



Centro Universitário de Goianésia - UNIEGO
Curso de Engenharia Mecânica

**HIGOR HADELMO DOS SANTOS SODRÉ
THIARLES PEREIRA RODRIGUES**

**ENSINO APLICADO DA MECÂNICA AUTOMOTIVA: PROTÓTIPO DIDÁTICO
PARA O ESTUDO DA LUBRIFICAÇÃO EM MOTORES DE COMBUSTÃO
INTERNA**

Publicação N° 03

**Goianésia – GO
2025**

FICHA CATALOGRÁFICA

SODRÉ, HIGOR HAELMO DOS SANTOS; RODRIGUES, THIARLES PEREIRA.

Estudo sobre O ensino aplicado da mecânica automotiva: Protótipo didático para o estudo da lubrificação em motores de combustão interna 2025 (ENM/FACEG, Bacharel, Engenharia Mecânica, 2025).

ARTIGO – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Mecânica.

1. MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA
 2. LUBRIFICAÇÃO
 3. PROTÓTIPO
 - I. ENM/FACEG

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SODRÉ, H. H. S.; RODRIGUES, T. P. Estudo sobre a importância da lubrificação para os motores a combustão interna 03 2025/2 Curso de Engenharia Mecânica Centro Universitário Evangélico de Goianésia - UNIEGO, Goianésia, GO, 10p. 2025.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: Higor Hadelmo Dos Santos Sodré, Thiarles Pereira Rodrigues.

TÍTULO DO TRABALHO DO ARTIGO: ENSINO APLICADO DA MECÂNICA AUTOMOTIVA: PROTÓTIPO DIDÁTICO PARA O ESTUDO DA LUBRIFICAÇÃO EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.

GRAU: Bacharel em Engenharia Mecânica. ANO: 2025

É concedida ao Centro Universitário Evangélico de Goianésia - UNIEGO a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

gov.br HIGOR HAELMO DOS SANTOS SODRÉ
Data: 17/12/2025 22:46:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Document assinado digitalmente
THIARLES PEREIRA RODRIGUES
Data: 17/12/2025 23:32:48-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Higor Hadelmo dos Santos
76385-040 - Goianésia/GO – Brasil

Thiarles Pereira Rodrigues
76420000 - Niquelândia/GO - Brasil

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, EM FORMA DE ARTIGO,
SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA UNIEGO**

Aprovados por:

Documento assinado digitalmente
 CESAR RAMOS RODRIGUES FILHO
Data: 17/12/2025 21:48:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**César Ramos Rodrigues Filho, Me. (UNIEGO)
(ORIENTADOR)**

**Alessandro Moraes Martins, Me. (UNIEGO)
(EXAMINADOR INTERNO)**

Documento assinado digitalmente
 IVANDRO JOSE DE FREITAS ROCHA
Data: 18/12/2025 08:15:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Ivandro José de Freitas Rocha, Me. (UNIEGO)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**Goianésia – GO
2025**

ENSINO APLICADO DA MECÂNICA AUTOMOTIVA: PROTÓTIPO DIDÁTICO PARA O ESTUDO DA LUBRIFICAÇÃO EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Higor Hadelmo dos Santos Sodré ¹, Thiarles Pereira Rodrigues ²
e Cesar Ramos Rodrigues Filho ³

¹Acadêmica de Engenharia Mecânica/FACEG Email: higoradeumo.sodre123@gmail.com

²Acadêmico de Engenharia Mecânica /FACEG Email: thiarlesrodrigues300@gmail.com

³Orientador(a) e Professor(a) do Curso de Engenharia Mecânica/FACEG Email: cesar.ramos6955@gmail.com

Resumo: O motor a combustão interna é um componente fundamental da engenharia automotiva, presente em veículos leves e pesados. Seu funcionamento depende da integração de diversos sistemas, com destaque para o sistema de lubrificação, cuja função é reduzir o atrito entre peças móveis, dissipar o calor e preservar a durabilidade dos componentes internos. Este trabalho teve como objetivo estudar e ilustrar de forma prática, o funcionamento do sistema de lubrificação em um motor a combustão interna de quatro cilindros. Para isso, foi desenvolvido um protótipo funcional utilizando peças reaproveitadas de sucata, com foco na visualização do percurso do óleo lubrificante e na facilitação do ensino técnico em mecânica automotiva. A proposta busca tornar o aprendizado mais visual e prático, evidenciando a relevância do sistema de lubrificação na redução do atrito, na dissipação de calor e na conservação dos componentes internos do motor. A metodologia adotada incluiu a coleta de peças em oficinas e ferros-velhos, a montagem do motor, o corte longitudinal do bloco para exposição dos componentes internos, a simulação do sistema de lubrificação com óleo mineral e bomba manual, além da documentação técnica de todo o processo. Os resultados obtidos revelam que o modelo permitiu uma visualização clara do trajeto do óleo lubrificante, passando pelo cárter, bomba, galerias, mancais e cabeçote. O corte longitudinal revelou componentes como pistões, virabrequim, válvulas e árvore de comando, facilitando a compreensão do funcionamento interno do motor. Ademais, o uso de peças reaproveitadas mostrou-se uma alternativa viável e sustentável para projetos didáticos, despertando o interesse dos alunos e promovendo o aprendizado prático.

Palavras-chave: Motor; Sistema; Protótipo; peças reaproveitadas.

Abstract: The internal combustion engine is a fundamental component of automotive engineering, present in both light and heavy vehicles. Its operation depends on the integration of several systems, most notably the lubrication system, whose function is to reduce friction between moving parts, dissipate heat, and preserve the durability of internal components. This project aimed to study and illustrated in a practical way, how the lubrication system works in a four-cylinder internal combustion engine. To this end, a functional prototype was built using recycled scrap parts, focusing on visualizing the lubricating oil's path and facilitating technical training in automotive mechanics. The proposal aims to make learning more visual and practical, highlighting the importance of the lubrication system in reducing friction, dissipating heat, and preserving the engine's internal components. The methodology adopted included collecting parts from workshops and scrapyards, assembling the engine, cutting the block longitudinally to expose the internal components, simulating the lubrication system with mineral oil and a manual pump, as well as technical documentation of the entire process. The results obtained reveal that the model clearly visualized the lubricating oil's path through the crankcase, pump, galleries, bearings, and cylinder head. The longitudinal section revealed components such as pistons, crankshaft, valves, and camshaft, facilitating understanding of the engine's internal workings. Furthermore, the use of reclaimed parts proved to be a viable and sustainable alternative for educational projects, sparking student interest and promoting hands-on learning.

Keywords: Engine; System; Prototype; repurposed parts.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, observou-se um significativo avanço tecnológico relacionado à industrialização mecânica, especialmente no desenvolvimento dos motores a combustão interna. Essa evolução teve início no século XIX e continuou ao longo das décadas, impulsionada principalmente por sua aplicação em veículos automotivos, equipamentos agrícolas e máquinas industriais. Esses sistemas operam por meio de um ciclo termodinâmico, no qual a energia química proveniente da queima de combustíveis fósseis ou fontes alternativas é convertida em energia mecânica, gerando força dinâmica para movimentar os mecanismos [1].

Com o progresso tecnológico, surgiram produtos mais avançados, capazes de aumentar a eficiência térmica dos motores, reduzindo o consumo de combustível e a emissão de poluentes [2]. No entanto, com o tempo, os motores podem apresentar desgaste ou falhas que comprometem seu desempenho energético, elevando os custos operacionais. Nesse contexto, os lubrificantes desempenham um papel essencial ao reduzir o atrito e a corrosão, formando uma película protetora que auxilia no controle do calor gerado entre as superfícies metálicas [3].

A prática da lubrificação remonta ao Egito Antigo, por volta de 2600 a.C., e evoluiu ao longo dos séculos, passando por civilizações como Grécia e Roma. Inicialmente, utilizavam-se substâncias como sebo e gordura animal. Somente no século XVI o petróleo passou a ser empregado como lubrificante, tornando-se indispensável para evitar falhas nos componentes mecânicos [1].

