



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS CAMPUS CARAÚBAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Natália Tamise da Silva Lima

**Desenvolvimento de um sistema para melhor consumo de combustível em um motor
ciclo Otto**

CARAÚBAS

2024

Natália Tamise da Silva Lima

Desenvolvimento de um sistema para melhor consumo de combustível em um motor ciclo
Otto

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

Orientador: Rudson de Souza Lima, Prof. Dr.

CARAÚBAS

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

L732d Lima, Natália Tamise Da Silva.
Desenvolvimento de um sistema para melhor
consumo de combustível em um motor ciclo Otto. /
Natália Tamise Da Silva Lima. - 2024.
46 f. : il.

Orientador: Rudson De Souza Lima.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2024.

1. Ciclo Otto. 2. Gasolina vaporizada. 3.
Carburador. I. Lima, Rudson De Souza, orient. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Natália Tamise da Silva Lima

Desenvolvimento de um sistema para melhor consumo de combustível em um motor ciclo
Otto

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

Defendida em: 24 / 10 / 2024.

BANCA EXAMINADORA

Rudson de Souza Lima, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Italla Medeiros Bezerra, Prof. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

Rafael Luz Espíndola, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me ter concedido a oportunidade de chegar até aqui. Sou grata pelo cuidado e proteção ao longo dos anos, pela coragem que me deu e por me manter firme e motivada em cada momento deste trabalho.

Quero expressar minha profunda gratidão aos meus pais, Francisco Ferreira Lima e Adna Maria da Silva Lima, pelo incentivo e apoio incondicionais ao longo de toda a minha trajetória. Eles são parte fundamental de cada uma das minhas conquistas, e sou imensamente grata por tudo o que fizeram por mim.

Sou imensamente grata aos meus irmãos, Adnélia Medeiros e Sílvia Alison, por estarem sempre ao meu lado. Amo vocês! Agradeço também aos meus sobrinhos, Adryan e Karen, pelo apoio e compreensão durante este período de ausência. Tia ama muito vocês!

Gostaria de expressar minha sincera gratidão ao meu professor orientador, Rudson de Souza Lima, por ter aceitado ser meu guia nesta jornada. Suas orientações valiosas, conversas inspiradoras e constante incentivo foram essenciais para a realização deste trabalho.

Por fim, gostaria de agradecer à banca examinadora por ter aceitado o convite e por todas as sugestões que contribuíram para a melhoria deste trabalho. Também quero expressar minha sincera gratidão a todos os professores que fizeram parte da minha trajetória acadêmica, pelos ensinamentos que foram essenciais para o meu crescimento.

A todos vocês, muito obrigada!

RESUMO

O motor de combustão interna de ciclo Otto tem sido aperfeiçoado para alcançar melhor desempenho, durabilidade e confiabilidade. Esta monografia apresenta o desenvolvimento de uma técnica para produzir vapor de gasolina a ser utilizado em um motor ciclo Otto de 4 tempos. O problema proposto é desenvolver uma maior eficiência e reduzir o consumo de combustível no motor. Para resolver esse problema, foi necessário compreender o funcionamento dos motores ciclo Otto desde seu surgimento até os dias atuais, além de entender o princípio de utilização de um carburador. Com base em pesquisas sobre produções caseiras de vapor de gasolina disponíveis na internet, foi necessário comprovar o funcionamento de um motor utilizando vapor de gasolina. Com o motor funcionando, utilizou a equação de balanço de energia, e com o resultado, comprovou-se que o vapor de gasolina tem o poder calorífico maior que a gasolina líquida.

Palavras-chave: Ciclo Otto; Gasolina Vaporizada; Carburador.

ABSTRACT

The internal combustion engine operating on the Otto cycle has been refined to achieve better performance, durability, and reliability. This thesis presents the development of a technique to produce gasoline vapor to be used in a 4-stroke Otto cycle engine. The proposed problem is to develop greater efficiency and reduce fuel consumption in the engine. To address this issue, it was necessary to understand the operation of Otto cycle engines from their inception to the present day, as well as to grasp the principle of using a carburetor. Based on research into homemade gasoline vapor production available on the internet, it was necessary to verify the operation of an engine using gasoline vapor. With the engine functioning, the energy balance equation was applied, and the results confirmed that gasoline vapor has a higher calorific value than liquid gasoline.

Keywords: Otto Cycle; Vaporized Gasoline; Carburetor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo P-V do motor de Leonardo e Huygens.....	14
Figura 2 - Turbina a gás de Barber.	15
Figura 3 - Veículo de Rivaz com motor de combustão interna por si desenvolvido.....	15
Figura 4 - Ciclo Diesel de 4T em relação a pressão (P) x volume (V).....	21
Figura 5 - Ciclo Otto 4T em relação a pressão (P) x volume (V).....	23
Figura 6 - Ciclo Misto em relação a pressão (P) x volume (V).....	25
Figura 7 - Carburador.	29
Figura 8 - Funcionamento de um Carburador.	30
Figura 9 - Adaptador para entrada de ar do carburador.....	32
Figura 10 - Tentativa utilizando um pote de vidro.	32
Figura 11 - Válvulas para regulagem ar/combustível.....	33
Figura 12 - Cilindro de gasolina.	33
Figura 13 - Cilindro na sua parte interna.	34
Figura 14 - Engrenagem sem fim para regulagem da rotação.	35
Figura 15 – Substituição de mangueira por conduíte.	35
Figura 16 - Aparato para geração do vapor de gasolina.	36
Figura 17 - Primeira série de testes (gasolina líquida).	37
Figura 18 - Segunda série de testes (gasolina líquida).	38
Figura 19 - Terceira série de testes (gasolina líquida).....	38
Figura 20 – Quarta série de testes (gasolina líquida).	39
Figura 21 - Quinta série de testes (gasolina líquida).	39
Figura 22 – Total de séries de testes (gasolina líquida).....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperatura de Autoignição.	18
Tabela 2 - Taxa de compressão.	18
Tabela 3 - Tabelas de Entalpia (gasolina líquida).	41
Tabela 4 - Tabelas de Entalpia (gasolina vaporizada).	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Temperatura de Autoignição.	19
---	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo geral.....	11
2.2 Objetivo específico	11
3 PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA	12
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
4.1 Motores a combustão interna	13
4.1.1 Ciclo Diesel	21
4.1.2 Ciclo Otto	22
4.1.3 Ciclo Misto	24
4.2 Combustíveis utilizados em motores ciclo Otto	25
4.2.1 Gasolina.....	25
4.2.2 Álcool	26
4.2.3 Poder Calorífico	27
4.3 Motores-geradores	27
4.4 Mistura e Injeção do ciclo Otto - Carburador	28
4 METODOLOGIA.....	32
5 RESULTADOS	37
6 CONCLUSÕES	43
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	44
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

O motor de combustão interna (MCI) é um equipamento que transforma energia química em mecânica através da queima de combustíveis. É considerado um dos maiores inventos da humanidade (Morais, 2020). O fluido de trabalho consiste nos produtos da própria combustão. O trabalho útil do motor é realizado pela ignição da mistura de ar e combustível e pela consequente expansão dos gases gerados pela queima. (Sousa e Silva, 2014).

O motor de ciclo Otto tem sido frequentemente aperfeiçoado para melhorar o desempenho em resposta às necessidades dos consumidores, seja em termos de torque, desempenho ou economia. A engenharia utiliza motores de combustão interna, combinados com outras tecnologias, para atender a necessidades específicas como economia de combustível, potência e o desenvolvimento de motores mais potentes. Para isso, é necessário realizar testes constantes com o objetivo de obter novas descobertas e aperfeiçoar os motores.

É perceptível a busca do mercado pela evolução dos motores. No passado, os motores de dois tempos foram substituídos pelos motores de quatro tempos. Essa modificação resultou em uma considerável redução de ruídos, emissões de gases poluentes, aumento de desempenho e melhor capacidade de lubrificação, fazendo com que os motores de quatro tempos necessitem de menos manutenção e consumam menos combustível. (Carvalho, 2021).

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o funcionamento de um motor de ciclo Otto utilizando dois métodos de injeção de combustível (vapor ou líquido). O método adotado consiste em projetar um aparato que com tentativas, permitirá obter combustível em estado de vapor e ligar o motor utilizando esse dispositivo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Avaliar o funcionamento de um motor de ciclo Otto utilizando dois métodos de injeção de combustível.

2.2 Objetivo específico

- Construir um dispositivo auxiliar para injeção de combustível vaporizado no motor.
- Verificar o comportamento do motor utilizando a injeção com gasolina líquida e gasolina vaporizada.
- Comprovar com a literatura a utilização de gasolina vaporizada como combustível.

3 PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA

Um dos principais objetivos no desenvolvimento e produção de motores é melhorar a eficiência e reduzir o consumo de combustível. O combustível líquido inserido na câmara de combustão possui um menor poder energético, além de uma maior dificuldade de se misturar ao ar. Com a possibilidade de inserir combustível vaporizado na admissão dos combustíveis, teoricamente, ter-se-ia um melhor rendimento térmico e maior potência. Nenhum motor comercial hoje em dia oferece a possibilidade de inserir gasolina ou etanol vaporizados.

Considerando a busca incessante por motores mais econômicos e que apresentem um melhor desempenho, a utilização de meios que proporcione melhor economia e potência ao usuário é sempre de interesse da indústria e da sociedade. Com base nos geradores com motor a 4 tempos da marca Branco, em média o motor consome 3,7 L/h utilizando a metade da sua potência. A inserção de um método diferenciado de injeção de combustível que proporcione melhores características ao motor é a principal justificativa para o desenvolvimento deste trabalho.

Este trabalho consiste em um estudo sobre aplicação de combustível em um motor de combustão interna tipo Otto. Para a verificação, será inserido uma quantidade de combustível vaporizado na entrada de ar do motor. O combustível vaporizado deverá se misturar mais facilmente ao ar, isso fará com que com uma mistura mais homogênea a combustão ocorra de forma mais satisfatória, melhorando a economia de combustível. Para a aplicação da ideia será construído um sistema de passagem de ar por dentro do combustível. A passagem de ar pelo combustível fará com que ele vaporize e se misture.

