. É uma atitude e uma prática teórica de constante procura que define um processo inacabado e permanente.

Segundo Gerhardt & Silveira (2009), os diferentes tipos de pesquisa podem ser distinguidos quanto à abordagem, objetivo e procedimentos. Para Danton (2002), existem vários tipos de pesquisa científica, entre elas destaca-se a pesquisa qualitativa e a pesquisa quantitativa.

Quanto à forma de abordagem, este trabalho é classificado como qualitativo, que acordo com Gerhardt & Silveira (2009), a pesquisa qualitativa trabalha com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais intenso das relações, dos processos e dos fenômenos.

Do ponto de vista dos objetivos da pesquisa, esta é classificada como qualitativa, quantitativa, exploratória, bibliográfica e experimental. A pesquisa exploratória, segundo Gil (1999), tem a finalidade de esclarecer, desenvolver e modificar ideias e conceitos tendo em vista hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores, envolvendo levantamento bibliográfico, documental, entrevistas e estudos de caso.

O presente trabalho, portanto, possui caráter exploratório, qualitativo e quantitativo uma vez que tem o objetivo de detalhar conceitos ainda não trabalhados, por muitas vezes criando hipóteses, podendo estar estabelecer novos objetos de estudo ou prioridades de futuras pesquisas na área.

Quanto aos procedimentos técnicos, Gil (1999) diz que a pesquisa bibliográfica se baseia na utilização de livros e obras acadêmicas, sejam estas impressas ou digitalizadas e obtidas via Internet, e também por meio de dados que se obtém através de estudo de casos e

experimentos.

Dessa forma, quanto aos procedimentos técnicos, esta pesquisa é classificada em bibliográfica e documental, por se utilizar de livros, obras acadêmicas e normas técnicas para a sua realização.

### 3.2 Materiais e Métodos

Na Figura 13 está representado as etapas de desenvolvimento do trabalho segundo Norton (2009), no qual a identificação da necessidade se correlaciona com a formulação do problema descrito na Seção 1.1.

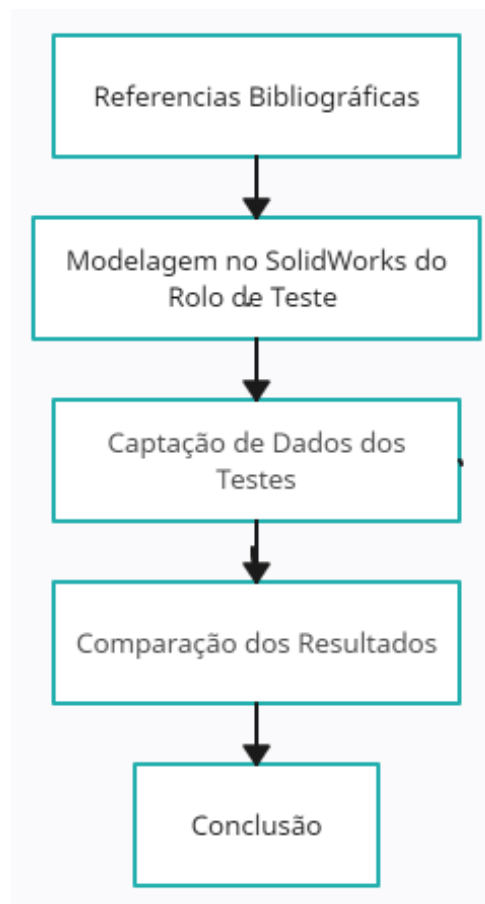


Figura 13 - Fluxograma do Trabalho  
Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Ainda na Figura 13, foi realizada uma pesquisa preliminar direcionada ao estado da arte e revisão bibliográfica para embasamento da necessidade. Uma vez identificada a necessidade do estado da arte foi estabelecido os objetivos do trabalho. Posteriormente, as especificações

de desempenho foram definidas com intuito de produzir um resultado que contribua para a diminuição das perdas por compressão volumétrica do motor numa situação de decida de declive. Superado as etapas anteriores, o próximo passo foi a idealização das possíveis soluções da problemática abordada a fim de atender aos objetivos estabelecidos. Nas etapas de análise e seleção, as ideias para a solução do problema foram ponderadas afim de selecionar a que melhor atendesse aos requisitos. Na descrição do experimento foi elaborada uma bancada de testes a fim de avaliar a solução selecionada para a problemática do trabalho. Após idealização do teste, a bancada foi construída e os resultados foram discutidos.

### **3.2.1 Experimento Prático**

Este estudo visa investigar as perdas compressivas resultantes da taxa de compressão durante situações de desaceleração, quando não há injeção de combustível. Essas perdas podem afetar a eficiência e a velocidade do veículo. O objetivo principal é analisar a resistência mecânica gerada pela compressão dos gases de admissão em um motor de ciclo Otto e seu impacto sobre a potência necessária para a rotação da roda traseira de uma motocicleta.

Neste contexto, as perdas compressivas resultam da compressão de gases na câmara de combustão do motor da motocicleta. Diante disso, foi proposta uma única sugestão viável para mitigar essas perdas. Visto que não foi possível construir componentes específicos para o motor da motocicleta, o objeto de estudo, a fim de variar as condições de operação do fluxo de gases dentro da câmara de combustão, por exemplo, o controle abertura e fechamento das válvulas de admissão e descarga. Então, optou-se por remover a vela de ignição, visto que, sua função primordial é dar ignição na combustão do combustível. Entretanto, os ensaios serão conduzidos com o motor desativado e sem injeção de combustível na câmara de combustão.

A remoção da vela de ignição resultou na formação de um orifício que permite a exaustão do gás comprimido para o ambiente externo. Esse orifício é conhecido como sede da vela e possui uma rosca para fixação. Essa modificação possibilitou a permanência das demais partes móveis do motor em operação, assegurando a realização dos testes adição de variáveis independentes.