O sistema lubrificante, além de ser uma técnica, constitui uma estratégia preventiva que visa prolongar a vida útil das unidades motrizes e seus elementos internos, prevenindo corrosão, desgaste por atrito e contribuindo para a eficiência energética. Apesar dos avanços, ainda existem desafios relacionados à compreensão e aplicação adequada desse mecanismo, especialmente diante da rápida evolução dos propulsores de alta performance e das novas regulamentações ambientais que restringem o uso de certos aditivos prejudiciais ao meio ambiente [4].

Nesse contexto, este trabalho propõe-se a estudar a trajetória do óleo lubrificante dentro de um motor a combustão interna. Os estudos realizados contribuem para o aprofundamento do conhecimento sobre o conjunto mecânico dos motores e seu processo de lubrificação, permitindo o desenvolvimento de soluções que minimizem os impactos econômicos e ambientais decorrentes de uma lubrificação ineficiente. Falhas nesse procedimento podem resultar em perdas energéticas significativas, aumento no consumo de combustível e maior emissão de gases poluentes. Assim, compreender esse sistema é fundamental para garantir melhor desempenho e durabilidade das máquinas térmicas [5].

A modernização dos motores de combustão interna já é uma realidade presente em diversos setores, como transporte e geração de energia, desempenhando papel crucial em aplicações industriais e agrícolas [6]. Este projeto visa aprofundar o conhecimento técnico e prático sobre o funcionamento do sistema lubrificante desses motores, contribuindo para futuros estudos acadêmicos. A construção de um protótipo permite explorar aspectos mecânicos, elétricos e de fluidodinâmica, sendo uma

ferramenta essencial no processo de aprendizagem tecnológica.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um protótipo físico de um motor de combustão interna de quatro tempos, utilizando materiais provenientes de sucata, com finalidade pedagógica, a fim de ilustrar o funcionamento do sistema mecânico, o processo de lubrificação e a trajetória do óleo pelas galerias internas. Serão abordados, de forma específica, os seguintes tópicos: estudo dos motores de combustão interna, análise dos lubrificantes, desenvolvimento de uma réplica funcional e demonstração do sistema lubrificante interno do motor.

REFERENCIAL TEÓRICO

Os motores de combustão interna começaram a se desenvolver apenas no século XIX, embora o século XVIII tenha sido marcado pelo surgimento dos primeiros motores a combustão externa, movidos a vapor e alimentados principalmente por lenha, devido ao seu baixo custo e abundância [3].

Diferentemente dos motores a vapor, os motores de combustão interna realizam a queima do combustível diretamente no interior do motor, o que permitiu uma rápida evolução tecnológica e mecânica [3]. Esses motores se destacam por sua maior versatilidade, eficiência energética, menor peso específico por cavalo-vapor e facilidade de adaptação a diversas aplicações industriais e de transporte [7].

Em 1860, Jean Joseph Étienne Leonir desenvolveu o primeiro motor de combustão interna, com potência de 1 cavalo-vapor, utilizando gás de iluminação como combustível [8]. No ano seguinte, Nikolaus August Otto e Eugen Langen, aprimorando a máquina de Lenoir, construíram um motor que realizava a compressão da mistura ar-combustível, com ignição por centelha elétrica. Essas inovações contribuíram significativamente para o aumento da eficiência operacional dos motores.

Em 1862, o engenheiro francês Alphonse Beau de Rochas publicou estudos fundamentais de termodinâmica aplicados ao motor de Otto, fornecendo uma fundação

teórica sólida para os avanços subsequentes na tecnologia de motores. Utilizando as teorias de Rochas, Otto apresentou em 1872 o motor posteriormente conhecido como "motor ciclo Otto", que operava originalmente com gás de carvão ou gasogênio [9].

Em 1889, o motor ciclo Otto foi adaptado para o uso de gasolina como combustível, uma inovação que acelerou sua aplicação em veículos automotores. Ainda no século XIX, especificamente em 1893, o engenheiro Rudolf Diesel desenvolveu o motor de ignição por compressão, atualmente conhecido como motor Diesel, o qual utilizava óleo diesel como combustível [10].

Os motores dos ciclos Otto e Diesel apresentam diferenças significativas em funcionamento, construção e aplicação. A principal distinção está na forma de ignição e na mistura admitida: os motores Otto, mais comuns em veículos de passeio, utilizam ignição por centelha e admissão de ar-combustível; já os motores Diesel, predominantes em veículos pesados e equipamentos agrícolas, operam com ignição por compressão e admissão apenas de ar [11]. A Tabela 01 apresenta as principais características comparativas entre os ciclos Otto e Diesel:

Tabela 01: Classificação dos Motores a Combustão Interna

Classificação	Ciclo Otto	Ciclo Diesel
Propriedade dos gases da admissão	admissão de ar-combustível	admissão de ar
Ignição	Ignição por Centelha (ICE)	Ignição por Compressão (ICO)
Movimento do pistão	Alternativos	Rotativo
Fases dos ciclos de trabalho	Quatro tempos	Dois tempos
Número de cilindros	Policilíndricos	Monocilíndricos
Disposição dos cilindros	Em linha; em V	Opostos; radiais

Fonte: adaptado (Tillmann, 2013)

Este motor revolucionou as indústrias devido à sua maior eficiência energética, decorrente da elevada taxa de compressão, permitindo melhor aproveitamento da energia química do combustível. A evolução continuou durante o século XX, período em que os motores de combustão interna foram submetidos a diversas melhorias em termos de eficiência térmica, potência e redução das emissões de poluentes [12].

Segundo [13], os motores de combustão interna podem ser classificados conforme sua aplicação em quatro

categorias principais: estacionários, utilizados para acionar máquinas fixas, como geradores e motobombas; industriais, empregados em equipamentos como guindastes, compressores de ar, máquinas mineradoras e sistemas hidrostáticos; veiculares, aplicados em veículos terrestres, como carros e caminhões, bem como em aeronaves; e marítimos, usados na propulsão de embarcações e em máquinas navais.

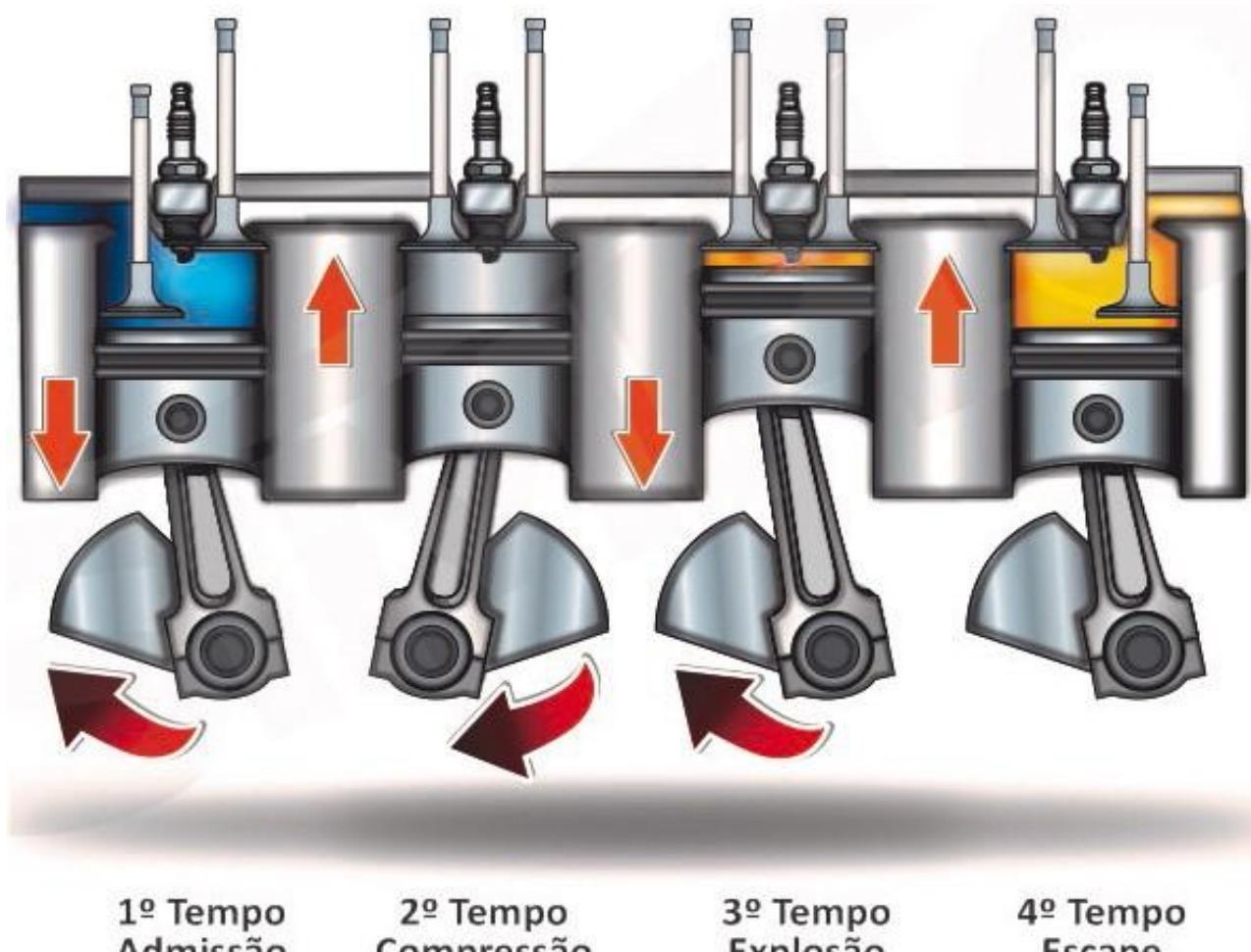
Segundo [14], o funcionamento do motor de combustão interna ocorre em quatro tempos, denominados