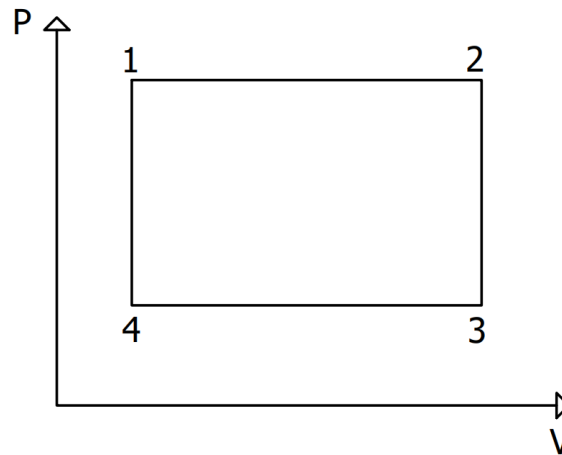
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Motores a combustão interna

Os motores de combustão interna iniciaram com a criação das armas de fogo, pois a energia térmica da explosão transformava-se em trabalho, que era no deslocamento do projétil (Martins, 2006). Já no final do século XVII, a pólvora era utilizada dentro de um cilindro para mover um pistão por meio de sua explosão, representando um dos primeiros testes no desenvolvimento de motores (Morais, 2020). Os gases de combustão arrefeciam, baixando sua pressão e a descida do pistão fazia subir água ou carvão pela ação da pressão atmosférica. O primeiro motor de combustão interna, desenvolvido pelo físico holandês Christian Huygens em 1673, utilizava pólvora. Seu objetivo era bombear água para as fontes do Palácio de Versalhes, na França, a pedido do rei Luís XIV. Embora fosse um motor de combustão interna, seu funcionamento era bastante diferente dos motores atuais (Sousa e Silva, 2014).

No início, as máquinas a vapor operavam por meio de depressão, assemelhando-se bastante aos motores de Da Vinci e Huygens. Basicamente, seu funcionamento consistia no preenchimento do cilindro com vapor, que em seguida era condensado, gerando a depressão (Morais, 2020). Podemos ver, pela Figura 1, que estes motores aqueciam o gás no interior do cilindro (1-2) por meio da chama (Leonardo) ou pólvora (Huygens). Depois disto, o gás era deixado arrefecer, pelo que a sua pressão diminuía (2-3), baixando o pistão (3-4) da máquina de Huygens e subindo-o na de Leonardo. O rendimento teórico deste tipo de máquinas teria um máximo de cerca de 15% (Martins, 2006).

Figura 1 - Ciclo P-V do motor de Leonardo e Huygens.

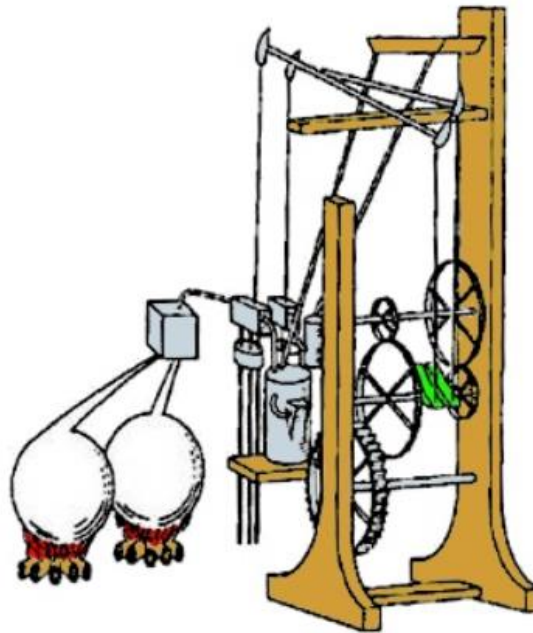


Fonte: Autor (2024).

O pesquisador Watt, em 1769, inventou um condensador externo ao cilindro, que permitia muitos mais ciclos por unidade de tempo (Tillmann, 2013). Ele também foi quem propôs usar a sobre pressão do vapor como efeito motor, aumentando a pressão sobre o pistão, mas também originando muitas mortes por explosões das caldeiras (Martins, 2006). Em 1759, Henry Hood apresentou uma proposta que era a utilização de ar quente, em vez de vapor, para operar os motores. A ideia do motor a ar foi realizada por George Caley em 1807 (Tillmann, 2013). Outros motores a ar foram inventados depois disto, como o de Robert Stirling (1816) e de John Ericsson (1826). Todos estes motores eram de combustão externa, sendo o ar o fluido ativo que não entrava na combustão (Martins, 2006).

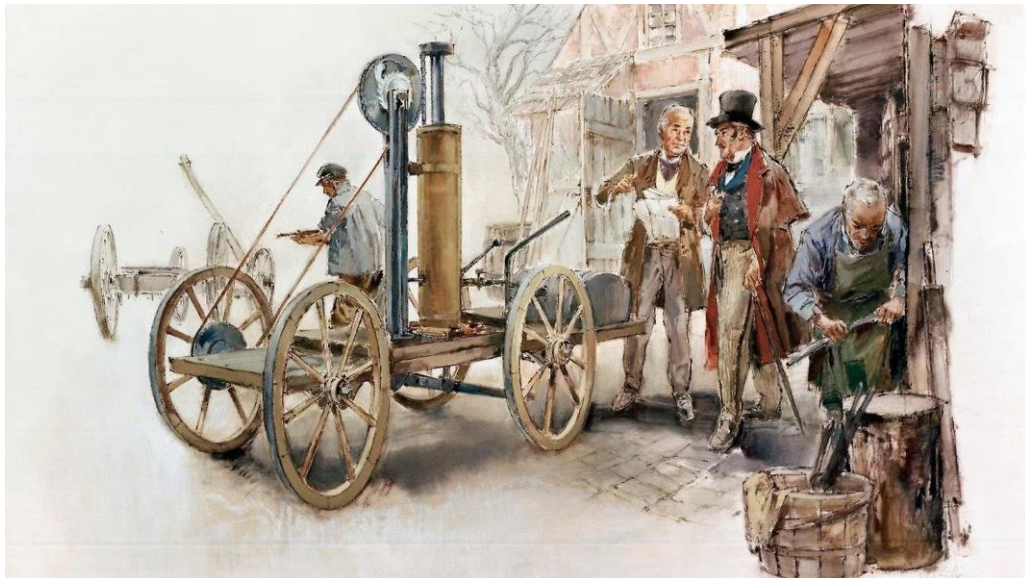
A turbina a gás foi inventada em 1791 por Jonh Barber (Figura 2), ela foi a primeira máquina de combustão interna a ser patenteada. Em 1794, Robert Street patenteou uma máquina de pistão trabalhando com uma mistura de aguarrás e ar (Morais, 2020). Em 1805, Isaac de Rivaz produziu um motor a gás de carvão que montou num veículo (Figura 3). Este motor era de pistão livre e de ação indireta, e funcionava com o pistão principal no ponto morto inferior, um pistão suplementar (abaixo do principal) que admitia mistura que era feita explodir, e isso impulsionava o pistão principal de forma rápida até o topo do cilindro. Após isto, o pistão engrenava na roda dentada e descia de forma lenta, pois o arrefecimento do gás baixava a pressão e a pressão atmosférica empurrava-o para baixo, e isso fazia com que produzisse trabalho (Martins, 2006).

Figura 2 - Turbina a gás de Barber.



Fonte: Lifeder (2021).

Figura 3 - Veículo de Rivaz com motor de combustão interna por si desenvolvido.



Fonte: Mercedes-Benz Group (2018).

Com a invenção do ciclo de 4 tempos (de compressão prévia) houve um progresso em relação a produção de máquinas compactas e de maior rendimento. Porém, os primeiros motores a 4 tempos (4T) apresentaram rendimentos muito parecidos aos atmosféricos em relação a sua pequenez, suavidade e o seu potencial para evoluir (Martins, 2006). O termo 4 tempos se refere as etapas a qual uma máquina necessita realizar para completar um ciclo, isto

é, terminar da mesma forma que começou (Morais, 2020). No início os motores aspiravam uma mistura de gás e ar, mas com o tempo, começaram a utilizar combustíveis líquidos (pois, eram mais fáceis de armazenar e transportar), utilizando o carburador para produzir a pulverização do combustível no ar (Martins, 2006).

Em 1876, Nikolaus Otto construiu o primeiro motor de combustão interna de quatro tempos, dando origem ao motor de ciclo Otto. Embora o princípio de funcionamento desse tipo de motor tenha sido inicialmente concebido pelo engenheiro francês A. Beau de Rochas, foi Otto quem realizou a primeira aplicação prática (Sousa e Silva, 2014). O motor de Lenoir, construído em 1860, possuía um sistema de ignição que utilizava um interruptor para abrir e fechar um circuito. Esse mecanismo induzia uma tensão no secundário de uma bobina dupla, produzindo cerca de 100 faíscas por segundo em uma vela descoberta pela passagem do pistão. Ou seja, o tempo de ignição era controlado pelo movimento do pistão e não pelo próprio sistema de ignição (Martins, 2006).

Quem desenvolveram os motores que queimam óleo (Diesel), foram dois ingleses, William Priestman em 1885, Herbert Stuart em 1890 e um alemão Emil Capitaine em 1885, os pioneiros deste desenvolvimento. Estes motores não eram de combustão a pressão constante, utilizavam velas de incandescência e foram, mais tarde chamados de Semi Diesel (Martins, 2006). Enquanto estes inventores fabricaram os seus motores, Rudolf Diesel inventou o seu, que teoricamente, utilizando os ensinamentos da termodinâmica de Carnot, conseguiu provar que o motor trabalharia antes que uma única peça fosse fabricada. Mesmo assim, necessitou de rever parte dos seus fundamentos e de 8 anos de desenvolvimento para que a sua construção fosse possível e viável.

Os motores Diesel apresentavam excelente rendimento, embora exigissem um complexo sistema de injeção de combustível em alta pressão. Esse problema só foi eficientemente resolvido por Robert Bosch na década de 20 (Tillmann, 2013). Primeiramente escolheu a combustão a temperatura constante como a que daria o maior rendimento, pois tinha interesse em produzir um motor que consumisse menos combustível por unidade de potência do que qualquer outro (Martins, 2006). Cerca de 100 anos depois, este motor é ainda motivo de grandes investimentos de desenvolvimento, figurando como o mais económico e eficiente. Os motores Diesel funcionam de maneira semelhante aos motores Otto, mas não precisam de uma centelha para a combustão da mistura ar/combustível. Em vez disso, a mistura explode devido à alta pressão gerada pelo pistão ao se aproximar do ponto morto superior (Morais, 2020).