A fim de analisar as perdas mecânicas ocasionadas pela compressão dos gases em um motor de ciclo Otto, situação de não injeção de combustível (como ocorre em situações de desaceleração), foi desenvolvida uma plataforma experimental. Esta bancada visa quantificar a resistência mecânica gerada pelos gases comprimidos, por meio da medição da potência requerida para girar a roda traseira de uma motocicleta – o foco do estudo. A bancada foi

concebida com base em um dinamômetro de rolos convencional, porém com uma inovação crucial: os rolos personalizados não apresentam resistência, mas sim atuam para impulsionar a roda traseira da motocicleta. Isso foi viabilizado através da incorporação de um motor elétrico ao sistema de rolos, responsável por acioná-los. A potência do motor elétrico empregada para acionar os rolos foi quantificada e monitorada utilizando um alicate wattímetro modelo MINIPA-ET-4091. A investigação da resistência mecânica resultante da compressão dos gases foi conduzida em um motor ciclo Otto de quatro tempos, simulando a condição de ausência de injeção de combustível. Foram avaliadas três condições: motor com vela de ignição e engrenado em 5ª marcha; motor sem vela de ignição e engrenado em 5ª marcha; e motor com vela de ignição e em ponto morto (neutro).

A figura 14 exibe um esboço da montagem da bancada de testes. Os elementos utilizados para construção foram: rodas de kart (renomeadas com a letra C) são a base para a roda traseira da moto e com um motor elétrico (renomeado com a letra A) que rotaciona uma das rodas de kart por meio da correia (renomeada com a letra B), para a moto não cair do dinamômetro, foi utilizado dois esticadores (renomeado com a letra D).

A moto de teste foi uma Honda Bros 160 com motor mono cilindro de 4 tempos, com cabeçote de 2 válvulas. Diâmetro do cilindro de 57,3mm e um curso de biela de 63mm, tendo assim seus 162,7cm<sup>3</sup> com taxa de compressão de 9,5:1 conseguindo uma potência de 14,7cv a 8500rpm e um torque máximo de 1,6kgf a 5500rpm(HONDA).

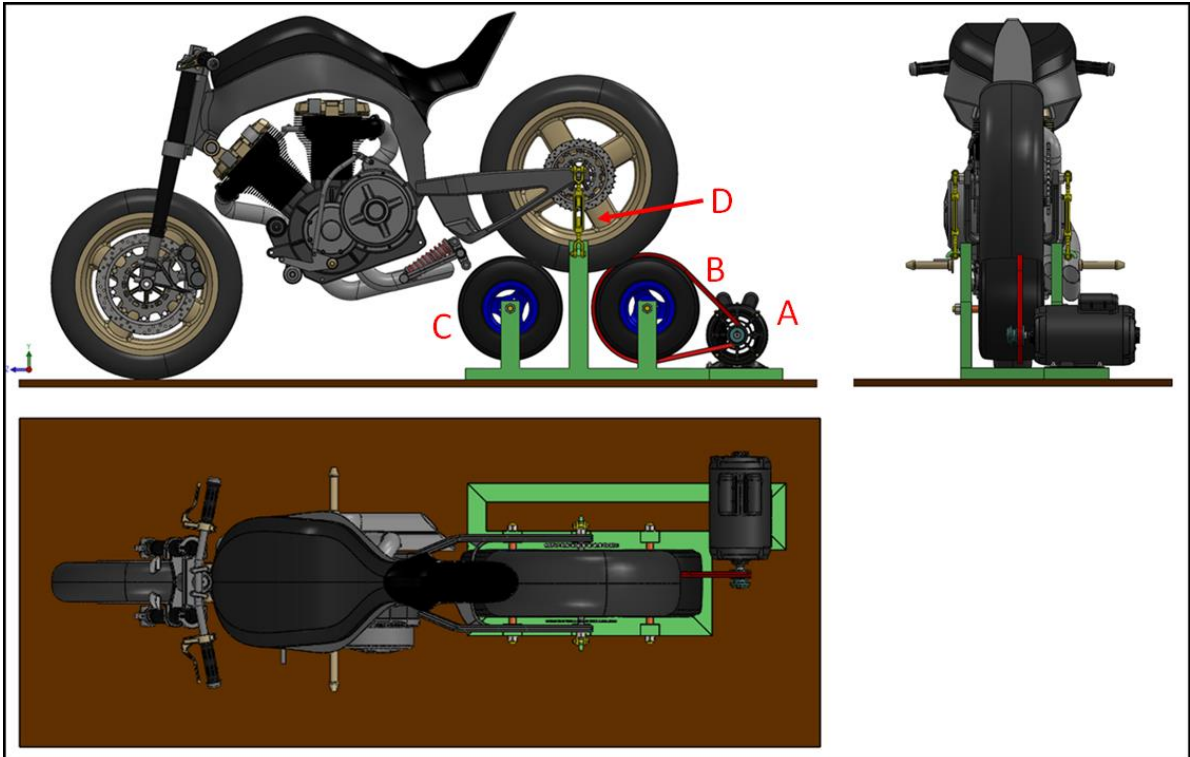


Figura 14 - Dinamômetro

Fonte : Pesquisa Direta (2023)

O motor elétrico do sistema foi um NOVA de 2cv de potência, sendo ligado na rede de 220v e 60hz, com 1680rpm. Para a medição de potência elétrica foi usado um alicate amperímetro que iria monitorar o consumo de energia desse motor.

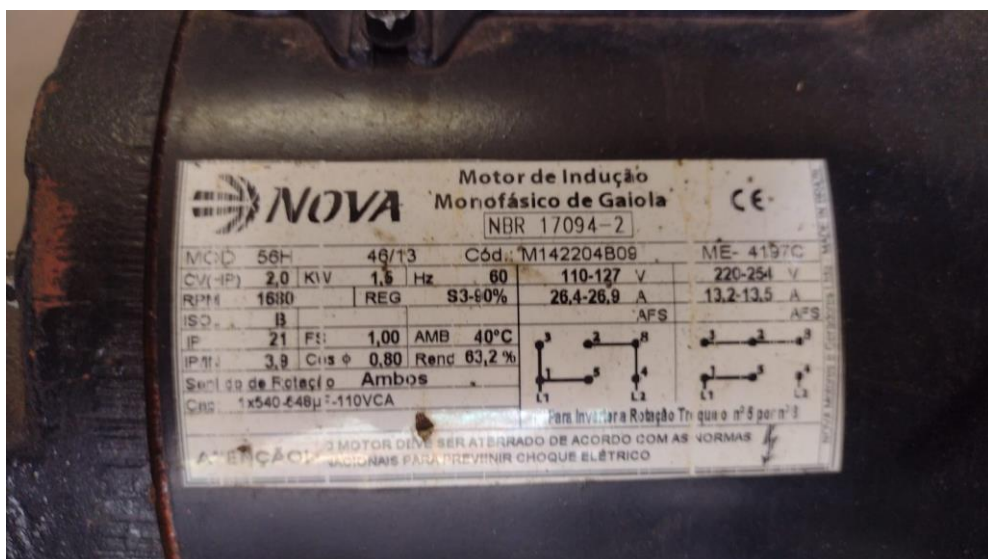


Figura 15 – Motor Elétrico

Fonte: Pesquisa Direta (2023)

### 3.3 Variáveis e Indicadores

Lakatos e Marconi (2003) define variável como uma classificação ou medida que varia, que contem ou apresenta valores que variam, podem ser classificada como variáveis independente ou dependente.