admissão, compressão, combustão ou explosão e escape. No primeiro tempo, a válvula de admissão abre-se, permitindo a entrada no cilindro da mistura de combustível e gases. No segundo tempo, chamado de compressão, a válvula de admissão é fechada e o pistão sobe, comprimindo o combustível. No terceiro tempo, denominado combustão ou explosão, a vela de ignição libera uma pequena faísca dentro do cilindro, provocando a explosão do combustível; em seguida, o pistão desce

devido à pressão exercida pelos gases resultantes da combustão. Por fim, no quarto tempo, chamado de escape, o pistão sobe novamente e a válvula de escape é aberta, permitindo que os gases provenientes da combustão sejam expulsos para fora do cilindro, deixando-o livre para o início de um novo ciclo.

A Figura 01, apresentada a seguir, mostra os movimentos e reações que correm no motor de ciclo Otto.

Figura 01: Motor Ciclo Otto



Fonte: (Rabelo, 2020)

O ciclo Diesel, também conhecido como motores de ignição por compressão, baseia-se na compressão do ar para gerar calor suficiente para a autoignição do combustível. Nesse processo, o combustível é injetado

diretamente no ar aquecido, provocando sua combustão espontânea [15].

Apesar dos avanços tecnológicos, ainda enfrentam o desafio de reduzir as emissões de poluentes e

atender às exigências das normas regulatórias internacionais. Para isso, torna-se essencial a adoção de tecnologias como sistemas avançados de controle eletrônico, o uso de materiais leves e resistentes, além do aprimoramento contínuo dos processos de combustão [16].

Os motores de combustão interna mantêm sua relevância no cenário tecnológico atual. Cada tipo de ciclo apresenta características específicas, que determinam sua aplicação ideal: o ciclo Otto é mais adequado para tarefas leves, enquanto o ciclo Diesel se destaca em aplicações robustas e pesadas [16].

Esse equipamento possui um sistema complexo, composto por diversos componentes que interagem de forma dinâmica para converter energia química — proveniente da combustão do combustível — em energia mecânica. Entre os principais elementos que integram esse sistema, destacam-se o bloco de cilindros, pistões, virabrequim, bielas, cabeçote, comando de válvulas, câmaras de combustão, sistema de ignição, sistema de alimentação de combustível e sistema de lubrificação [17].

Na parte superior do motor localiza-se o cabeçote, componente que abriga as válvulas de admissão e escape. Essas válvulas controlam a entrada e saída de gases nos cilindros e são sincronizadas pela árvore de comando de válvulas, cuja atuação é ajustada por meio de correias ou correntes conectadas ao virabrequim [18]. O movimento das válvulas é auxiliado pelos balancins, que transmitem a força gerada pelo eixo de comando, permitindo sua abertura e fechamento no momento adequado [19].

O bloco do motor contém os cilindros, onde ocorre a combustão do combustível. Dentro de cada cilindro, o pistão — conectado à biela — transforma a energia da queima em movimento mecânico. Esse conjunto está acoplado à árvore de manivelas, ou virabrequim, que converte o movimento linear dos pistões em rotação, possibilitando a transmissão de força para o sistema de

transmissão do veículo. Os cilindros são revestidos por camisas, que auxiliam na dissipação do calor gerado durante o funcionamento [20].

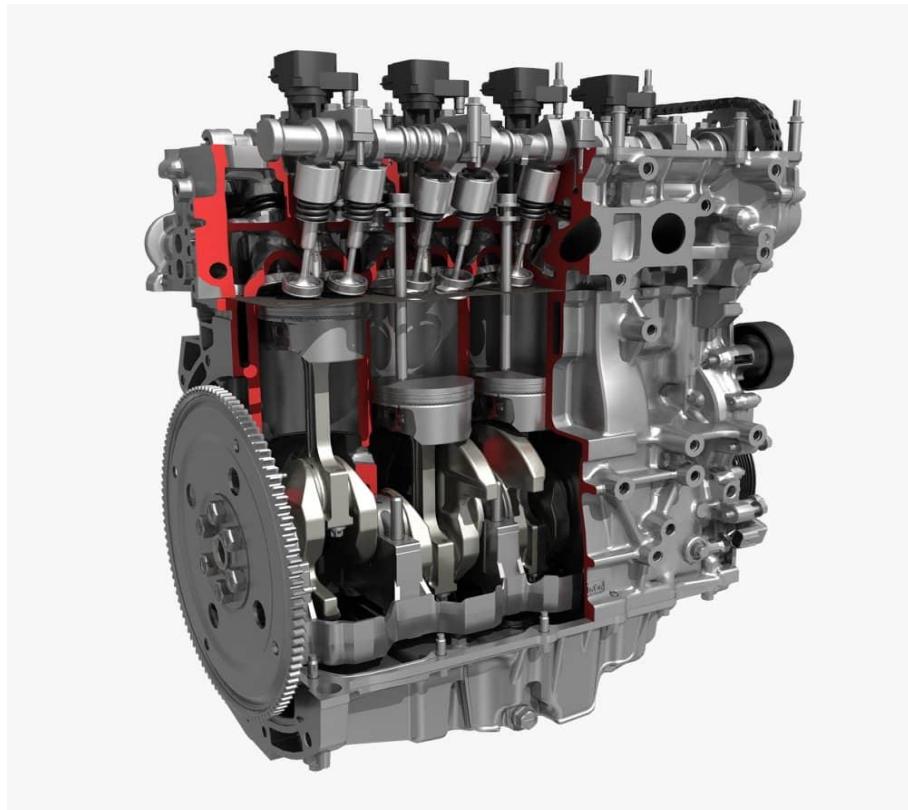
O cárter é um componente essencial que funciona como reservatório de óleo, responsável por reduzir o atrito entre as partes móveis do motor e prevenir o desgaste prematuro dos componentes. O óleo circula pelo motor impulsionado por uma bomba, garantindo a lubrificação adequada de peças internas como pistões, bielas e mancais [21].

A ignição do motor ocorre pela combustão do combustível nos cilindros, iniciada por uma centelha elétrica nos motores a gasolina ou pela compressão do ar nos motores a diesel. Esse processo é monitorado por sensores eletrônicos, que ajustam a quantidade de combustível injetado, contribuindo para a eficiência energética e a redução de emissões (Capelli, 2010). A evolução tecnológica dos motores tem proporcionado maior eficiência, menor consumo de combustível e redução de poluentes, tornando-os cada vez mais sustentáveis [22].