Motores de combustão interna são máquinas térmicas que transformam calor em trabalho. A energia desse equipamento provém da energia química contida no combustível, que, através da combustão, converte energia química em energia cinética (Torres, 2020). O foco deste trabalho está apenas nos casos em que o calor é obtido pela queima do combustível, isto é, energia química em trabalho mecânico.

De acordo com Brunetti (2018), as máquinas térmicas são classificadas em:

- Motores de combustão externa – MCE: quando a combustão se processa externamente ao FA (Fluido Ativo), que será apenas o veículo da energia térmica a ser transformada em trabalho, como, por exemplo, uma máquina a vapor.
- Motores de combustão interna – MCI: quando o FA (Fluido Ativo) participa diretamente da combustão.

No decorrer deste trabalho, trataremos sobre os motores de combustão interna (MCI). Quanto à forma de se obter trabalho mecânico, Sousa e Silva (2014) classifica os MCI por:

- Motores alternativos: O trabalho mecânico é obtido pelo movimento de vai e vem do pistão, transformado em rotação contínua por um sistema biela-manivela.
- Motores rotativos: O trabalho mecânico é obtido pelo movimento de rotação (por exemplo, turbinas a gás, motor Wankel).
- Motores de impulso: O trabalho é obtido pela força de reação dos gases expelidos em alta velocidade pelo motor, como nos motores a jato e foguetes.

Segundo Tillmann (2013) diferencia-se os dois principais tipos de motores: os que operam segundo a aspiração da mistura ar-combustível (Ciclo Otto), promovendo a combustão da mistura através de uma faísca; e os motores que aspiram apenas o ar e, após a compressão, pulverizam o combustível, que então queima devido ao calor e à pressão elevados gerados pela compressão do ar de admissão (Ciclo Diesel).

Quanto à ignição, Brunetti (2018) divide os motores alternativos em dois tipos fundamentais:

- MIF – Motores de ignição por faísca ou otto: Nesses motores, a mistura combustível-ar é admitida, antecipadamente dosada ou formada no interior dos cilindros quando há injeção direta de combustível (GDI) gasoline direct injection, a inflamação acontece por uma faísca que ocorre entre os eletrodos de uma vela.

- MIE – motores de ignição espontânea ou Diesel: Nesses motores, o pistão comprime somente ar, até que este atinja uma temperatura que é o suficiente alta. Quando o pistão se aproxima do PMS, é injetado o combustível que reage espontaneamente com o oxigênio presente no ar quente, sem a necessidade de uma faísca. A temperatura do ar necessária para que aconteça a reação espontânea do combustível é conhecido como “temperatura de autoignição (TAI)”.

Alguns combustíveis, com suas respectivas temperaturas de autoignição, são citados na Tabela 1.

Tabela 1 - Temperatura de Autoignição.

Temperatura de autoignição – TAI (°C)			
Diesel	Etanol Hidratado	Metanol	Gasolina C
>225	363	464	>250

Dados: Brunetti, 2018.

A Tabela 2 apresenta os valores praticados de taxa de compressão para os diferentes combustíveis.

Tabela 2 - Taxa de compressão.

Taxa de compressão		
MIF		MIE
Etanol hidratado	Gasolina E22	Diesel
10:1 até 14:1	8,5:1 até 13:1	15:1 até 24:1

Dados: Sousa e Silva, 2014.

Este funcionamento de um motor a quatro tempos (4T), são os quatro cursos percorridos pelo pistão, o que corresponde a duas voltas do virabrequim para que seja completado um ciclo (Morais, 2020). Nos motores dois tempos (2T), um ciclo de operação se completa após duas etapas ou dois movimentos do pistão, reiniciando-se em seguida. De forma análoga ao funcionamento do motor quatro tempos, onde o eixo do motor realiza duas voltas por ciclo, no motor dois tempos, ocorre apenas uma volta do eixo por ciclo. Os processos de admissão, compressão, expansão e exaustão, presentes no motor quatro tempos, também ocorrem no motor dois tempos. No entanto, alguns desses processos se sobrepõem em um mesmo tempo ou curso, ou seja, em um mesmo deslocamento do pistão, ocorrem mais de um processo simultaneamente (Sousa e Silva, 2014).

Podemos verificar as diferenças fundamentais entre os motores de 2T e 4T, mostradas no Quadro 1.

Quadro 1 - Motores 2T e 4T.

Diferenças	4T	2T
Tempos x Ciclo útil	2 voltas manivela	1 volta manivela
Fator de tempos	X=2	X=1
Sistema Mecânico	Mais complexo	Mais simples, ausência de válvulas e do eixo comando.
Alimentação	Boa	Ruim, perda de mistura no escape e presença de lubrificante.
Lubrificação	Boa	Ruim, presença de combustível.

Dados: Brunetti, 2018.

Podemos analisar as diferenças fundamentais entre os motores ciclos Otto e Diesel, do ponto de vista mecânico, devido à alta taxa de compressão necessária para a ignição espontânea nos motores Diesel, eles geralmente possuem uma construção mais robusta e operam em regimes de rotação menores (Sousa e Silva, 2014). Dessa forma, Brunetti (2018) descreve as principais diferenças:

- **Introdução do combustível:** Nos motores Otto, a mistura é geralmente introduzida já homogeneizada e dosada. A exceção são os motores de ignição por centelha de injeção direta de combustível (GDI), nos quais apenas o ar é admitido, e a injeção de combustível é realizada diretamente no cilindro. Isso requer um sistema de injeção de alta pressão. No entanto, é difícil obter rotações elevadas nesses motores, pois, ao aumentar o ritmo do pistão, a combustão completa do combustível introduzido no último momento se torna improvável.
- **Ignição:** "Nos MIF, a ignição é provocada por uma faísca, necessitando de um sistema elétrico para gerá-la. Nos motores de ciclo Diesel, a combustão ocorre por autoignição, quando o combustível entra em contato com o ar quente (TAI).
- **Taxa de compressão:** Nos MIF, a taxa de compressão deve ser relativamente baixa para evitar a autoignição, uma vez que o momento apropriado da combustão é controlado pela faísca. Nos motores de ignição por compressão (MIE), a taxa de compressão deve

ser suficientemente alta para exceder a temperatura de autoignição do combustível (TAI), como pode ser observado nas Tabelas 1 e 2.

Nos motores rotativos o trabalho é obtido diretamente de um movimento de rotação, não existindo, portanto, o movimento alternativo. A turbina a gás é um motor rotativo de combustão interna, uma vez que utiliza os gases produzidos por uma combustão para o seu acionamento. O ciclo termodinâmico que representa a turbina a gás simples é o ciclo Brayton. A configuração mais simples de uma turbina a gás é obtida pelo agrupamento de três subsistemas (Brunetti, 2018):

- Um compressor que comprime ar em uma câmara de combustão.
- Uma câmara de combustão onde o combustível queima com o oxigênio do ar.
- Uma turbina, propriamente dita, que gira, acionada pelos gases de combustão.

A comparação da turbina a gás com os motores alternativos é que os processos acontecem de forma contínua, enquanto nos alternativos, os processos são intermitentes. Isso causa uma diferença fundamental, já que no sistema de turbina a gás as regiões frias e quentes são separadas (Brunetti, 2018). Assim, a câmara de combustão e a turbina estão continuamente sujeitas ao contato com os gases quentes, sendo necessário controlar a temperatura destes. Nos motores alternativos, os processos quentes e frios acontecem no mesmo espaço, dando origem a uma temperatura média relativamente baixa, uma vez que os materiais assumirão a média das temperaturas ao longo do ciclo (Brunetti, 2018).

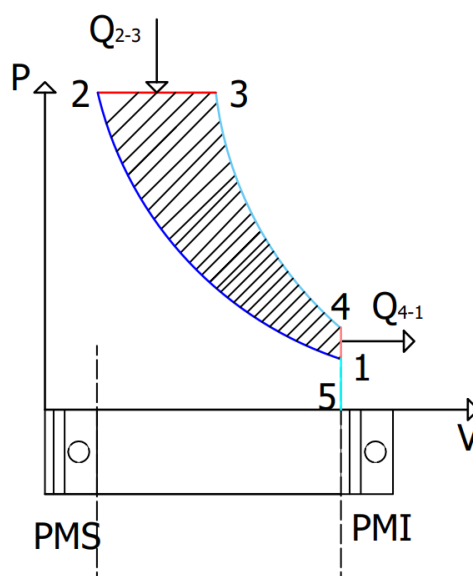
A turbina a gás, na sua forma mais simples é a execução prática do ciclo Brayton (1873), mas o seu desenvolvimento aconteceu nos últimos 100 anos, principalmente durante a II Guerra Mundial, quando houve necessidade de grandes potências com motores leves, isto é, grandes potências específicas (Mota, 2023). Os motores rotativos tiveram seu estudo iniciado antes de 1920, mas a sua execução foi retardada até 1960, quando Wankel e Froede puderam construir um motor economicamente competitivo e de fácil execução. A produção inicial do motor, que leva o nome do seu idealizador, deve-se à fábrica alemã NSU, em 1963 (Mota, 2023).

Vamos analisar os ciclos que ocorrem por combustão interna do tipo motores alternativos de 4 tempos. Serão eles: ciclo Diesel, ciclo Otto, ciclo misto (ou dual).

4.1.1 Ciclo Diesel

Em 1892, o ciclo Diesel foi implementado pelo engenheiro mecânico, franco-alemão, Rudolf Diesel (Gupta, 2006). Os motores do ciclo Diesel, ou motores de ignição por compressão, funcionam de modo que, no processo de combustão deste ciclo, o calor é introduzido ao sistema a pressão constante (Figura 4). Os motores de quatro tempos realizam o ciclo em quatro cursos (Figura 4), os quatro cursos para o Ciclo Diesel são:

Figura 4 - Ciclo Diesel de 4T em relação a pressão (P) x volume (V).



Fonte: Autor (2024).

Primeiro curso (5 - 1): ocorre a admissão, onde a válvula de admissão é aberta e a de escape fechada. O Ar entra pela válvula e preenche o cilindro do ponto morto superior (PMS) ao ponto morto inferior (PMI), ao atingir o PMI inicia-se o processo de compressão. O fluido admitido é apenas ar.

Segundo curso (1-2): ocorre a compressão, onde as válvulas de admissão e escape estão fechadas. O pistão se desloca do PMI para o PMS. Inicia-se a injeção de combustível, antes mesmo do fim da compressão para que ocorra explosão e inicie o processo de combustão. A compressão do ar na câmara de combustão produz elevação da temperatura. A medida exata do combustível e o momento da injeção são fatores essenciais para o bom funcionamento dos motores diesel.