Segundo Paladini (2005) indicadores é um elemento que possui objetivo de apontar ou mostrar algo, expressando o desempenho de algum processo, possibilitando uma melhoria continua.

As variáveis dessa dissertação na Tabela 2, sendo que, cada variável tem seu indicador presente que são necessários para as análises do estudo.

Tabela 2 - Variáveis e Indicadores

| Variáveis                                                           | Indicadores           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Compressão volumétrica (Ciclo Otto)<br>Perda mecânica (transmissão) | Potência elétrica (W) |

Fonte: Pesquisa Direta (2023).

### 3.4 Instrumento de Coleta de Dados

Para coleta dos dados foi utilizado um alicate wattímetro MINIPA-ET-4091, no qual foram realizadas medições de potência do motor elétrico.

### 3.5 Tabulação de Dados

Para tabulação de dados foi utilizado o *software Microsoft Excel*.

### 3.6 Considerações Finais

Nesse capítulo foi demonstrado a metodologia usada durante o trabalho para aquisição de dados experimentais necessários.

No próximo capítulo os resultados obtidos serão demonstrados, como as análise do três experimentos do sistema cinemático do motor engrenado com vela; engrenado sem a vela e desengrenado. Os resultados serão valores de potência elétrica, potência consumida para rodar o motor a combustão, e esses valores darão um parâmetro de comparação entre os experimentos para conseguir estudar as perdas compressivas.

## 4 RESULTADOS

Este capítulo expõe os resultados obtidos após os experimentos práticos realizados para aferição e monitoramento da potência elétrica do motor acoplado a bancada de testes para diferentes condições de operação do motor ciclo Otto objeto desse estudo.



Figura 16 – Rolo de Teste  
Fonte: Pesquisa Direta (2023)

Conforme idealizado na Seção 3.2.1, a bancada de teste foi montada como demonstra a figura 16. Sua estrutura metálica foi construída com sobras de matérias coletados no Laboratório de Elementos de Máquinas da Universidade Federal de Ouro Preto. A proposta da bancada experimental, denominada neste trabalho como "rolos de teste", foi efetuar a aquisição de dados relacionadas a resistência mecânica decorrente da compressão dos gases de admissão no motor da motocicleta por meio da aferição e monitoramento da potência consumida pelo motor elétrico responsável pelo acionamento dos rolos, ou seja, quanto maior a potência elétrica consumida, para acionamento dos rolos, maior será a resistência mecânica decorrente da compressão dos gases de admissão para uma determinada condição de operação do motor da motocicleta. Logo, a bancada de testes apresenta a capacidade de conduzir a coleta de dados com vistas à sua posterior avaliação.

No contexto da avaliação da resistência mecânica decorrente da compressão dos gases de admissão, é fundamental considerar as variáveis operacionais, tais como a carga aplicada e

as condições de operação. Além disso, a análise dos dados coletados permitirá identificar padrões de perdas em diferentes regimes de funcionamento, contribuindo para otimização de eficiência e aprimoramento do desempenho do motor. Ademais, a bancada pode ser empregada para investigar potenciais áreas de melhoria nos componentes internos do motor que contribuem para as perdas, como selos mecânicos, sistemas de lubrificação e resistência ao fluxo. Dessa forma, a integração da bancada de testes com técnicas de análise de dados possibilita a obtenção de resultados valiosos para o desenvolvimento de estratégias de aprimoramento de eficiência energética e redução de perdas no motor.

#### 4.1 Condição de operação: motor com vela de ignição e em 5ª marcha

Após o posicionamento da motocicleta no rolo de teste, conforme figura 16, o motor elétrico foi acionado. Conforme demonstrado na figura 17, o alicate wattímetro foi configurado no modo de medição de potência elétrica, então, foi realizada medição da potência consumida pelo motor elétrico para acionamento da roda traseira da motocicleta.

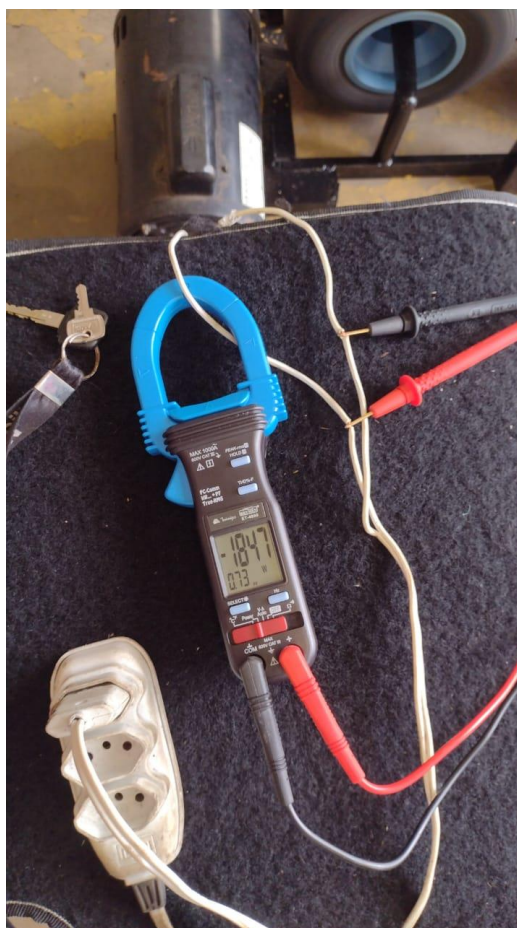


Figura 17 – Aferição da Potência em Regime com Vela  
Fonte: Pesquisa Direta (2023)



Nesta condição de operação na qual o motor da motocicleta está com a vela de ignição e em 5ª marcha, o valor da potência média consumida pelo motor elétrico responsável pelo acionamento da bancada de rolos foi de 1824,2 W. Afim de salientar que a motocicleta estava desligada, portanto, não estava injetando combustível, no momento da medição da potência consumida pelo motor elétrico, pode-se observar na figura 17 que a chave de partida está ao lado do alicate wattímetro.