O coletor de admissão direciona a mistura ar-combustível para os cilindros, enquanto o coletor de escapamento conduz os gases da combustão para o sistema de exaustão. O turboalimentador é utilizado para comprimir o ar admitido, aumentando a eficiência da combustão e a potência do motor [23]. A eficiência dos sistemas de admissão e exaustão impacta diretamente no desempenho do motor e na redução de emissões poluentes [24].

Todos esses componentes operam sob altas rotações e temperaturas, o que exige um sistema de lubrificação eficiente e constante, a fim de preservar sua integridade e garantir o pleno funcionamento do motor. A Figura 02, a seguir, apresenta uma ilustração de um motor a combustão interna com seus respectivos componentes.

Figura 02: Motor a Combustão Interna



Fonte: (Industry, 2025)

A lubrificação em motores de combustão interna representa um requisito fundamental para garantir a confiabilidade operacional, a durabilidade e o desempenho global do conjunto mecânico. Sua função principal consiste em reduzir o atrito entre superfícies metálicas móveis, minimizar o desgaste e prevenir falhas prematuras. Além disso, desempenha funções complementares, como vedação entre as paredes do cilindro, pistão e anéis, dissipação de calor, proteção contra processos corrosivos e remoção de partículas provenientes da combustão e do desgaste das partes móveis [25].

Os primeiros lubrificantes foram empregados no Egito Antigo (c. 2600–1700 a.C.), onde graxas e resinas, obtidas a partir de sebo animal (boi ou carneiro), eram aplicadas para reduzir o atrito durante o transporte de blocos de pedra em plataformas móveis, assegurando menor desgaste e maior eficiência no deslocamento [26].

Na Grécia e em Roma antigas, por volta de 779 a.C., a utilização de lubrificantes derivados de gordura

animal em rodas e eixos evidencia a consolidação do conhecimento empírico sobre técnicas de redução de atrito. Posteriormente, no século XV, os Vikings empregavam óleo de baleia em embarcações, no contexto da era das grandes navegações, o que representou um avanço nos sistemas náuticos [27].

O petróleo teve início como insumo no século XVI, sendo aprimorado a partir do século XIX, com registros na região de Praga em 1810. Nesse período, tornou-se viável a separação de frações leves, destinadas à iluminação, e frações mais densas, voltadas à função. Entre os precursores, sobressai James Young, na Escócia, que por volta de 1850 desenvolveu a técnica de destilação do óleo de xisto para fins de lubrificação e iluminação [28].

O método de lubrificar acompanha a evolução da engenharia mecânica, apresentando avanços tecnológicos significativos, embora em aplicações específicas de origem orgânica em moinhos e engrenagens de baixa complexidade [29].

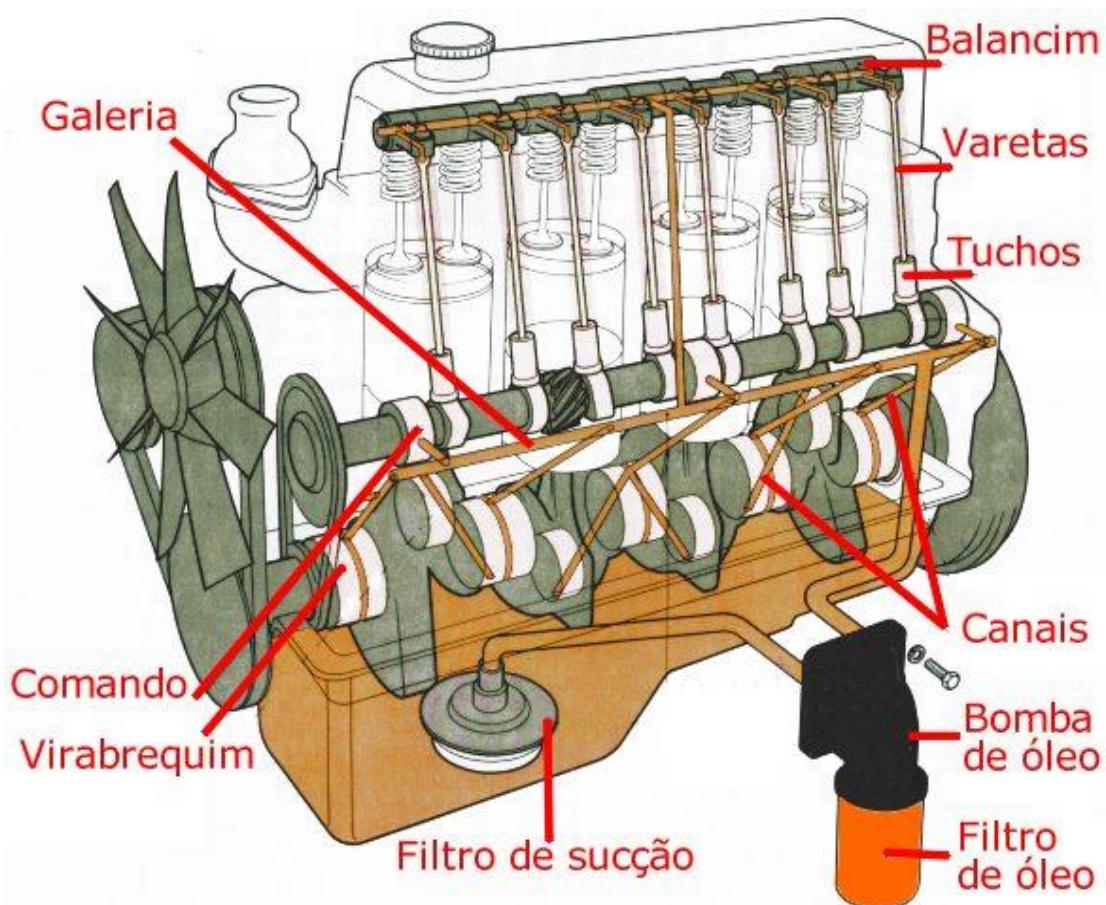
O sistema se inicia com a aspiração do óleo pela bomba, que o conduz ao filtro responsável pela retenção de impurezas antes do envio sob pressão aos elementos internos. Posteriormente, o fluido percorre uma rede de canais e galerias, sendo direcionado aos mancais do virabrequim, ao eixo de comando de válvulas, aos pistões e a outros pontos críticos [30].

O filtro de óleo desempenha papel essencial na remoção de partículas contaminantes, evitando o acúmulo de resíduos nas partes móveis. Após essa etapa, o óleo lubrificante segue para os tuchos hidráulicos, varetas e balancins, garantindo que o comando de válvulas opere de forma eficiente e silenciosa. Esse processo ocorre continuamente durante o funcionamento do motor,

assegurando a confiabilidade operacional e a durabilidade do conjunto mecânico [30].

O virabrequim, eixo giratório ao qual as bielas estão conectadas, é sustentado por mancais que requerem constante atenção. Esses elementos são críticos, pois, em condição de operação a seco, podem ocasionar o travamento do motor em poucos segundos. Da mesma forma, o cabeçote — que abriga o comando de válvulas e os balancins — está sujeito à formação de depósitos de sujeira e carbonização, comprometendo a eficiência dos sistemas de admissão e escape [15]. A Figura 03 ilustra o sistema de lubrificação, composto por bomba de óleo, filtros, galerias e sensores.

Figura 03: Sistema de Lubrificação



Fonte: (Renault, 2025)

Existem diferentes métodos de lubrificação aplicados em motores a combustão, cada um adequado a determinadas condições operacionais e tipos de aplicação. O mais comum é o sistema forçado, em que a bomba de óleo mantém um fluxo contínuo sob pressão, assegurando que todas as partes móveis do motor recebam a quantidade necessária de óleo para reduzir o atrito e dissipar o calor. Esse sistema é amplamente utilizado em motores modernos devido à sua elevada eficiência e confiabilidade, sendo composto por filtros de óleo, galerias e válvulas reguladoras de pressão, que evitam excessos ou deficiências no suprimento de lubrificante [31].