Terceiro curso (2 - 4): ocorre a combustão e expansão: as válvulas de admissão e escape estão fechadas. O combustível é injetado de forma controlada. O combustível é injetado um pouco antes de atingir o ponto morto superior (PMS) e logo após completar o processo de compressão, acontece o fim da injeção. Em consequência dessa injeção controlada e da expansão simultânea, a pressão, que pela combustão deveria aumentar e pela expansão diminuir, mantém-se aproximadamente constante (Brunetti, 2018).

Quarto curso (4 - 5): Ocorre o escape, onde a válvula de admissão continua fechada e a válvula de escape aberta. O pistão se desloca do PMI ao PMS, empurrando para fora os gases queimados.

Este ciclo tem uma taxa de compressão de 15 a 24 (Tabela 2), essa taxa tem que ser elevada para no final da compressão a temperatura do ar seja alta o suficiente, de maneira a produzir a ignição do combustível que é injetado. O ciclo Diesel é aplicado em veículos pesados como caminhões, ônibus, SUVs, picapes, geradores de energia, máquinas agrícolas, navios e locomotivas, pela necessidade de transportar cargas pesadas. O motor a diesel possui alto torque em baixas rotações, o que é necessário para os transportes de cargas pesadas.

4.1.2 Ciclo Otto

Em 1876, o alemão A. Nicolaus Otto propôs um padrão de ar ideal com adição de calor a volume constante (Gupta, 2006). Os motores de ciclo Otto, ou motores de ignição por faísca, também são conhecidos como ciclo a volume constante, pois, durante o processo de combustão, o calor é adicionado ao sistema a volume constante.

O ciclo Otto de quatro tempos é o modelo padrão da maioria dos pequenos motores de combustão interna. Nesse tipo de motor alternativo, a ignição é acionada por uma faísca, e a queima da mistura ar-combustível ocorre (Figura 5), de maneira idealizada, a volume constante no ponto morto superior (PMS) do cilindro (Samaniego, 2007).

Os motores de quatro tempos realizam o ciclo em quatro cursos (Figura 5), os quatro cursos são:

Quarto curso (4 - 1): ocorre a rejeição de calor, onde a válvula de admissão está fechada e a válvula de escape se abre. Um pouco antes do PMI, a válvula de escape abre-se e os gases, devido à alta pressão, escapam rapidamente até alcançar uma pressão próxima da atmosférica. O pistão desloca-se do PMI para o PMS (6-5), expelindo os gases queimados contidos no cilindro (Sousa e Silva, 2014).

As características próprias desses motores Otto são a suavidade de funcionamento em toda a faixa de uso, o baixo custo inicial e sistemas de controle de emissões relativamente simples e baratos (Brunetti, 2018). Essas características tornam esse motor adequado à aplicação em automóveis, apesar de ser utilizado em pequenos veículos de transporte, embarcações esportivas, aplicações estacionárias e pequenos aviões, sempre para potências relativamente baixas.

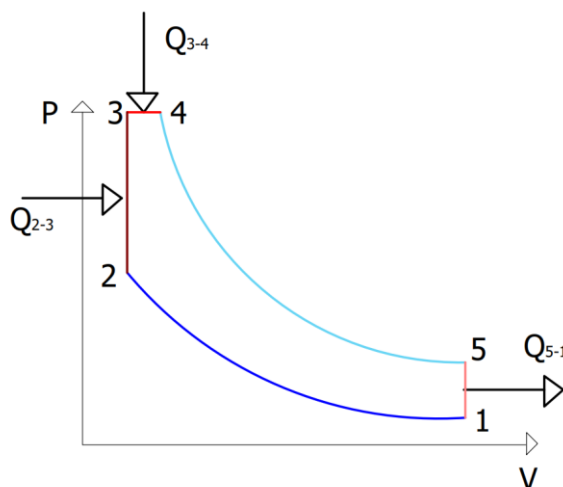
Neste trabalho, utilizaremos um motor ciclo Otto 4 tempos, com a finalidade de analisarmos o seu desempenho.

4.1.3 Ciclo Misto

É um ciclo misto porque o processo de entrada de calor da combustão é um processo duplo de volume constante seguido de pressão constante. No ciclo Otto, a combustão ocorre a volume constante, enquanto no ciclo Diesel, ocorre a pressão constante. No entanto, na prática, esses ciclos não representam perfeitamente o funcionamento real do motor. O ciclo misto é o que melhor descreve a operação dos motores Diesel de alta rotação. Nesse ciclo, a combustão ocorre em duas fases: parte do calor é fornecida a volume constante, e o restante, a pressão constante (Tillmann, 2013).

Podemos observar na Figura 6 que o processo de (1-2) é o mesmo dos outros ciclos, mas no processo de (2-3) ocorre a volume constante e com fornecimento de calor. No processo de (3-4), podemos observar que também há fornecimento de calor a pressão constante, após isto, (4-5), ocorre a expansão dos gases. No processo final de (5-1), calor é liberado, isto é, o escape.

Figura 6 - Ciclo Misto em relação a pressão (P) x volume (V).



Fonte: Autor (2024).

4.2 Combustíveis utilizados em motores ciclo Otto

Em 1883, Daimler aplicou as descobertas de Otto a um motor movido a gasolina. Há muitos anos, o petróleo tem sido a principal fonte de combustíveis utilizados em motores de combustão interna, uma vez que os combustíveis sólidos não são utilizados para esses motores (Farrús, 2005). Os combustíveis utilizados nesse ciclo é a gasolina e o álcool.

4.2.1 Gasolina

A gasolina é um produto da destilação fracionada do petróleo bruto contendo inúmeros hidrocarbonetos com temperaturas de ebulição variando entre 25°C e 250°C. As propriedades dessas misturas devem ser balanceadas de modo a dar um desempenho satisfatório em uma grande variedade de condições operacionais dos motores (Brunetti, 2018).

No Brasil, as gasolinas são classificadas como:

- Gasolina A: isenta de álcool etílico anidro, sendo sua comercialização restrita somente entre refinador e distribuidor. Refinarias, centrais petroquímicas e formuladores são autorizados a produzir a gasolina A, isto é a gasolina sem adição de etanol anidro. A gasolina A, por sua vez é comercializada aos distribuidores de combustíveis, onde é adicionada de etanol anidro em teor estabelecido para compor a gasolina C, única disponível nos postos revendedores (ANP, 2024).
- Gasolina C: A gasolina C é aquela que contém etanol anidro combustível no teor estabelecido pela legislação vigente. O teor de etanol anidro na gasolina C

é de 27% em volume para gasolina C Comum e 25% para gasolina C premium conforme Portaria MAPA nº 75/2015 (ANP, 2024).

A característica mais importante dos combustíveis utilizados em motores de ignição é o seu índice de octano, também conhecido por poder antidetonante. Esta propriedade determina a taxa de compressão possível neste tipo de motores e a sua velocidade de combustão. Sendo assim, tem a possibilidade de queimar um combustível com elevado índice de octano de forma mais eficiente, sendo uma opção de ser utilizado em motores de elevada taxa de compressão (Martins, 2006).

4.2.2 Álcool

Antigamente, as máquinas térmicas funcionavam com álcool puro ou com misturas 50% de álcool e benzol. Depois disto, o álcool começou a ser misturado com gasolina. Atualmente, o álcool 100% (puro) são utilizados com limitações, a tendência é continuar sendo utilizado misturado com gasolina. A utilização de álcoois como combustível a 100% (puro) em motores tem aspectos negativos, tais como: alta temperatura de ignição, alta tensão de vapor e volatilidade, maior densidade, baixo poder calorífico, efeitos corrosivos e diluição do óleo. Contudo, tem os pontos positivos, que são: melhor comportamento do motor quente, alto poder antidetonação e maior potência (Farrús, 2005).

Os álcoois mais utilizados como combustíveis são o metanol, obtido a partir do gás natural ou carvão, etanol, obtido por fermentação de biomassa, por isso também é chamado de bioetanol, e os álcoois sintéticos superiores como o álcool terciobutílico. Nos motores podem ser utilizados o metanol e o etanol, estes são os mais usados no Brasil na sua forma quase pura (E93). Na Califórnia e em outros estados dos Estados Unidos utilizam misturas de metanol e gasolina, geralmente o M85 (85% de metanol e 15% gasolina). A mistura do metanol com a gasolina é necessária para permitir o arranque a frio. Um dos problemas do uso do álcool como combustível é a corrosão (Martins, 2004).

O etanol é menos agressivo que o metanol e é usado como componente da gasolina em vários países, por isso nos Estados Unidos é vendida uma mistura com 10% de etanol, chamada gasool, e no Brasil toda a gasolina é misturada com mais de 20% de etanol. Tanto o metanol quanto o etanol têm poder calorífico menor que a gasolina, 53% para o metanol e 32% para o etanol, no entanto, não é correto comparar esses compostos apenas pelo conteúdo energético, pois existem outros fatores que podem compensar essa diferença (Farrús, 2005).

4.2.3 Poder Calorífico

Um termo frequentemente utilizado em conjunto com a combustão de combustíveis é o poder calorífico, que é definido como a quantidade de calor liberada quando um combustível é completamente queimado em um processo em regime permanente, retornando os produtos ao estado dos reagentes. Em outras palavras, o poder calorífico de um combustível é igual ao valor absoluto da entalpia de combustão do combustível (Çengel e Boles, 2013). O poder calorífico é calculado utilizando a equação do balanço de energia de um processo de combustão com escoamento em regime permanente, observe a Equação 1:

$$-Q_{SAÍDA} = \sum N_P (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ) - \sum N_R (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ) \quad (\text{Equação 1})$$

4.3 Motores-geradores

Um motor elétrico pode ser descrito como uma máquina projetada com a finalidade de realizar uma transformação de energia elétrica em mecânica e o gerador ou dínamo com a finalidade de converter energia mecânica em energia elétrica (Talá, 2023). Os motores elétricos são utilizados em diversos tipos de motores, pois combinam as vantagens da energia elétrica com base em uma construção simples, de grande versatilidade e adaptação de cargas e rendimentos. O funcionamento dos motores elétricos baseia-se na interação entre campos eletromagnéticos, embora há motores com base em outros fenômenos eletromecânicos, conhecidas como forças eletrostáticas (Franchi, 2008).

Um gerador produz eletricidade através de um processo chamado de indução eletromagnética. O princípio da indução eletromagnética foi descoberto por Michael Faraday em 1831 e estabelece que a variação de um campo magnético em relação a uma bobina de fio de cobre produz uma corrente elétrica na bobina (Pantoja, 2021).