Na figura 18 estão demonstrados os valores de potência instantânea do motor elétrico, 1847w, 1861w, 1823w, 1798w e 1782w referentes a 5 medições, estas foram registradas após 10 segundos de funcionamento.

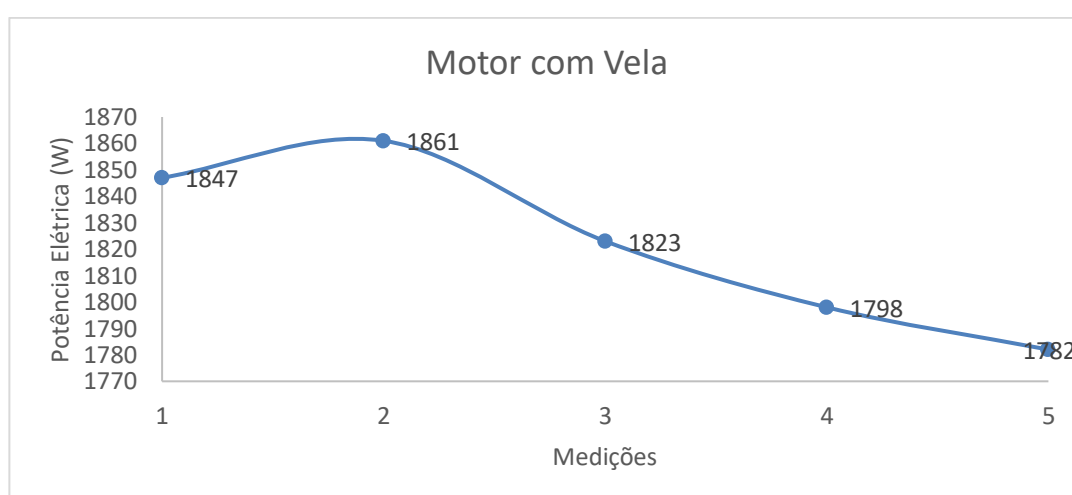


Figura 18 – Resultados em Regime com Vela  
Fonte: Pesquisa Direta (2023)

A potência elétrica média consumida de 1824,2 W corresponde à dissipação energética ocasionada pelo atrito presente tanto no rolo de teste quanto nos componentes internos do motor, incluindo as perdas na transmissão provocadas pela corrente. Nesse cálculo cumulativo de potência, também se englobam a resistência mecânica decorrente da compressão dos gases de admissão. No entanto, a determinação precisa dessa resistência mecânica de caráter compressivo exige procedimentos de teste adicionais, os quais, não serão executados neste trabalho.

#### 4.2 Condição de operação: motor sem vela de ignição e em 5ª marcha

Neste experimento, optou-se por remover a vela de ignição, o intuito foi simular um alívio de pressão, ou seja, no tempo dois (Seção 2.2) do motor da motocicleta não haveria

compressão dos gases de admissão, portanto, a resistência mecânica da compressão seria reduzida ou eliminada, pois o ar sairia pelo orifício de encaixe da vela no cabeçote do motor.

Conforme demonstrado na figura 19 o alicate wattímetro foi configurado no modo de medição de potência elétrica, assim, foi realizada a medição da potência consumida pelo motor elétrico para acionamento da roda traseira da motocicleta na condição de operação do motor da motocicleta sem a vela de ignição e em 5ª marcha.



Figura 19 – Aferição da Potência sem Vela  
Fonte: Pesquisa Direta (2023)

Na figura 20 estão demonstrados os valores de potência instantânea do motor elétrico, 1824 W, 1816 W, 1806 W, 1792 W e 1793 W referentes a 5 medições, estas foram registradas após 10 segundos de funcionamento. A potência média consumida pelo motor elétrico para acionar (rotacionar) o motor em condição de “motor sem vela” foi de 1806,2 W.

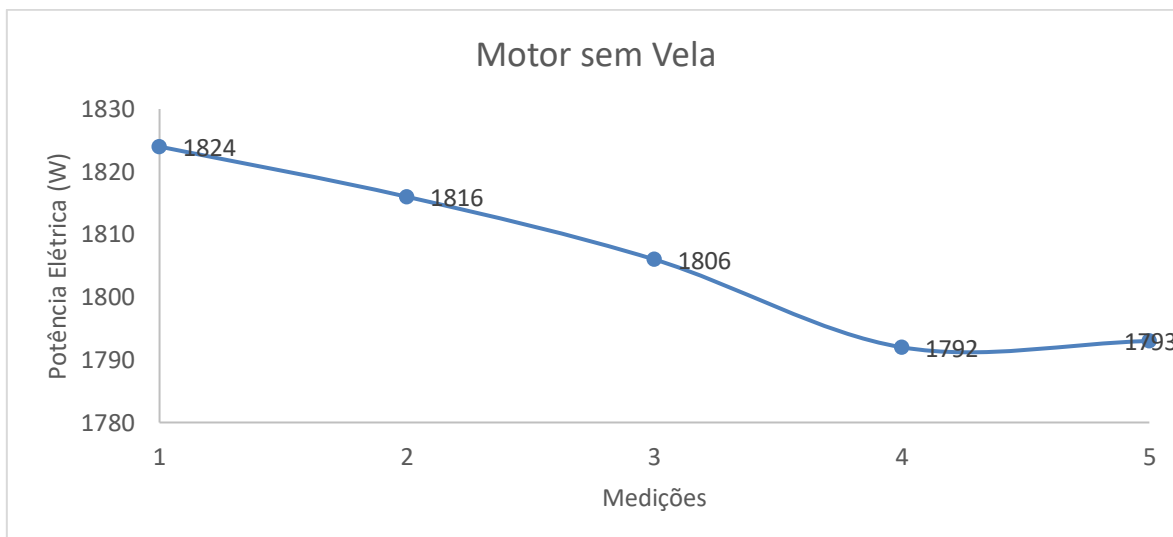


Figura 20 – Resultados sem Vela  
 Fonte : Pesquisa Direta (2023)

A potência elétrica média consumida de 1806,2 W corresponde à dissipação energética ocasionada pelo atrito presente tanto no rolo de teste quanto nos componentes internos do motor, incluindo as perdas na transmissão provocadas pela corrente. Nesse cálculo cumulativo de potência, considerando a condição de operação da motocicleta, a hipótese admitida foi que não houve resistência mecânica significativa na compressão.