Método por salpico é aplicado principalmente em motores de menor porte e construção simplificada, como motocicletas e motores estacionários. Nesse sistema, o óleo é armazenado no cárter, e as partes móveis — como o virabrequim — ao girarem, projetam o óleo sobre as superfícies internas do motor. Embora funcional, esse método apresenta menor eficiência em comparação com a forçada, pois depende diretamente da rotação do motor para distribuir o óleo. Em condições de altas temperaturas ou sob carga elevada, pode não fornecer lubrificação suficiente para componentes críticos, aumentando o risco de desgaste prematuro [30].

Nos motores de alto desempenho, como os projetados para competições automobilísticas ou aplicações aeronáuticas, adota-se o sistema de cárter seco. Nesse caso, o óleo não é armazenado diretamente no cárter, mas em um reservatório externo, de onde é bombeado ao motor por meio de um sistema de alta pressão. Esse método é mais estável, eficiente dissipaçāo térmica e minimização da formāo de bolhas de ar no óleo. Além disso, possibilita a redução da altura do motor, resultando em centro de gravidade mais baixo, o que contribui para a estabilidade do veículo em situações críticas, como curvas acentuadas e frenagens bruscas [28].

A escolha do método de lubrificação depende de fatores como o tipo de aplicação do motor, a potência requerida, as condições de operação e os requisitos de manutenção. Independentemente do sistema adotado, a

lubrificação eficiente é indispensável para prolongar a vida útil do motor, reduzir custos operacionais e assegurar a máxima eficiência energética, contribuindo, assim, para a sustentabilidade de motores de combustão interna [25].

Além desses métodos principais, existem sistemas híbridos que combinam características distintas para otimizar o desempenho em aplicações específicas. Em motores industriais e marítimos, por exemplo, pode-se empregar por meio de névoa de óleo, na qual uma mistura pressurizada de ar e óleo forma uma névoa capaz de alcançar componentes de difícil acesso. Esse método garante lubrificação uniforme mesmo em condições de operação contínua e elevada carga térmica [24].

Os óleos são constituídos por bases minerais, sintéticas, semissintéticas ou biodegradáveis, às quais se adicionam aditivos destinados a conferir propriedades de proteção, limpeza e estabilidade química. As bases minerais são derivadas diretamente do petróleo bruto, obtidas por meio de processos de refino que separam as frações mais pesadas do óleo. Essas frações são submetidas a etapas de purificação, como desparafinação e remoção de compostos indesejáveis, resultando em óleos básicos que servem como matéria-prima para formulação de lubrificantes [25].

A composição é predominantemente formada por hidrocarbonetos, podendo apresentar pequenas quantidades de compostos aromáticos, parafínicos e naftênicos. Essa característica confere ao produto propriedades como boa capacidade em estabilidade térmica e custo relativamente baixo, o que explica sua ampla utilização em aplicações automotivas e industriais [29].

Os sintéticos são produtos obtidos por síntese química controlada, desenvolvidos para oferecer desempenho superior em condições extremas de operação. Apresentam elevada estabilidade térmica, baixa volatilidade, alta resistência à oxidação e comportamento estável em temperaturas elevadas e ambientes agressivos. Essas propriedades promovem maior eficiência energética, redução no consumo de combustível e prolongamento da

vida útil do motor, especialmente em veículos de alta performance [7].

Os lubrificantes semissintéticos são produtos quimicamente modificados, resultantes da mistura de óleos minerais e sintéticos, caracterizando-se como uma inovação tecnológica que combina bom nível de eficiência com menor custo em relação aos óleos totalmente sintéticos, e maior resistência à oxidação, maior estabilidade térmica, melhor proteção contra degradação, maior durabilidade e eficiência em comparação aos minerais [5].

Os lubrificantes biodegradáveis, são produzidos principalmente a partir de óleos vegetais como palma, soja, mamona e amendoim, apresentando elevada biodegradabilidade, baixa toxicidade e caráter renovável, características que os tornam ideais para aplicações em que há elevado risco de contaminação ambiental, podendo ser satisfatórios em termos de viscosidade, consumo de combustível e emissões [9].

Segundo [10], os aditivos representam componentes auxiliares fundamentais nos lubrificantes, pois aprimoram suas propriedades físico-químicas e garantem o desempenho adequado do sistema. Entre os principais tipos, destacam-se os detergentes e dispersantes, que desempenham papel essencial na manutenção da limpeza interna do motor, prevenindo a formação de depósitos carbonosos, resíduos da combustão incompleta e partículas oriundas do desgaste.

Outro grupo importante são os agentes antidesgaste, responsáveis por criar camadas protetoras sobre as superfícies metálicas, reduzindo o contato direto entre as partes móveis em condições de atrito úmido ou extremo, o que contribui para prolongar a vida útil dos componentes.

Além disso, os líquidos iônicos surgem como uma tecnologia avançada, oferecendo características superiores, como ultrabaixa volatilidade, fluidez em temperaturas negativas, resistência térmica de até 320 °C e elevada capacidade de redução de atrito sob condições limite. A

utilização adequada desses aditivos é indispensável para assegurar maior eficiência, reduzir falhas mecânicas e prolongar a durabilidade dos motores, tornando-se um fator decisivo para a confiabilidade e a sustentabilidade dos sistemas automotivos.

Com o avanço tecnológico dos motores a combustão interna, elevou-se a demanda por lubrificantes especializados, estimulando a pesquisa em aditivos de última geração, capazes de suportar condições extremas de temperatura, pressão e contaminação. Segundo [15] classificação dos óleos para motores que definem critérios de viscosidade, desempenho e métodos de ensaio, orientando fabricantes e usuários na escolha do produto adequado, fundamenta-se em três normas principais:

- SAE J300 (Sociedade de Engenheiros Automotivos): estabelece os graus de viscosidade dos óleos automotivos de acordo com suas propriedades de escoamento a baixas e altas temperaturas.
- API (Instituto Americano de Petróleo): classifica os óleos conforme seu nível tecnológico e sua capacidade de proteção em motores Otto (gasolina) e Diesel.
- ASTM (Sociedade Americana de Testes e Materiais): define métodos padronizados de ensaio como ponto de fulgor, viscosidade dinâmica e estabilidade térmica.

Para a seleção adequada, cada motor possui especificações do fabricante que combinam o grau SAE e a classe API, considerando variáveis como condições climáticas, carga de trabalho e intervalos de manutenção preventiva.

A Tabela 02 resume as principais classificações de lubrificantes automotivos segundo as normas SAE e API, detalhando faixa térmica, características de desempenho e aplicações históricas ou atuais em motores Otto e Diesel.

Tabela 02: Classificação dos óleos lubrificantes

Norma	Classificação	Descrição	Serviço
SAE	20	Alta temperatura de operação	Serviço sob pressão
SAE	5W-30	Óleo multigraduado	Fluidez em frio e viscosidade em quente
API Diesel	CA	Óleo básico para motores Diesel	Serviços leves ou moderados
API Diesel	CJ-4	Lubrificante Diesel de alta performance	Motores de alta rotação 4 tempos
API (Otto)	AS	Óleo básico sem aditivação	Serviço leve
API (Otto)	SH	Veículos (1994 em diante)	Maior proteção contra o desgaste, verniz e oxidação

Fonte: Adaptada (Lago, 2017)

Sob a perspectiva ambiental e econômica, a eficiência do sistema de lubrificação desempenha um papel estratégico na redução do consumo energético, na mitigação das emissões atmosféricas e no prolongamento da vida útil dos componentes mecânicos. Com um processo adequado diminui o atrito entre as superfícies móveis, reduzindo perdas por fricção e evitando desgaste prematuro, o que se traduz em menor necessidade de manutenção corretiva e maior confiabilidade operacional [16].

Além disso, a lubrificação eficiente contribui diretamente para a conformidade com normas ambientais, uma vez que reduz a formação de resíduos carbonosos e a emissão de gases poluentes. Essa prática não apenas preserva a integridade do motor, mas também promove economia de combustível, impactando positivamente os custos operacionais e a sustentabilidade do sistema automotivo [17].