No funcionamento do equipamento em si, o processo começa com a rotação de um eixo central, que pode ser acionado por uma variedade de fontes de energia, como um motor a combustão, uma turbina hidráulica ou uma turbina eólica. A rotação do eixo central aciona um conjunto de ímãs permanentes ou eletroímãs que giram dentro de uma bobina de fio de cobre, chamada de estator (Talá, 2023). Em máquinas geradoras de energia elétrica, tanto motor ou gerador, é possível realizarmos a distinção entre duas partes principais: o estator, que é um conjunto de partes que são ligadas de forma rígida à carcaça e ao rotor, que gira em torno de um eixo que está apoiado em mancais que estão localizados e fixados na carcaça e ao indutor, onde produzem o campo magnético; e o induzido, gerando a corrente induzida. Nos dínamos,

há uma indução em que o estator induz o rotor, ocorrendo o processo inverso nos alternadores. Deste modo, a corrente induzida promove a produção de um campo magnético que tem a capacidade de exercer forças contrárias à rotação conforme afirma a Lei de Lenz.

O tamanho e a capacidade de um gerador podem variar de acordo com a quantidade de energia elétrica necessária para alimentar as cargas elétricas. Geradores maiores e mais potentes são utilizados em usinas de energia elétrica para produzir eletricidade em grande escala, enquanto geradores menores são utilizados para fornecer energia elétrica em ambientes de menor escala, como residências, lojas e escritórios. Os geradores de energia elétrica geralmente possuem um motor de combustão interna, como um motor a gasolina ou diesel, que serve como fonte de energia mecânica para gerar eletricidade. Esse tipo de motor é conhecido como motor primário ou motor de acionamento (Talá, 2023).

Podemos citar como geradores que convertem a energia mecânica em elétrica os seguintes:

- Gerador Síncrono;
- Gerador Assíncrono ou de indução;
- Gerador de Corrente contínua.

Enquanto motores elétricos que têm a função de converter energia elétrica em mecânica, podemos citar:

- Motor Síncrono;
- Motor Assíncrono ou de indução;
- Motor de corrente contínua.

4.4 Mistura e Injeção do ciclo Otto - Carburador

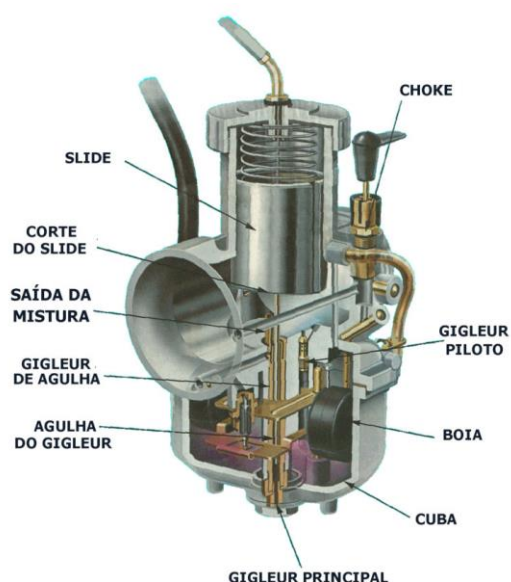
O carburador foi inventado em 1883 pelos húngaros Donát Bánki e János Csonka, fazendo sua estreia em 1896 na Inglaterra. Em 1900, as primeiras fábricas de carburadores começaram a operar nos Estados Unidos (Carvalho, 2021). Os primeiros carburadores eram de superfície nos quais o ar era transportado sobre a superfície do líquido (ou borbulhando nele), evaporando, sendo o combustível aquecido pelos gases de escape. Estes carburadores tinham nível constante, mas como os compostos mais voláteis da gasolina iam se vaporizando, com o passar do tempo iam ficando compostos mais pesados, pelo fato da mistura ficar mais pobre (com menor vaporização) (Martins, 2006).

Um dispositivo que, inicialmente, era totalmente mecânico foi utilizado nos automóveis por mais de um século, teve grande papel nos MCI. Segundo Carvalho (2021), no Brasil o carburador foi usado até o fim dos anos 1990 quando em 1997 a Kombi deixou de usá-lo. No

entanto, ainda é encontrado em alguns automóveis brasileiros, além de ser utilizado em motocicletas, máquinas agrícolas e geradores (Peres, 2017).

O carburador é um dos dispositivos mais conhecidos para a mistura de ar e combustível em motores de ciclo Otto. Ele desempenhou um papel fundamental no sistema de alimentação, sendo responsável por regular a proporção de ar e combustível necessária para o funcionamento do motor. Apesar das diversas modernizações, o carburador não conseguiu atender às crescentes demandas por redução das emissões de poluentes, resultando em sua substituição pela injeção de combustível (Souza, 2008). O carburador foi criado para fornecer ao motor uma mistura de ar e combustível que atendessem às diversas condições de operação.

Figura 7 - Carburador.



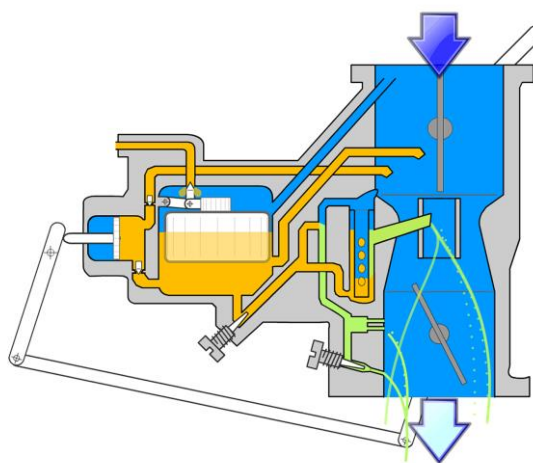
Fonte: Araújo, 2018.

O processo no carburador inicia quando o combustível é bombeado até o carburador por uma bomba, geralmente mecânica, e entra pela válvula da boia, que regula a quantidade de combustível na cuba. A pressão negativa gerada pelo motor suciona o ar através do Venturi (corpo do carburador). À medida que o ar passa pelo Venturi, sua velocidade aumenta, criando uma pressão negativa na cuba que suga o combustível através do giclê, formando assim a mistura de ar e combustível (Carvalho, 2021). O fluxo de ar é regulado pela válvula borboleta, que é acionada pelo acelerador do carro por meio de um cabo. A quantidade de combustível é controlada pelos giclês, que são orifícios calibrados. Normalmente, o carburador possui um giclê de marcha-lenta e um giclê principal (Carvalho, 2021). Para que o motor funcione

corretamente, é fundamental que haja ar suficiente misturado ao combustível para garantir uma queima completa durante a combustão.

A mistura ideal, na qual todo o combustível é queimado, é chamada de mistura estequiométrica. Manter essa proporção permite que o motor aproveite ao máximo a densidade de energia do combustível (Contesini, 2014). Se houver menos ar do que o necessário, a mistura ficará "rica" ou "gorda", resultando em consumo excessivo de combustível, emissão excessiva de fumaça pelo escapamento e eventual afogamento do motor (Borges e Assis, 2020). Se houver excesso de ar misturado ao combustível, a mistura ficará "pobre", resultando em uma queima que gera menos potência e mais calor (Figura 8). Por isso, os engenheiros precisam otimizar essa relação para maximizar o trabalho mecânico proveniente da combustão. A relação ideal de ar para gasolina é de 14:1, enquanto para etanol é de 9:1, ou seja, para cada parte de etanol são necessárias nove partes de ar. Garantir essa relação exata e precisa tem sido uma prioridade na engenharia automotiva por décadas (Contesini, 2014).

Figura 8 - Funcionamento de um Carburador.



Fonte: Stefanelli, 2017.

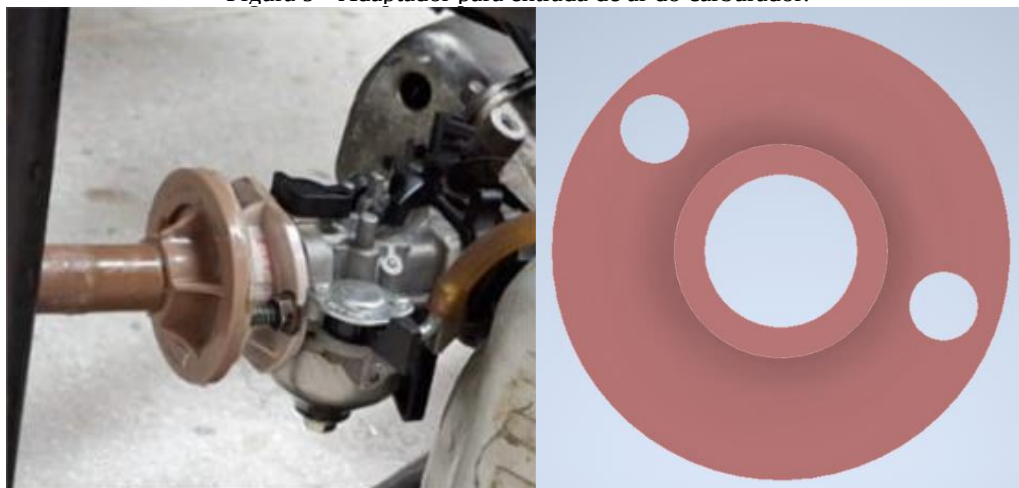
O carburador pode ter várias configurações, sendo as mais comuns o modelo simples e o corpo duplo, que funciona como dois carburadores. Neste último, o segundo carburador é acionado após uma certa abertura da válvula borboleta, permitindo a entrega de uma maior quantidade de mistura ar-combustível ao motor (Carvalho, 2021). Essa configuração foi amplamente adotada pelos fabricantes de veículos devido à sua confiabilidade, facilidade de produção, manutenção simples e baixo custo de instalação em diferentes tipos de motores (Carvalho, 2021). No entanto, o carburador apresenta algumas desvantagens, como a necessidade de manutenção periódica (principalmente limpeza), um funcionamento não linear que pode resultar em emissões elevadas de poluentes e um consumo de combustível mais alto

em comparação com a injeção eletrônica (Carvalho, 2021). Além disso, o carburador requer sistemas auxiliares para garantir seu bom funcionamento (Peres, 2017).