#### 4.3 Condição de operação: motor com vela de ignição e em neutro

Neste experimento foi a vela de ignição foi instalada na motocicleta, porém com a moto em neutro. Com o motor em neutro, não há movimentação do pistão, sendo assim não possui perdas por compressão e por atrito do pistão no cilindro. O objetivo desta investigação foi determinar o consumo de potência necessário para ativar o motor da motocicleta, com o intuito de avaliar a relevância da resistência mecânica originada pela compressão dos gases de admissão. Esse estudo busca estabelecer se essa resistência é significativa em comparação ao acionamento da roda da motocicleta na ausência de funcionamento do motor.

Conforme demonstrado na figura 21 o alicate wattímetro foi configurado no modo de medição de potência elétrica, assim, foi realizada a medição da potência consumida pelo motor elétrico para acionamento da roda traseira da motocicleta na condição de operação do motor da motocicleta com a vela de ignição e em neutro.



Figura 21 – Aferição da Potência em Neutro.  
Fonte: Pesquisa Direta (2023)

Na figura 22 estão apresentados os valores de potência instantânea do motor, referentes a 5 medições, estas foram registradas usando o mesmo parâmetro de 10 segundos após o funcionamento do motor elétrico. A potência média consumida pelo motor elétrico como demonstrado na figura 16, em regime “neutro” foi de 1229,2 W.

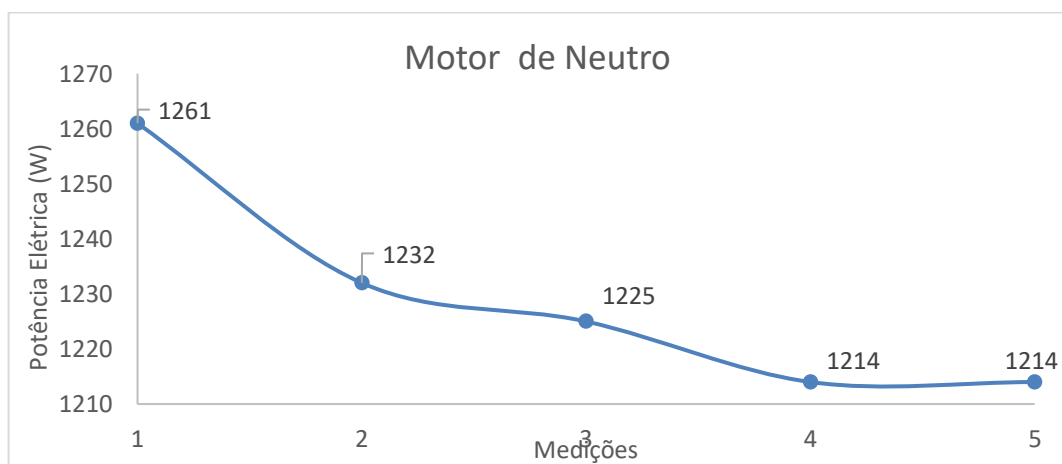


Figura 22 – Resultados em Neutro.  
Fonte: Pesquisa Direta (2023).

## 4.4 Comparação Entre os Experimentos

Os ensaios experimentais realizados possibilitaram a análise da resistência mecânica decorrente da compressão dos gases de admissão, visto que, três testes distintos foram conduzidos, cada um representando simulando uma condição de operação da motocicleta. Essa abordagem permitiu a comparação entre testes e a proposição dos resultados obtidos, possibilitando uma análise mais abrangente das perdas em questão.

### 4.4.1 Análise Estatística

Estatisticamente, aplicando a análise da variância (Anova: fator único) com nível de significância de 0,05, concluiu-se que a variância entre os grupos analisados, motor com vela de ignição com engrenamento da quinta marcha (Com vela), motor sem vela de ignição com engrenamento da quinta marcha (Sem vela) e motor sem engrenamento de marcha (Neutro) apresentaram diferenças significativas, conforme descrito na tabela 3. Ou seja, pela análise da Anova os resultados sugerem que pelo menos um dos grupos analisados apresentam diferenças significativas entre os demais.

Tabela 3 - Análise Estatística: Anova (Único fator)

| RESUMO       |                 |             |              |                  |  |  |
|--------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|--|--|
| <i>Grupo</i> | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> |  |  |
| Com vela     | 5               | 9121        | 1824,2       | 899,7            |  |  |
| Sem Vela     | 5               | 9031        | 1806,2       | 197,2            |  |  |
| Neutro       | 5               | 6146        | 1229,2       | 374,7            |  |  |

| ANOVA                    |           |           |           |          |                |                  |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
| Entre grupos             | 1145463   | 2         | 572731,7  | 1167,569 | 1,79E-14       | 3,885294         |
| Dentro dos grupos        | 5886,4    | 12        | 490,5333  |          |                |                  |
| Total                    | 1151350   | 14        |           |          |                |                  |

Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Uma vez que há diferenças na variância de pelo menos um dos grupos, aplicou-se o método de Test-t, com nível de significância de 0,05, a fim de avaliar se há diferenças significativas entre as médias dos grupos de amostras (Tabela 4).

Tabela 4 - *Teste-t*: duas amostras presumindo variâncias diferentes – Comparativo: (a) Com vela x Sem vela; (b) Com vela x Neutro; (c) Sem vela x Neutro.

|                                | <b>Com vela</b>    | <b>Sem Vela</b> |                                | <b>Com vela</b>    | <b>Neutro</b> |
|--------------------------------|--------------------|-----------------|--------------------------------|--------------------|---------------|
| Média                          | 1824,2             | 1806,2          | Média                          | 1824,2             | 1229,2        |
| Variância                      | 899,7              | 197,2           | Variância                      | 899,7              | 374,7         |
| Observações                    | 5                  | 5               | Observações                    | 5                  | 5             |
| Hipótese da diferença de média | 0                  |                 | Hipótese da diferença de média | 0                  |               |
| gl                             | 6                  |                 | gl                             | 7                  |               |
| <b>Stat t</b>                  | <b>1,215273391</b> |                 | <b>Stat t</b>                  | <b>37,26911556</b> |               |
| P(T<=t) uni-caudal             | 0,134953935        |                 | P(T<=t) uni-caudal             | 1,30169E-09        |               |
| t crítico uni-caudal           | 1,943180281        |                 | t crítico uni-caudal           | 1,894578605        |               |
| P(T<=t) bi-caudal              | 0,269907869        |                 | P(T<=t) bi-caudal              | 2,60339E-09        |               |
| <b>t crítico bi-caudal</b>     | <b>2,446911851</b> | <b>(a)</b>      | <b>t crítico bi-caudal</b>     | <b>2,364624252</b> | <b>(b)</b>    |

|                                | <b>Sem Vela</b>    | <b>Neutro</b> |
|--------------------------------|--------------------|---------------|
| Média                          | 1806,2             | 1229,2        |
| Variância                      | 197,2              | 374,7         |
| Observações                    | 5                  | 5             |
| Hipótese da diferença de média | 0                  |               |
| gl                             | 7                  |               |
| <b>Stat t</b>                  | <b>53,95115754</b> |               |
| P(T<=t) uni-caudal             | 9,85132E-11        |               |
| t crítico uni-caudal           | 1,894578605        |               |
| P(T<=t) bi-caudal              | 1,97026E-10        |               |
| <b>t crítico bi-caudal</b>     | <b>2,364624252</b> | <b>(c)</b>    |

Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Os resultados da análise do Teste t, representados na Tabela 4, sugerem que as médias entre os grupos “Com vela” e “Sem vela” não apresentaram diferenças significativas, esse fenômeno será discutido nas próximas seções. No entanto, os resultados comparativos referentes as análises “Com vela” e “Neutro”, e, “Sem vela” e “Neutro” apresentaram diferenças significativas, ou seja, o motor sem engrenamento de marcha (Neutro) consome menos energia que os demais grupos analisados. Esse resultado era esperado, visto que não há resistência mecânica para movimentar do motor da motocicleta.

#### 4.4.2 Análise comparativa entre “Com vela de ignição” e “Sem vela de ignição”

Considerando que há perda de energia cinética do motor na compressão dos gases de admissão dentro da câmara de combustão em regime não acelerado, então, foi proposto a hipótese de retirar a vela de ignição para avaliar se nessa condição o motor perderia menos energia cinética quando comparada o motor com a vela de ignição. Os resultados sugerem que não há diferenças significativas entre uma condição e outra, conforme descrito na Seção 4.4.1, na qual observou-se que a potência consumida pelo motor elétrico no acionamento da roda traseira da motocicleta não foi significativa, sendo de 1824,2 W (Regime Normal, com vela de ignição) e 1806,2 W (sem vela de ignição).

Admitiu-se que este fenômeno ocorreu, pois, o orifício da vela, por onde os gases de compressão saíam do motor e, diminuiria as perdas devido a compressão, tem um diâmetro reduzido, cerca de 8mm, que corresponde a uma área de seção transversal de 50,24 mm<sup>2</sup>. Esse valor é muito menor que o necessário para o escoamento dos gases quando comparado a seção transversal do duto de admissão que tem área de seção transversal (elíptica) de, aproximadamente, 500 mm<sup>2</sup>.

Quando comparada a área da seção transversal do orifício da vela e do duto de admissão, observou-se que o orifício da vela é cerca de 10 vezes menor. Portanto, os resultados sugerem que o fluxo dos gases de admissão foi ineficiente, visto que esse pequeno furo gerou uma resistência na passagem do ar, tanto na saída quanto na entrada. O entendimento foi de que a forma e diâmetro da entrada do furo da vela criaram uma região de baixa pressão na sucção dos gases de admissão, gerando um vácuo no interior do cilindro e aumentando a resistência mecânica durante a admissão. Logo, o furo da vela em vez de contribuir para o alívio de pressão e, conseqüentemente, para diminuição da resistência mecânica, manteve a resistência semelhante a condição de operação com vela de ignição.

Conforme apresentado na Seção 2.2.1 (figura 10 - ciclo Otto), uma análise do ciclo mostra que se houvesse um dimensionado para vazão dos gases não haveria um aumento da resistência mecânica decorrente tanto da compressão quanto da sucção. Visto que no primeiro tempo, admissão, como a vazão é dimensionada para tal operação, não haveria aumento significativo de resistência mecânica. Como a variação de pressão gera perda, os resultados experimentais sugerem que, se não tivesse tido resistência no fluxo dos gases de admissão, a potência elétrica consumida para o acionamento da roda traseira da motocicleta (banca de testes) teria sido menor na condição de teste “sem a vela de ignição e em 5ª marcha” quando comparada a condição de teste “com vela de ignição e em 5ª marcha”.

A figura 23 representa a curva pressão *versus* volume (ciclo Otto) com adaptações, estas, corroboram para a sustentação da hipótese admitida na condição de teste “sem vela”.

- No segmento 1-2 (figura 23) ocorre a admissão do comburente, sem aumento de pressão interna. Visto que o ar admitido vem pela válvula de admissão que possui uma vazão otimizada;
- No segmento 2-3 (figura 23) ocorre um aumento de pressão devido ao furo da vela ser pequeno, a pressão não sobe tanto, pois o furo consegue escapar um pouco dos gases. Porém o esperado era que não houvesse variação da pressão;

- No segmento 3-4 (figura 23) demonstra o início da geração do vácuo, esse, acontece no terceiro tempo, um fenômeno também não era esperado;
- No segmento 4-2 (figura 23) ocorre uma queda de pressão devido ao vácuo proporcionado pelo furo da vela. Nesse tempo as válvulas estão fechadas, com a descida do pistão gera uma sucção pelo furo. A pressão vai aumentando até normalizar com a pressão atmosférica;
- No segmento 2-1 (figura 23) ocorre a exaustão dos gases pela válvula de escape, porém essa exaustão não ocorre um aumento de pressão interna, pois temos um área maior para vazão que é a válvula de escape.