Nesse contexto, tecnologias emergentes vêm sendo incorporadas ao processo de manutenção,

destacando-se os filtros de óleo ecológicos. Esses dispositivos prolongam a vida útil do lubrificante, minimizam o descarte de resíduos e reduzem a necessidade de trocas frequentes, diminuindo o impacto ambiental associado ao consumo de recursos e à geração de rejeitos. Aliadas a óleos de base sintética e aditivos de alta performance, essas soluções reforçam práticas sustentáveis, alinhando eficiência técnica e responsabilidade ambiental [25].

METODOLOGIA

A metodologia empregada neste projeto fundamenta-se em pesquisas e análises sobre motores a combustão interna e sistemas de lubrificação, visando aprofundar o entendimento sobre os princípios de funcionamento e operação desses componentes. Com base nos dados obtidos, foi desenvolvido um protótipo utilizando componentes reaproveitados (sucata), com o propósito de evidenciar a lubrificação interna em motores de quatro tempos.

O projeto consiste no desenvolvimento de uma réplica funcional com finalidade didática, destinada a representar de forma objetiva o percurso do óleo pelas galerias internas do motor. Essa abordagem prática permite a visualização do sistema de lubrificação em operação, contribuindo para a assimilação dos conceitos envolvidos e estimulando o interesse por investigações acadêmicas futuras sobre a influência da lubrificação na eficiência e durabilidade dos motores.

Para a execução eficiente do projeto, foi necessário a definição clara e objetiva do escopo, que representa o conjunto de processos responsáveis por delimitar e detalhar todas as atividades necessárias para a sua realização. O escopo funciona como um guia estratégico, permitindo o planejamento, a organização e o controle das etapas envolvidas, desde a concepção inicial até a entrega final do protótipo.

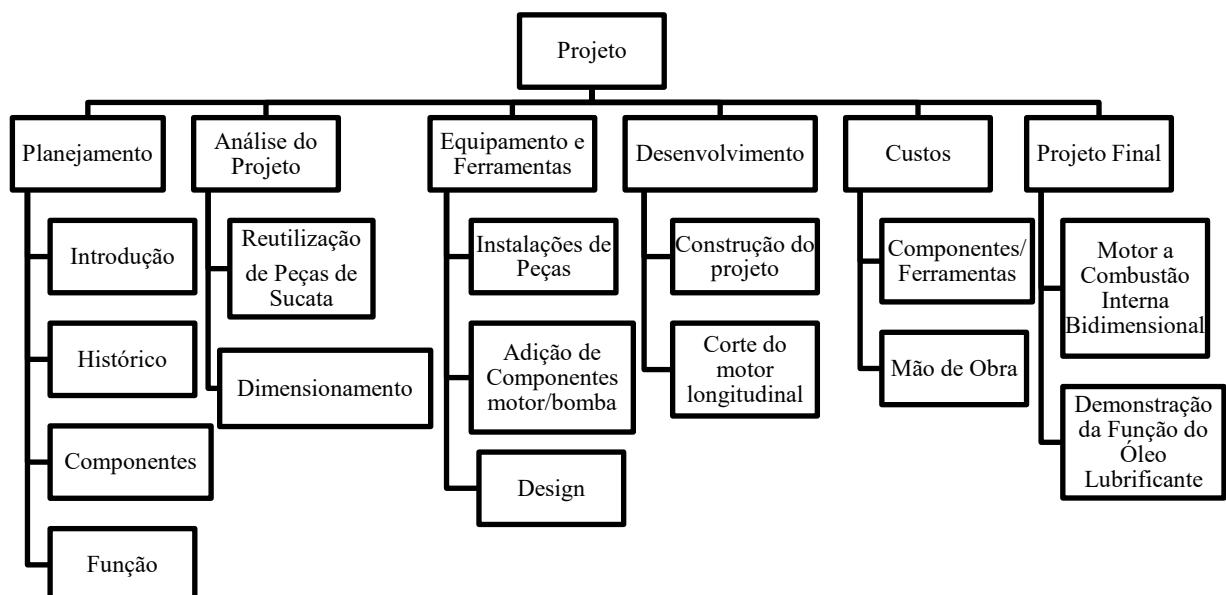
A elaboração do escopo baseou-se na obtenção de informações técnicas, na identificação de requisitos funcionais e na padronização das fases de desenvolvimento. Essa análise visa garantir que todas as ações estejam alinhadas com os objetivos do projeto,

evitando retrabalhos, desvios de propósito e desperdício de recursos.

Durante esse processo, foram definidos os limites do projeto, os recursos disponíveis, os prazos estimados e os critérios de qualidade a serem atendidos. A estruturação do escopo também contemplou a integração entre as áreas envolvidas — como mecânica, elétrica e automação —, promovendo uma abordagem multidisciplinar essencial para o desenvolvimento de um protótipo funcional e didático.

O escopo foi iniciado com a coleta de dados bibliográficos e técnicos, referentes ao trabalho, seguida pela seleção de materiais e componentes compatíveis com os objetivos do projeto. A conclusão do escopo se deu com a validação das etapas previstas e a confirmação de que todas as informações essenciais foram devidamente consideradas e incorporadas ao planejamento. A Tabela 03, apresentada a seguir, representa o gráfico de escopo utilizado como base para o desenvolvimento do projeto, evidenciando as metas estabelecidas e os recursos aplicados em cada fase.

Tabela 03: Escopo de definição de metas



Fonte: Autoria própria (2025)

Além da definição do escopo, uma ferramenta fundamental para o planejamento e a gestão eficiente de projetos é o cronograma. Segundo [30], sua principal função é organizar o tempo disponível, distribuindo as atividades de forma estratégica ao longo do período de execução, o que contribui para a mitigação de riscos relacionados ao acúmulo de tarefas e à perda de prazos.

O cronograma permite uma visualização macro do projeto, facilitando a identificação de fases críticas, a antecipação de possíveis obstáculos e o controle do progresso. Ao segmentar o projeto em etapas mensais ou semanais, promove a decomposição de tarefas complexas em ações gerenciáveis, o que favorece a produtividade, reduz o estresse operacional e melhora a tomada de decisão.

Além disso, o cronograma atua como um instrumento de integração entre as fases do projeto, contemplando desde a definição do tema, o acompanhamento técnico por parte do orientador, o levantamento bibliográfico, a elaboração metodológica, a coleta e análise de dados, até a redação e revisão final.

Para a compreensão do funcionamento do sistema mecânico de motores de combustão interna, foram realizados estudos aprofundados sobre seus componentes e princípios operacionais. As análises permitiram o dimensionamento adequado do mecanismo, considerando a função específica de cada elemento [19]. Os principais componentes abordados são:

- Cárter: responsável pelo armazenamento e resfriamento do óleo lubrificante utilizado no sistema;
- Virabrequim: converte o movimento linear dos pistões em movimento rotativo, transmitindo potência às rodas;
- Pistão: realiza movimento alternado vertical, gerando energia a partir da combustão da mistura ar-combustível;

- Biela: conecta o pistão ao virabrequim, transformando o movimento alternado em rotação;
- Bomba de óleo: promove a circulação do óleo lubrificante, transferindo-o do cárter para as galerias internas do motor;
- Polia do comando de válvulas: sincroniza a rotação do comando de válvulas com o virabrequim, garantindo o tempo correto de abertura e fechamento das válvulas;
- Cilindro: câmara onde ocorre a compressão da mistura e a expansão dos gases da combustão;
- Válvulas: regulam a entrada da mistura ar-combustível e a saída dos gases de escape;
- Filtro de óleo: retém impurezas presentes no óleo, como partículas metálicas e resíduos de combustão, assegurando a eficiência da lubrificação;
- Cabeçote: estrutura que sela a parte superior dos cilindros, formando a câmara de combustão;
- Bloco do motor: estrutura principal que abriga os cilindros e demais componentes, garantindo rigidez, alinhamento e dissipação térmica.