4 METODOLOGIA

Esta pesquisa refere-se à verificação do motor de um gerador utilizando gasolina vaporizada e apenas gasolina comum. Para isso, foram realizados diversos testes para desenvolver um esquema que possibilite a vaporização eficiente da gasolina. Para a realização dos testes, fez-se necessário algumas alterações físicas na estrutura de alimentação. A primeira alteração consistiu em obter um adaptador para o carburador, essencial para conectar a mangueira ao reservatório de gasolina. Além disso, é fundamental que o adaptador tenha uma vedação eficiente, garantindo que a única passagem de combustível seja através da mangueira. As adaptações podem ser vistas na Figura 9 e Figura 10.

Figura 9 - Adaptador para entrada de ar do carburador.



Fonte: Autor, 2024.

Após desenvolver o adaptador, a ideia principal era utilizar um recipiente de vidro com dois tubos de PVC de 20 mm fixados na tampa: um tubo direcionado para o ambiente e outro conectado à mangueira (Figura 10). No entanto, o processo não funcionou, e o motor não ligou.

Figura 10 - Tentativa utilizando um pote de vidro.



Fonte: Autor, 2024.

Para resolver o problema foram instaladas duas válvulas no tubo de entrada do carburador (Figura 11), isso para que se possa fazer um melhor controle da quantidade de ar e vapor de combustível injetado, dessa forma a mistura não ficaria muito rica nem pobre, mas na quantidade ideal para a melhor combustão.

Figura 11 - Válvulas para regulação ar/combustível.



Fonte: Autor, 2024.

A troca do reservatório foi realizada com um tubo de PVC de 100 mm e dois caps (Figura 12). Em um dos caps, foram feitos dois furos, enquanto no outro foi feito apenas um furo. No caps com dois furos, uma das aberturas foi utilizada para a mangueira e a outra para o reabastecimento de combustível. No outro caps, que possui apenas um furo, o cano direciona-se para o ambiente (Figura 12).

Figura 12 - Cilindro de gasolina.



Fonte: Autor, 2024.

No entanto, essa configuração não estava vaporizando de forma satisfatória. Portanto, foi necessário desenvolver um novo método: introduzir dentro do cilindro um tubo adicional

que permitiria a entrada de ar do ambiente (Figura 13). Para otimizar a vaporização, esse cano foi perfurado em vários pontos, aumentando a quantidade de bolhas de ar e aumentando a produção de vapor.

Figura 13 - Cilindro na sua parte interna.

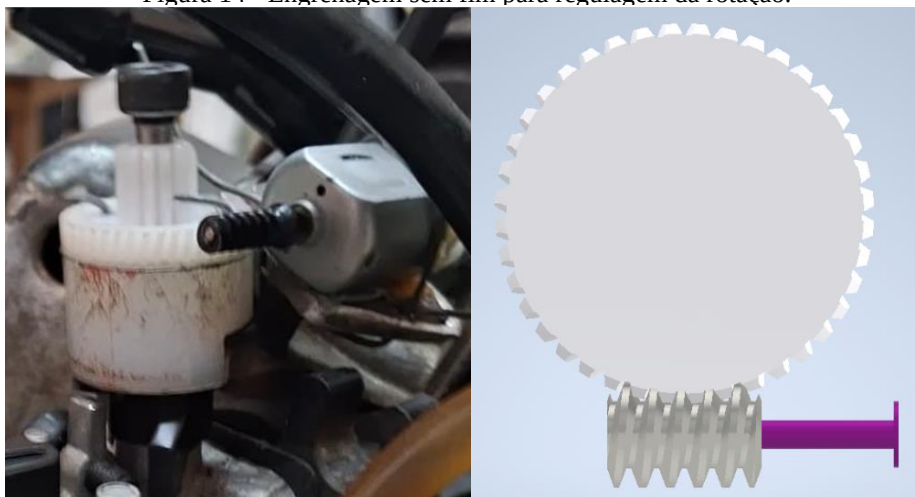


Fonte: Autor, 2024.

Percebeu-se que algo não estava certo, pois o motor ainda não funcionava. Foi então que se notou a necessidade de ajustar as válvulas para garantir a proporção correta de ar e combustível. Assim, o motor passou a funcionar de maneira satisfatória apenas com vapor de gasolina e ar. Com o motor em funcionamento, é importante estudar os benefícios que esse método pode oferecer. Para isso, utilizou-se balanças para verificar o consumo de gasolina, tanto na forma vaporizada quanto líquida. Além disso, empregou-se um tacômetro para monitorar a rotação do motor.

Para manter a rotação fixa, utilizou-se uma engrenagem de plástico com uma rosca sem fim (Figura 14). Essa abordagem permitiu realizar ajustes finos, facilitando a análise de diversos pontos de rotação.

Figura 14 - Engrenagem sem fim para regulagem da rotação.



Fonte: Autor, 2024.

Como o cilindro não estava posicionado corretamente na balança, utilizou-se uma base projetada para mantê-lo na posição adequada (Figura 15). A mangueira foi descartada, pois estava transmitindo vibrações para a balança, então a substituiu-se por um conduíte.

Figura 15 – Substituição de mangueira por conduíte.



Fonte: Autor, 2024.

Com as alterações feitas, pode-se ligar o motor e tê-lo em funcionamento adequado com o vapor de gasolina (Figura 16).

Figura 16 - Aparato para geração do vapor de gasolina.



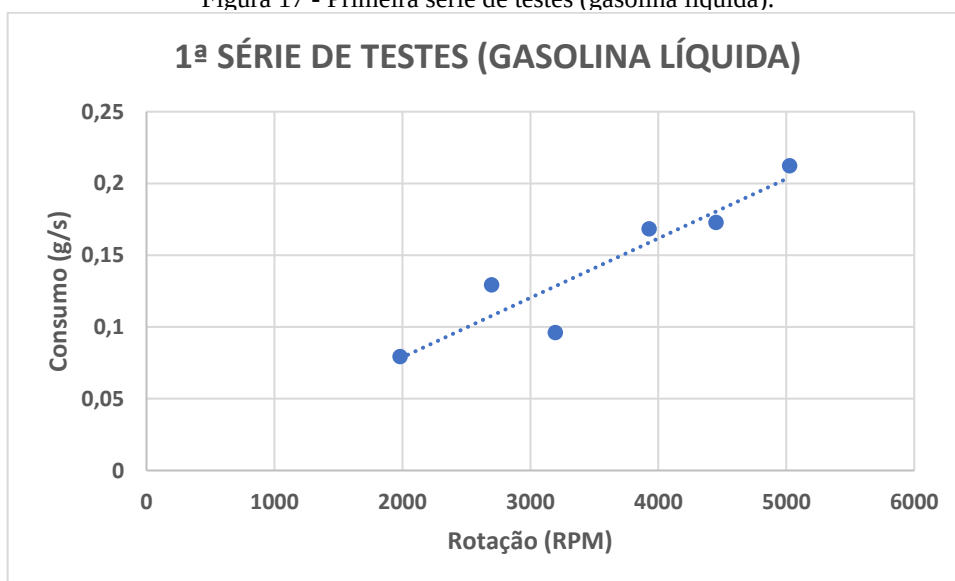
Fonte: Autor, 2024.

5 RESULTADOS

Primeiramente, foi observado o funcionamento do motor utilizando a gasolina líquida, vários testes com rotações variadas foram feitos. Com todo aparato pronto, necessitou-se analisar o consumo de combustível do motor atuando com a passagem de combustível líquido. Foram feitas 5 séries de ensaios, cada uma delas com 5 a 6 testes, nestes testes analisou-se a variação de rotação desde a mínima até máxima rotação que o carburador conseguiu atingir, o tempo necessário para consumir 5g.

Na primeira série de testes (Figura 17), visualizou-se que a rotação do motor em marcha lenta chegou a menos de 2000 rpm e o consumo em gramas por segundos de aproximadamente 0,07. Observou-se que em aproximadamente 2600 rpm houve um aumento consumo e logo no ponto seguinte uma queda, para depois aumentar o consumo novamente. Isso ocorreu por alguns fatores, tanto pela mudança de marcha lenta para marcha rápida, como pela sensibilidade de baixa qualidade da balança.

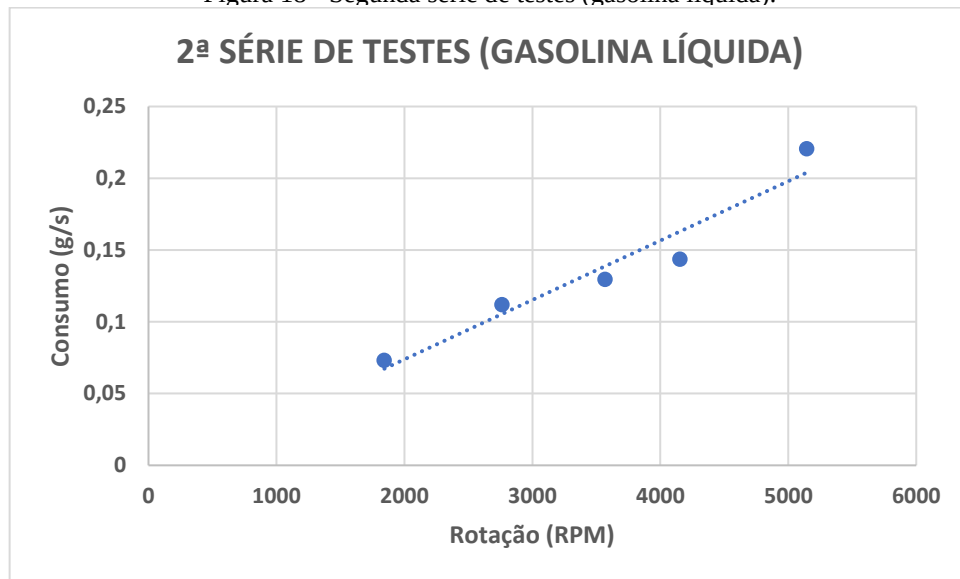
Figura 17 - Primeira série de testes (gasolina líquida).



Fonte: Autor, 2024.

Na segunda série, Figura 18, de teste o consumo ocorreu de forma mais satisfatória, o que teoricamente deveria ter ocorrido na série anterior, pois o esperado é que com o aumento da rotação aconteça o aumento de consumo de combustível.