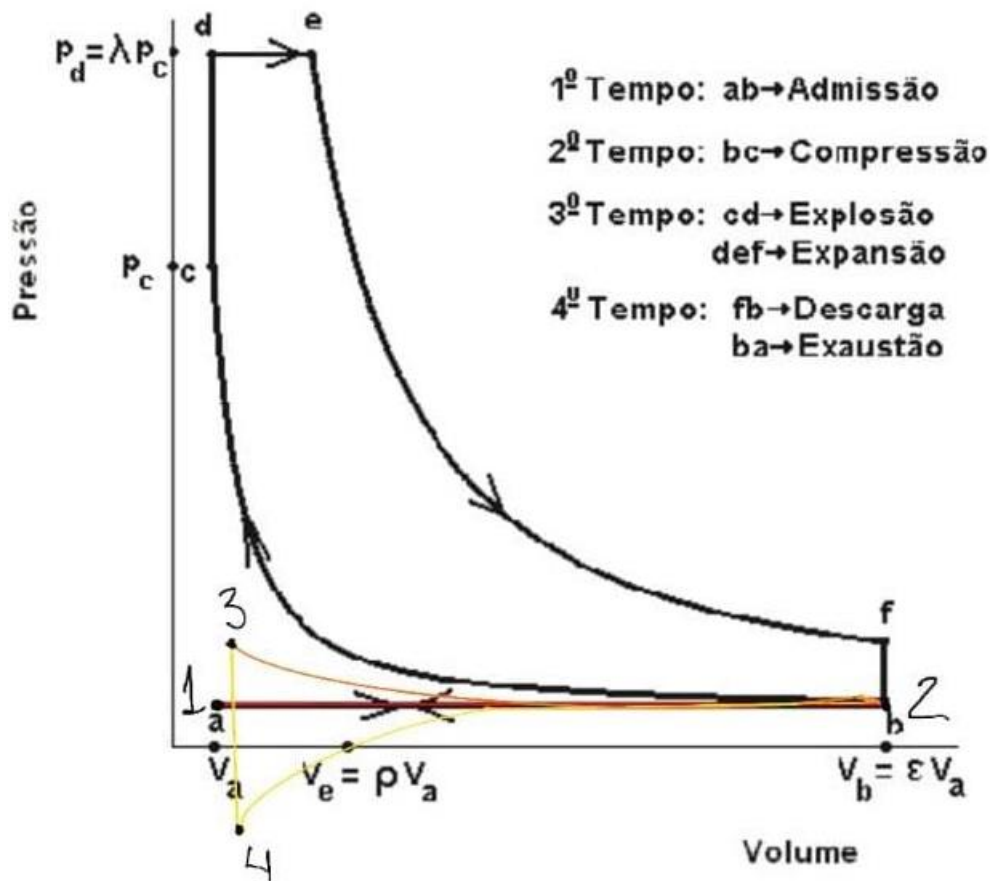


Figura 23 – Ciclo Otto sem Vela.  
 Fonte: Pesquisa Direta (2023).

No experimento “com a vela”, representado na figura 24, para compreensão do acontecimento, sendo assim:



- No primeiro tempo, admissão, ele corresponde ao segmento 1-2 (figura 24). Sem variação de pressão pelo mesmo motivo que a válvula de admissão tem vazão volumétrica otimizada;
- No segundo tempo, compressão, corresponde ao segmento 2-3 (figura 24). O aumento de pressão se dá, pois, não tem por onde o gás sair.
- No terceiro tempo, que seria a combustão, segmento 3-2 (figura 24), a mesma não ocorre pois não tem injeção de combustível. Porém a pressão interna da câmara que foi gerada no segundo tempo (compressão), ajuda a retomada do pistão para baixo, impulsionando ele. Sendo assim, o gasto de energia para comprimir o gás, foi retornado um pouco ao sistema, pois ao pistão iniciar processo de descida havia uma pressão que resultou numa força ajudando o movimento de descida do pistão. Sendo assim, parte da energia interna do gás é convertido em trabalho do pistão, a expansão do gás comprimido, ‘efeito mola’ (sem haver a combustão).
- No quarto tempo, exaustão, segmento 2-1 (figura 24), a válvula de escape abre e libera os gases sem ter variação na pressão.

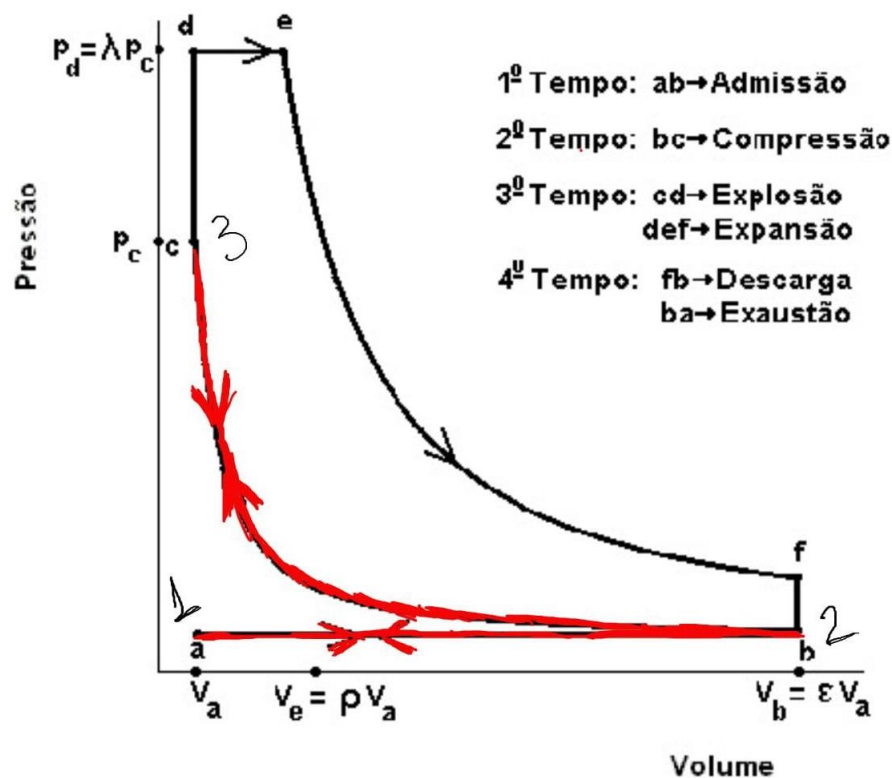


Figura 24 – Ciclo Otto com Vela.  
 Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Com base nessa discussão, os resultados sugerem o do porquê dos experimentos possuíram a potência elétrica para rotacionar. Visto que no experimento sem a vela, possui uma geração de perdas por vácuo e resistência para saída dos gases, e já no sistema com a vela possui um ‘efeito mola’ que utiliza a expansão do gás comprimido para mover o pistão, retornando a energia consumida na compressão.

#### **4.4.3 Análise comparativa entre “com vela de ignição: 5ª marcha e Neutro”**

A análise dos resultados alcançados sugere que a compressão dos gases de admissão admitido pelo motor da motocicleta operando na condição “com vela de ignição e em 5ª marcha” impõe um acréscimo de 48,4% na demanda de potência elétrica do motor de acionamento dos rolos de testes quando comparado a condição de operação da motocicleta em neutro, situação na qual o conjunto móvel (pistão, virabrequim, comando de válvulas, etc.) do motor a combustão da motocicleta não se movimentam. Tal evidência aponta para a influência significativa da compressão dos gases sobre o consumo energético do motor, destacando a relevância dessa variável no contexto da eficiência e desempenho do sistema.