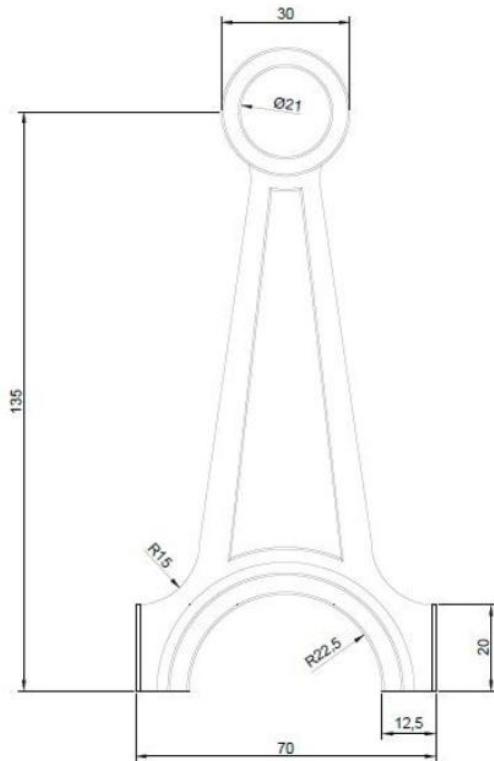
Durante o desenvolvimento do projeto, foram realizadas análises dimensionais dos componentes do motor, acompanhadas da elaboração de desenhos técnicos no AutoCAD, representando em escala real um motor de combustão interna de quatro tempos. Esses desenhos seguiram rigorosamente as normas técnicas vigentes, assegurando a conformidade com os critérios de representação gráfica e detalhamento industrial, fundamentais para atender aos requisitos funcionais e de fabricação.

Além disso, utilizou-se o software SolidWorks para otimizar o planejamento e mitigar falhas durante o corte longitudinal em fresa CNC, garantindo precisão nas dimensões de largura, altura e profundidade. A simulação

tridimensional permitiu compreender a relação entre o projeto virtual e a execução prática, favorecendo o desenvolvimento de habilidades em modelagem 3D e

interpretação técnica. Os desenhos técnicos gerados encontram-se disponíveis na seção de anexos ao final deste trabalho, conforme Figura 04.

Figura 04: Desenho técnico



Fonte: Autoria própria (2025)

As peças modeladas incluem o bloco do motor, eixo-árvore, biela e pistão, elementos fundamentais no funcionamento de motores de combustão interna. A representação gráfica desses componentes utiliza a linguagem universal da engenharia, permitindo a transposição de conceitos teóricos para aplicações práticas.

Os desenhos abrangem aspectos como precisão dimensional, qualidade de fabricação, base para manutenção, comunicação técnica eficiente e reproduzibilidade. Além disso, possuem relevância social e econômica, contribuindo para a educação, capacitação técnica e avanços tecnológicos. Os desenhos técnicos desenvolvidos encontram-se disponíveis na seção de anexos, ao final deste trabalho.

Com base nos dados apresentados, o desenvolvimento do protótipo iniciou-se com a aquisição de um motor a combustão interna, proveniente de um ferrovelho da marca Volkswagen, pertencente ao modelo Gol 1.0 de 8V, com configuração de quatro cilindros em linha. Este motor apresenta torque máximo de aproximadamente 15,6 kgfm e desempenho compatível com aceleração de 0 a 100 km/h em 10,2 segundos, atingindo velocidade máxima de 180 km/h, operando com gasolina como combustível [18].

Segundo [22], o uso de peças reutilizadas, como sucatas de motor, é uma prática que alia sustentabilidade, economia e aprendizado prático. Pedagogicamente, essa abordagem oferece aos estudantes a oportunidade de

compreender a estrutura e o funcionamento real de sistemas mecânicos, tornando o aprendizado mais aplicado e próximo da realidade industrial.

Além disso, a reutilização de sucatas reduz significativamente os custos na construção de protótipos, tornando projetos educacionais mais acessíveis tanto para instituições de ensino quanto para os alunos. Essa prática possibilita a aplicação de recursos financeiros de forma mais eficiente, permitindo a aquisição de outros materiais didáticos e o desenvolvimento de novas atividades experimentais. Dessa forma, a economia gerada amplia o alcance das atividades práticas, garantindo que um maior

número de pessoas tenha contato com experiências que fortalecem a formação técnica, estimulam o aprendizado prático e favorecem o desenvolvimento do raciocínio crítico.

Ademais, o reaproveitamento de materiais contribui para a redução de resíduos descartados no meio ambiente, promovendo uma educação voltada à sustentabilidade e à responsabilidade ambiental. A Figura 05, apresentada a seguir, ilustra o motor de combustão interna obtido em um estabelecimento de sucata (ferrovelho), utilizado como base para o desenvolvimento do projeto.

Figura 05: Motor a combustão interna



Fonte: Autoria própria (2025)

Após a aquisição do motor, iniciou-se o preparo para a desmontagem das peças com o objetivo de permitir a análise detalhada de seus componentes internos, possibilitando a identificação de desgastes, falhas e necessidades de manutenção ou reparo. Esse processo é

essencial para compreender o funcionamento do motor, avaliar sua condição e garantir que ele opere de forma eficiente e segura.

O processo de desmontagem do motor iniciou-se com a remoção da tampa de válvulas, utilizando uma chave

de 10 mm para retirar os parafusos, tomando cuidado para evitar empenamento da peça. Em seguida, procede-se à retirada do comando de válvulas, dos balancins roletados e dos tuchos, utilizando uma chave de 13 mm para soltar os parafusos de fixação.

Posteriormente, realiza-se a desmontagem do cabeçote, afrouxando os parafusos com uma chave de 14 mm, seguindo a sequência recomendada — do lado externo para o interno — para evitar deformações. Após essa etapa,

remove-se o cárter, que funciona como reservatório de óleo lubrificante, utilizando novamente uma chave de 10 mm.

Na sequência, desmonta-se o conjunto de bielas e pistões com uma chave de 14 mm, retirando as capas de biela e os pistões. Por fim, realiza-se a remoção do virabrequim, utilizando uma chave de 17 mm, até que reste apenas o bloco vazio, concluindo assim a desmontagem completa do motor. A Figura 06, ilustra o motor após a desmontagem completa dos componentes.

Figura 06: Motor desmontado



Fonte: Autoria própria (2025)

Após a desmontagem, foi realizada uma limpeza superficial em todas as peças, com o objetivo de remover impurezas e facilitar a execução das etapas seguintes do processo. Em seguida, o bloco do motor foi encaminhado ao centro de usinagem, onde se realizou o corte longitudinal por meio de uma fresa CNC, com dimensões de 32 cm de largura, 25 cm de altura e 3 cm de profundidade. O corte longitudinal em um motor automotivo constitui uma ferramenta de grande relevância técnica, pedagógica e científica, pois permite a análise

detalhada de seus componentes internos e contribui significativamente para a compreensão do seu funcionamento.

Segundo [24], em um motor completo e montado, muitos de seus componentes permanecem ocultos, o que dificulta a compreensão prática do seu funcionamento. Nesse contexto, o corte longitudinal possibilita uma visualização clara e detalhada do funcionamento interno do motor, tornando-se uma ferramenta fundamental para o processo de ensino e treinamento de profissionais. Além

disso, esse tipo de representação auxilia no desenvolvimento de novas tecnologias, favorece a análise de projetos e contribui de maneira significativa para o avanço contínuo da engenharia automotiva. Ao se realizar o corte longitudinal, torna-se possível observar de forma clara e detalhada diversos componentes internos do motor, como pistões, válvulas, bielas, virabrequim, câmaras de combustão, bem como o trajeto percorrido pelos gases de admissão e de escape. Essa visualização direta facilita a

compreensão do funcionamento do motor, auxiliando o aluno a relacionar a teoria aprendida em sala de aula com a operação real das máquinas. Dessa maneira, o processo de ensino-aprendizagem torna-se mais eficiente, proporcionando uma experiência prática mais concreta, intuitiva e significativa. As Figuras 07, apresentadas a seguir, ilustram o bloco do motor durante e após a realização do corte longitudinal em fresa CNC, evidenciando os principais elementos internos do sistema.