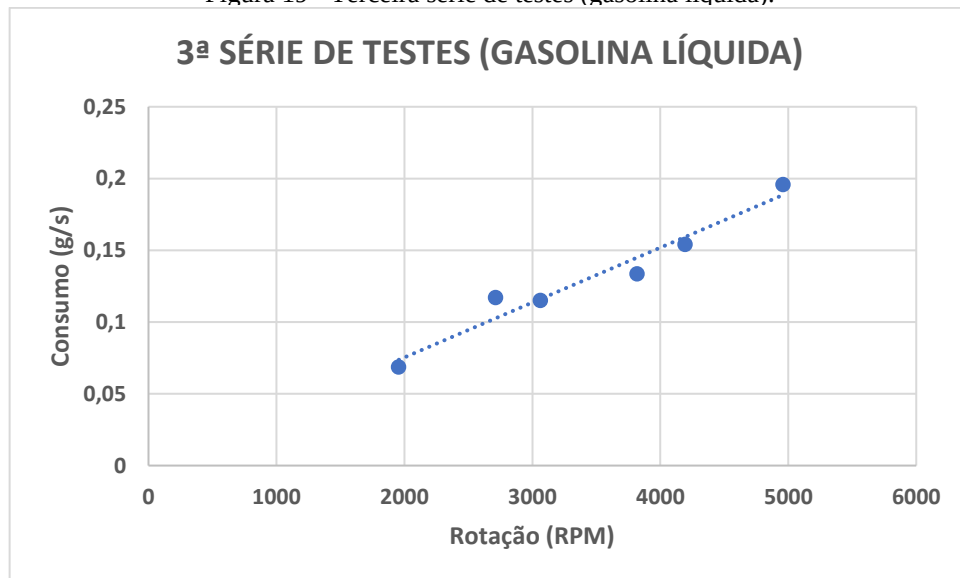
Figura 18 - Segunda série de testes (gasolina líquida).



Fonte: Autor, 2024.

Na terceira série, Figura 19, ocorreu como na primeira, uma variação na segunda rotação, onde observou-se um aumento no consumo e depois uma queda para aumento do consumo até o fim da série.

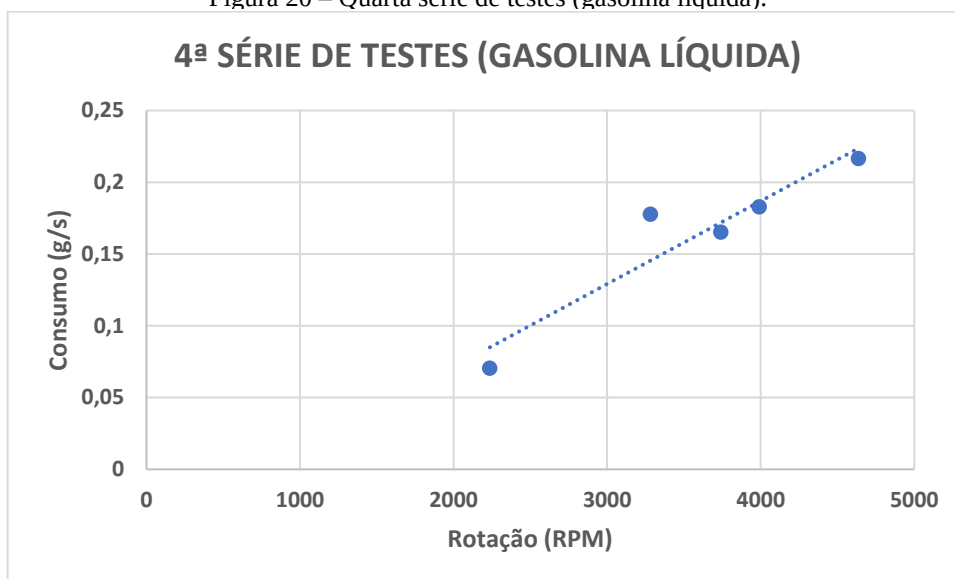
Figura 19 - Terceira série de testes (gasolina líquida).



Fonte: Autor, 2024.

Na quarta série de testes, Figura 20, a marcha lenta do motor já iniciou com mais de 2000 rpm e teve um maior consumo inicial, diferentes das séries anteriores, pelo motivo de ter iniciado acelerado.

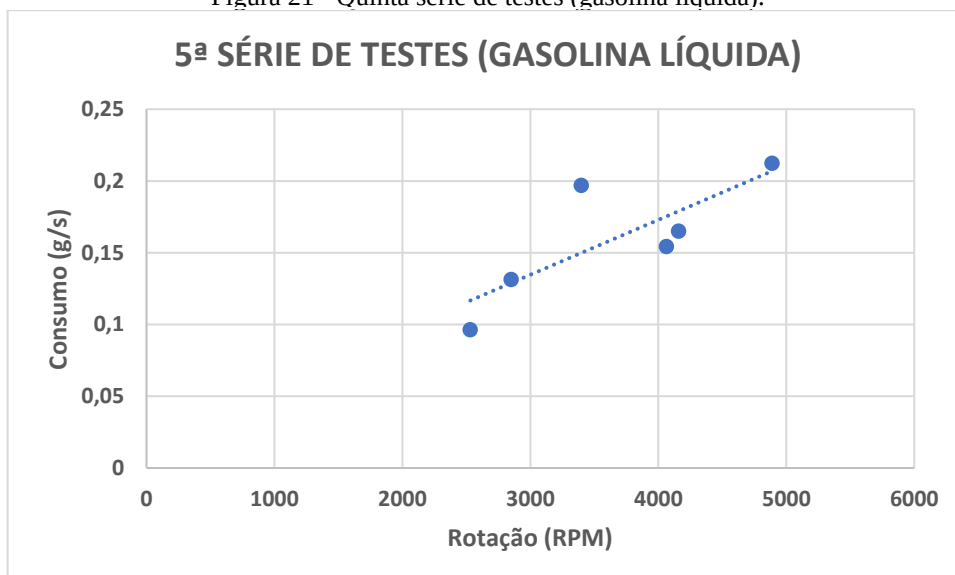
Figura 20 – Quarta série de testes (gasolina líquida).



Fonte: Autor, 2024.

A quinta e última série de testes, Figura 21, houve um aumento na rotação, o motor continuou iniciando de forma acelerada, com isso o consumo no início do teste aumentou em comparação as outras séries. Notou-se que após 3000 rpm ocorre um aumento no consumo para diminuir novamente. Percebeu-se que o motor já não conseguiu atingir 5000 rpm, como nas séries anteriores. Isso pode ter ocorrido pelo aumento da temperatura do motor.

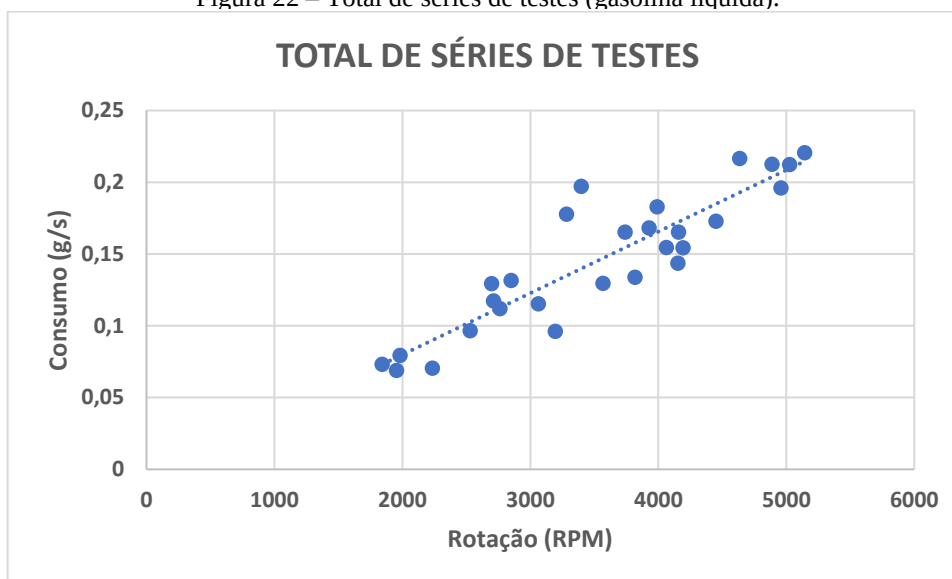
Figura 21 - Quinta série de testes (gasolina líquida).



Fonte: Autor, 2024.

De acordo com a Figura 22, analisou-se todos os testes realizados e verificou-se que o motor se comportou de diferentes maneiras a cada série. Na menor rotação que o motor conseguiu chegar ele ainda consumiu um pouco mais do que o segundo ponto da Figura 22.

Figura 22 – Total de séries de testes (gasolina líquida).



Fonte: Autor, 2024.

Um dos fatores que influenciou em cada uma das séries foi variação das rotações, a necessidade de manter a rotação fixa impossibilitou resultados mais precisos.

Ao ser finalizado o teste com gasolina líquida, iniciou-se os preparativos para os testes a vapor. O primeiro ponto a ser observado foi que o motor funcionou, mas não conseguia manter-se ligado por alguns minutos, o que levou a investigar os motivos para o seu desligamento.

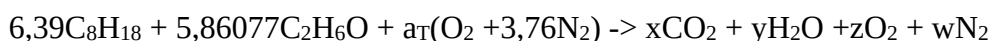
Sabe-se que, teoricamente que o poder calorífico do vapor de gasolina é maior que o da gasolina líquida, os cálculos a seguir mostra o poder calorífico da gasolina a vapor e gasolina líquida, onde pode-se observar que o poder calorífico do vapor é maior que da gasolina líquida:

Condições:

Utilizando o ar 100% teórico, e que a gasolina comum contem 27% de Etanol. Calculamos a massa em kmol, analisando para 1000 kmol/kg.

$$N \text{ C}_8\text{H}_{18} = 1000(0,73) / 114,232 = 6,39 \text{ kmol}$$

$$N \text{ C}_2\text{H}_6\text{O} = 1000(0,27) / 46,069 = 5,86077 \text{ kmol}$$



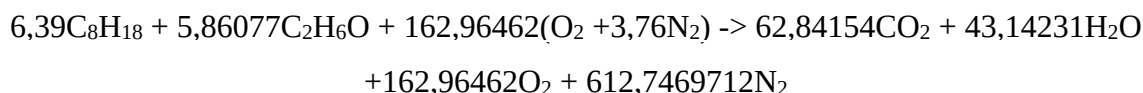
$$C = x = (8,6,39 + 2,5,86077) = 62,84154$$

$$\text{H}_2 = y = (6,39,18 + 5,86077,6) / 2 = 43,14231$$

$$\text{O} = a_T = (2,62,84154 + 43,14231,1 - 5,86077) = 162,96462 = z$$

$$\text{N}_2 \rightarrow w = 612,7469712$$

Balaceando a equação:



Utilizando a Tabela 3 para calcular o poder calorífico da gasolina comum.