## 5 CONCLUSÃO

### 5.1 Conclusões

Este estudo focou em investigar as perdas por compressão dos gases de admissão que ocorrem durante situações de desaceleração em um motor de ciclo Otto, quando não há injeção de combustível. Essas perdas podem afetar a eficiência e velocidade do veículo. O objetivo principal foi analisar a resistência mecânica causada pela compressão dos gases de admissão no motor de uma motocicleta e seu impacto na potência necessária para girar (acionar) a roda traseira da mesma, objeto de estudo.

Neste contexto, uma bancada experimental de rolos foi desenvolvida para acionar a roda traseira da motocicleta a qual atendeu as necessidades do trabalho possibilitando a mensuração e monitoramento da potência consumida do motor elétrico de acionamentos dos rolos (banca de testes), para diferentes condições de operação da motocicleta, sendo elas: com vela de ignição e em 5ª marcha, sem vela de ignição e em 5ª marcha, e com vela de ignição em ponto morto (neutro).

Os principais resultados obtidos considerando cada condição de operação, foram:

- Motor com vela de ignição e em 5ª marcha: a potência média consumida pelo motor elétrico para acionar a roda traseira da motocicleta foi de 1824,2 W.
- Motor sem vela de ignição e em 5ª marcha: a vela de ignição foi removida para simular um alívio de pressão, assim, a potência média consumida pelo motor elétrico para acionar o motor nessas condições foi de 1806,2 W.
- Motor com vela de ignição e em neutro: o motor foi operado com a vela de ignição, mas em neutro, sem movimentação do pistão. A potência média consumida pelo motor elétrico para ativar o motor em neutro foi de 1229,2 W.
- Análise estatística: os resultados dos experimentos foram comparados estatisticamente usando análise de variância (Anova) e teste-t, estes, sugerem que os grupos analisados (com vela, sem vela, neutro) apresentaram diferenças significativas em suas médias de potência consumida para acionamento do motor elétrico. O teste-t revelou que a condição "neutro" consumiu menos energia do que as outras condições, devido à ausência de resistência mecânica decorrente da compressão dos gases de admissão pelo motor da motocicleta.

- Análise comparativa entre "com vela de ignição" e "sem vela de ignição": a hipótese de que a remoção da vela de ignição reduziria a resistência mecânica da compressão não foi confirmada. Os resultados indicaram que o pequeno diâmetro do orifício da vela de ignição gerou uma resistência na passagem dos gases, logo, essa dimensão e forma do orifício de encaixe da vela de ignição não contribuiu para diminuição da resistência mecânica.
- Análise comparativa entre "com vela de ignição - 5ª marcha e neutro": destacou-se a influência significativa da compressão dos gases de admissão, portanto, a operação do motor em 5ª marcha com a vela de ignição resultou em um acréscimo de 48,4% no consumo de energia em comparação com a operação em neutro.

Em síntese, o estudo demonstrou que a compressão dos gases de admissão do motor da motocicleta, objeto de estudo, é significativa. E que, o desenvolvimento de uma válvula de alívio de pressão pode ser um meio para reduzir a resistência mecânica ao movimento da motocicleta em uma condição de não injeção de combustível (situações de decida e/ou sem aceleração).

## **5.2 Recomendações**

A partir do estudo realizado é recomendado o seguinte trabalho futuro:

- Desenvolvimento de um cabeçote contendo uma válvula de alívio afim de reduzir a resistência mecânica decorrente da compressão dos gases de admissão de um motor de ciclo Otto.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- BOSCH. **ME – Motronic Engine Management**. 1ª. Ed. Stuttgart: Robert Bosch GmbH (1999).
- BOSCH, R.. **Manual de tecnologia automotiva**. Brasil: Edgard Blücher.(2005).
- BRUNETTI, F. **Motores de Combustão Interna - Vol. 1**. (2018). Brasil: Edgard Blücher (2018).
- COSTA. Paulo G. **A bíblia do automóvel** . edição eletrônica. 2001-2002
- DANTON G. . **Metodologia Científica**. Pará de Minas: Virtualbooks, (2002). 23p.
- FEGALHI, J.P. **Mecânica dos Fluidos Hidrostática e Cinemática 1**; 1974
- GERHARDT T. E.; SILVEIRA D. T. **Métodos de Pesquisa**. UFRGS Editora (2009)
- GIL C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. Editora Atlas, São Paulo (1999).
- GUIMARÃES, CLAUDINEI. **Controle e Monitoramento de Poluentes Atmosféricos**. Editora Elsevier Brasil 2017.
- HEYWOOD, P. J., HEYWOOD, J. **Internal combustion engine fundamentals**. Reino Unido: McGraw-Hill Education (1988).
- MACKENZIE, L. Davis. **Princípios de Engenharia Ambiental**. N.p., Editora McGraw Hill Brasil, 2016.
- MARCO R. **Mecânica Diesel: Caminhões – Pick-up – Barcos**. – 1ed, Editora Hemus, 2004
- MINAYO M. C. S.. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 22 ed. Rio de Janeiro (2003).
- NORTON, R.L. **Cinemática e Dinâmica dos Mecanismos**. Porto Alegre, Ed. AMGH / McGraw Hill, 1ª. ed. 2009.
- PENIDO FILHO, Paulo. **Os motores a combustão interna**. Edição2. editora LEMI S.A, 1992.
- SILVA, Sandro Eduardo Borgi Ferreira da. : **Estudo do sistema de injeção eletrônica de combustível em motocicletas**. Mogi Mirim, 2012. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAFtjsAJ/monografia-conclusao-curso>>. Acesso em: 06/11/23
- SONNTAG, R. E., Borgnakke, C. **Fundamentos da termodinâmica**. Brasil: Editora Edgard Blücher (2018).

SONNTANG, R. E., VAN WYLEN, G. J. **Fundamentos da Termodinâmica Clássica**. Brasil: Edgard Blücher(1994).

TURNER, S. R. **Introdução à Combustão** - 3ed: Conceitos e Aplicações. (n.p.): AMGH Editora (2013).

VIEGAS, J.C. **Tribologia**,2003 s.d.

WRESZINSKI, W. F. **Termodinâmica** Vol. 50. Brasil: EDUSP (2003).

YUNUS A. Çengel, MICHAEL A. Boles. **Termodinâmica** - 7ed. N.p., Bookman Editora, 2013.

Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. (2020). (n.p.): Oficina de Textos.