Tabela 3 - Tabelas de Entalpia (gasolina líquida).

	$\bar{h}_f^\circ$	$\bar{h}_{298\text{ K}}$	$\bar{h}_{298\text{ K}}^\circ$
C₈H₁₈ (l)	-249950	-	-
C₂H₆O (l)	-277690	-	-
O₂	0	8682	8682
N₂	0	8669	8669
H₂O	-241820	9904	9904
CO₂	-393520	9364	9364

Fonte: Çengel e Boles, 2013.

$$-Q_{\text{SAÍDA}} = \sum N_P (\bar{h}_f^\circ + \bar{h}_{298\text{ K}} - \bar{h}_{298\text{ K}}^\circ) - \sum N_R (\bar{h}_f^\circ + \bar{h}_{298\text{ K}} - \bar{h}_{298\text{ K}}^\circ)$$

$$-Q_{\text{SAÍDA}} = \sum N_P (\bar{h}_f^\circ) - \sum N_R (\bar{h}_f^\circ)$$

$$P = 62,84154(-393520) + 43,14231(-241820) = -35162076,225$$

$$R = 6,39(-249950) + 5,86077(-277690) = -3224657,7213$$

$$-Q_{\text{SAÍDA}} = P - R = -31937418,5037 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{SAÍDA}} = 31.937.418,5037 \text{ kJ}$$

$$q(\text{C}_8\text{H}_{18} + \text{C}_2\text{H}_6\text{O})_{\text{LÍQUIDA}} = Q / (6,39 + 5,86077)$$

$$q(\text{C}_8\text{H}_{18} + \text{C}_2\text{H}_6\text{O})_{\text{LÍQUIDA}} = 31.937.418,5037 / 12,25077 = 2.606.972,33 \text{ kJ/kmol}$$

O poder calorífico do combustível líquido é de 2.606.972,33 kJ/kmol.

Utilizando a Tabela 4 para calcular o poder calorífico da gasolina comum.

Tabela 4 - Tabelas de Entalpia (gasolina vaporizada).

	$\bar{h}_f^\circ$	$\bar{h}_{298\text{ K}}$	$\bar{h}_{298\text{ K}}^\circ$
C₈H₁₈ (g)	-208450	-	-
C₂H₆O (g)	-235310	-	-
O₂	0	8682	8682
N₂	0	8669	8669
H₂O	-241820	9904	9904
CO₂	-393520	9364	9364

Fonte: Çengel e Boles, 2013.

$$-Q_{SAÍDA} = \sum N_P (\bar{h}_f^\circ + \bar{h}_{298\text{ K}} - \bar{h}_{298\text{ K}}^\circ) - \sum N_R (\bar{h}_f^\circ + \bar{h}_{298\text{ K}} - \bar{h}_{298\text{ K}}^\circ)$$

$$P = 62,84154(-393520) + 43,14231(-241820) = -35.162.076,225$$

$$R = 6,39(-208450) + 5,86077(-235310) = -2.711.093,2887$$

$$-Q_{SAÍDA} = P - R = -32.450.982,9363 \text{ kJ}$$

$$Q_{SAÍDA} = 32.450.982,9363 \text{ kJ}$$

$$q_{(C_8H_{18} + C_2H_6O)_{VAPOR}} = Q / (6,39 + 5,86077)$$

$$q_{(C_8H_{18} + C_2H_6O)_{VAPOR}} = 32.450.982,9363 / 12,25077 = 2.648.893,33 \text{ kJ/kmol}$$

O poder calorífico do combustível vaporizado é de 2.648.893,33 kJ/kmol. Portanto, conclui-se que o combustível vaporizado tem o poder calorífico maior que o combustível líquido.

$$q_{(LIQUIDA)} = 2.836.523,24 \text{ kJ/kmol} < q_{VAPOR} = 2.882.135,5 \text{ kJ/kg}$$

6 CONCLUSÕES

Acredita-se que o aparato tenha alguns detalhes a serem modificados para um melhor funcionamento. Esses detalhes podem ser cruciais para um teste mais preciso sobre a utilização de vapor de gasolina. Por dentro do cilindro foram feitos alguns ajustes para ajudar a vaporizar a gasolina de maneira eficiente, mas a não utilização de uma boia para manter esse nível de gasolina constante foi um dos motivos para o motor desligar em pouco tempo, pois, percebeu-se que ao diminuir a gasolina dentro do cilindro o motor perdia velocidade e ao adicionar mais gasolina o ar não conseguia romper uma certa quantidade de gasolina.

As válvulas utilizadas para controle da mistura dificultaram o controle, o que seria necessária uma mudança para válvulas com mais de controle de saída. A pressão de sucção do motor não é muito alta, por isso deve ser mantido uma baixa altura de combustível no carburador de vapor para que possa acontecer a sucção e vaporização do combustível.

Como não conseguiu-se manter a rotação fixa, impossibilitou uma avaliação mais precisa do comportamento do motor em relação ao seu consumo.

A passagem do ar por dentro do combustível produz uma grande quantidade de vapor de gasolina, sendo necessário misturar mais ar puro à mistura que sai de dentro do carburador de vapor.

É possível fazer um motor de combustão interna funcionar com vapor de gasolina. Através de cálculos energéticos pode-se perceber que se tem mais energia disponível no vapor de gasolina do que na gasolina líquida, consequentemente pode-se obter um motor mais econômico e/ou mais potente operando com a gasolina vaporizada ao invés dela líquida atomizada como é feita nos motores atuais.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os resultados deste trabalho demonstraram a possibilidade de fazer um motor funcionar a vapor, muitas pesquisas serão necessárias para melhorar a ideia e concluir a viabilidade de utilizar vapor de gasolina.

Recomenda-se para trabalhos futuros mudanças no cilindro, adicionar uma boia para manter o nível de gasolina constante, mudanças de válvulas para melhor atender o controle da mistura de ar/gasolina, desenvolver um dinamômetro para verificar a potência do motor e buscar ideias para melhorar a rotação do motor com o intuito de mantê-lo constante.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Paulo. **Como funciona um carburador? – Parte II – Testando, 2018.**

Disponível: Como funciona um carburador? – Parte II – Testando | Motomais (motosport.com.pt). Acesso em: 27 de setembro de 2024.

BORGES, Fábio Calaça Ribeiro; ASSIS, Felipe Maia Almeida de. **DISPOSITIVO PARA GANHO DE POTÊNCIA EM MOTOR COM TURBOCOMPRESSOR, 2020.**

BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna.** Editora Blucher, 2018. *E-book*. Isbn 9788521212942. Disponível em:

<https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521212942/>. Acesso em: 23 maio. 2024.

CARVALHO, Bruno Henrique Oliveira. **Motores de Combustão Interna: Ciclo Otto, 2021.**

Disponível: TCC Completo - ABNT Padrão institucional (pgsscogna.com.br). Acesso: 03 de setembro de 2024.

CONTESINI, Leonardo. Como funciona um carburador. Revista Flatout, 2014.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. **Termodinâmica.** 7th ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. *E-book*. p.945. ISBN 9788580552010. Disponível em:

<https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788580552010/>. Acesso em: 27 out. 2024.

FARRÚS, S. Forns [et al.]. **Motores alternativos de combustión interna.** Edição UPC, 2005.

ISBN 9788498802368. DOI 10.5821/ebook-9788498802368. [Consulta: 22 de maio de 2024]. Disponível: <http://hdl.handle.net/2099.3/36805>.

FRANCHI, C.M. acionamentos elétricos, ed. Érica, 4a. Ed., sp, 2008.

Pantoja, Glauco Cohen. Campos conceituais e indução eletromagnética: classificação de problemas em eletrodinâmica. Revista brasileira de pesquisa em educação em ciências, p. E24370-33, 2021.

GUPTA, H. N. **Fundamentals of internal combustion engines.** Prentice-hall of india pvt. Limited, 2006. ISBN 9788120328549. [consulta: 22 de maio de 2024]. Disponível:

<https://books.google.com.br/books?id=mfx4vrerhnoc>.

MARTINS, Jorge. **Motores de combustão interna – 2nd edição.** Isbn: 972-8953-82-x. Publindustria, porto, 2006.

Mercedes-Benz Group. *Pioneer work in the 19th century Forerunners to the automobile,*

2018. Disponível: Forerunners to the automobile: Company history. | Mercedes-Benz Group > Company > Tradition > Company History. Acesso: 02 de setembro de 2024.

MORAES, Rafael Duarte Silva de. **A importância da evolução dos motores de combustão interna, 2020.** Instituição Anhanguera Educacional.

MOTA, Breno Silveira. **Desempenho e emissões de motor de ignição por compressão operando com HVO e diesel R5.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2023.

PERES, Daniela. Como reduzir o consumo de combustível em motores ciclo otto: Um estudo sobre a influência dos sistemas de injeção no consumo de combustível, 2017. Disponível: Como reduzir o consumo de combustível em motores Ciclo Otto (pgsscogna.com.br). Acesso em: 03 de setembro de 2024.

SOUSA, Robson Guedes de; SILVA, Glauco Bueno da. Motores de combustão interna. NT Editora, 2014.

SOUZA, Alfeu de Arruda – TCC – A evolução do sistema de injeção de combustível em motores ciclo Otto: “Uma análise Crítica desde suas implicações no meio ambiente à regulamentação no sistema normativo pátrio.”. - Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFMS – 2008.

STEFANELLI, Eduardo J. Funcionamento do carburador – animação interativa, 2017. Disponível: Funcionamento do carburador - animação interativa | Prof. Eduardo J. Stefanelli. Acesso: 02 de outubro de 2024.

TALÁ, Ana Clarah Cordeiro de Oliveira. Emissões de gases por motogeradores no Instituto de Ciências Agrárias-UFVIM, 2023. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Disponível: http://site.ufvjm.edu.br/ica/files/2019/02/tcc-eaa_2023_ana-clarah-cordeiro-de-oliveira-tal%c3%a1.pdf. Acesso: 25 de maio de 2024.

TILLMANN, Carlos Antonio da Costa. Motores de Combustão Interna e seus Sistemas. Pelotas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria; Rede e-Tec Brasil, 2013.

TORRES, Lucas de Albuquerque. Modelo e análise da formação de emissões em motores de combustão interna baseado na cinética química da combustão. Unversidade Federal de Pernambuco, 2020.