Figura 07: Bloco durante e após o corte longitudinal



Fonte: Autoria própria (2025)

Após as modificações realizadas no bloco, prosseguiu-se com o planejamento para a montagem e desenvolvimento do protótipo. Inicialmente, foi feita uma limpeza detalhada de todos os componentes e pintura das peças (bloco, virabrequim, cabeçote, cárter e suporte), seguida da aplicação de lubrificação nas áreas de atrito para garantir o funcionamento adequado. Em seguida, instalou-se o virabrequim no bloco, fixando-o com os parafusos de travamento e apertando-os com uma chave de 17 mm.

Posteriormente, realizou-se a montagem dos pistões e bielas, conectando os pistões às bielas por meio de pinos e travas, e instalando o conjunto no virabrequim

com auxílio de uma chave de 14 mm. Na sequência, posicionou-se o cabeçote sobre o bloco e apertaram-se os parafusos de fixação com uma chave de 14 mm. Logo após, foram encaixadas as válvulas e molas no cabeçote, utilizando uma marreta de 1 kg para auxiliar no ajuste. Em seguida, instalou-se o comando de válvulas, fixando-o no cabeçote e apertando os parafusos com uma chave de 13 mm.

Em seguida, montou-se a tampa de válvulas, apertando os parafusos com uma chave de 10 mm, e instalou-se o cárter, responsável pelo armazenamento do óleo do motor, também com uma chave de 10 mm. Por fim,

foi colocada a correia dentada, que garante a sincronização entre virabrequim, pistões e comando de válvulas.

Para dar suporte ao motor, foi confeccionada uma estrutura com tubos metalon reaproveitados, medindo 1,5 m de altura e 45 cm de largura, garantindo estabilidade durante os testes. Foram adicionadas duas alças de transporte, com 10 cm de comprimento e 8 cm de largura, para facilitar o deslocamento do conjunto.

O sistema de translação do motor foi desenvolvido utilizando um motor elétrico de corrente contínua (DC) de 21 V, proveniente de uma parafusadeira a bateria. Esse componente foi adaptado e fixado à polia do motor por meio de dois parafusos, garantindo a transmissão do movimento rotativo de forma segura e eficiente. Essa solução permite a rotação controlada do conjunto, assegurando funcionalidade adequada para os testes e simulações do projeto.

A montagem da bomba de óleo iniciou-se com a fixação da bomba alimentadora (Yanmar TNV 2TNV70ASA) no cárter, utilizando dois parafusos travantes. Em seguida, foram cortadas mangueiras de 30 cm para o percurso inicial do óleo, adicionando emendas de 10 cm e novos cortes de 25 cm para direcionar o lubrificante até o comando de válvulas, completando o circuito de lubrificação nas galerias do motor. A alimentação elétrica da bomba foi feita com fios e bateria de lítio, isolados com fita apropriada para garantir segurança.

A Figura 08, apresentada a seguir, ilustra o protótipo montado em sua configuração final, destacando os principais componentes e o corte longitudinal do bloco do motor, evidenciando a integração das partes móveis com o sistema de lubrificação, incluindo pistões, biela, comando de válvulas e bomba alimentadora.

Figura 08: Protótipo



Fonte: Autoria própria (2025)

Durante a execução do projeto, foram identificadas diversas falhas inesperadas, desde as etapas iniciais até a fase final do processo, impactando diretamente o cronograma e exigindo ajustes para garantir a conformidade técnica e a qualidade do projeto. Entre os principais desafios enfrentados, destacaram-se inconsistências no alinhamento de componentes, variações nas especificações projetadas e dificuldades na implementação dos sistemas auxiliares. Cada ocorrência demandou análises detalhadas e ações corretivas imediatas, reforçando a importância do controle rigoroso e da comunicação eficiente entre os envolvidos.

Inicialmente, houve a necessidade de realizar um corte longitudinal no bloco para permitir a visualização dos componentes internos. O processo apresentou dificuldades devido à dureza do material, ocasionando a quebra do suporte de corte. A solução adotada foi a utilização de carbeto de tungstênio, assegurando precisão e preservação da estrutura.

Na etapa seguinte, durante a colocação do virabrequim, verificou-se um ajuste inadequado na base de sustentação das bielas e pistões. Para corrigir, realizou-se lixamento e lubrificação da área de suporte, garantindo o assentamento correto do componente. Em paralelo, os pistões apresentaram bloqueio de movimento, sendo necessário o lixamento das peças para eliminar atritos e permitir livre deslocamento.

Outro problema ocorreu com a quebra de um pistão durante a operação, solucionado com a substituição por um novo componente, restabelecendo o equilíbrio e desempenho do conjunto. Também foi necessário substituir molas travadas do comando de válvulas, assegurando o funcionamento adequado do sistema.

Posteriormente, durante a montagem do cárter, foram identificadas trincas na parte inferior, causando vazamento de óleo e comprometendo a integridade do sistema de lubrificação. Para solucionar o problema, realizou-se a soldagem da área danificada, garantindo vedação e resistência estrutural.

No sistema de transmissão, identificou-se desalinhamento das polias, comprometendo a rotação do virabrequim e do comando de válvulas. A correção foi feita com ajustes precisos para garantir sincronismo. Além disso, o motor elétrico DC apresentou falhas na conversão de energia mecânica, sendo substituído por outro modelo de 21 V em perfeito funcionamento.

Por fim, a bomba responsável pelo transporte do óleo lubrificante para as galerias mostrou baixa eficiência, exigindo a troca por uma bomba alimentadora mais potente, garantindo a correta lubrificação do sistema. Essas ações corretivas foram fundamentais para assegurar a integridade estrutural e o desempenho do projeto.

Durante o desenvolvimento do protótipo, foi essencial adotar medidas preventivas para garantir a segurança dos envolvidos, assegurando a integridade física e evitando acidentes que poderiam causar lesões graves ou permanentes. Em ambientes de fabricação, manutenção ou montagem, onde são utilizadas ferramentas manuais, elétricas ou pneumáticas, o uso correto dos Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) — como luvas, óculos, máscaras e botinas — é indispensável para reduzir riscos e permitir que as atividades sejam realizadas de forma eficiente e segura.

Além disso, a atenção constante, a organização do espaço de trabalho e a postura responsável contribuem significativamente para a prevenção de incidentes. Trabalhar com segurança não é apenas uma exigência normativa, mas um compromisso coletivo que protege todos os envolvidos no processo. Como resultado, obtém-se um ambiente mais produtivo, confiável e saudável, onde as tarefas podem ser executadas com qualidade e tranquilidade.

A Tabela 04, apresentada a seguir, descreve as principais atividades relacionadas ao uso de equipamentos, bem como os riscos e as medidas de prevenção adotadas durante a construção do protótipo.

Tabela 04: Riscos e soluções do protótipo

Equipamentos	Atividade	Risco	Solução
Lixadeira	Lixamento das peças e corte	Projeção de fagulhas e quebra do disco	Utilizar os EPIs como (óculos, luvas e vestuário de proteção) e saber utilizar o equipamento
Furadeira	Furação e instalação do protótipo	Lesões por cortes e perfurações	Utilizar luvas e óculos de proteção
Máquina de solda	Soldagem do suporte do protótipo	Risco de choque elétrico e queimaduras	Utilizar luvas e máscara de solda
Peças do motor	Manuseio na montagem e desmontagem	Cortes e esmagamentos	Utilizar luvas e botinas de segurança
Ferramentas	Montagem e desmontagem do protótipo	Cortes e fraturas	Utilizar luvas e óculos de proteção
Tinta spray	Pintura das partes do protótipo	Irritação respiratória tontura e náusea	Utilizar máscara respiratória e óculos
Graxa	Lubrificação das peças	Irritação na pele	Utilizar luvas e vestuário de proteção
Motor	Montagem do protótipo	Prensamento de mãos e dedos	Utilizar luvas proteção

Fonte: Autoria própria (2025)

Ao decorrer do desenvolvimento do protótipo, ocasionou diversos investimentos financeiros que vão além da simples aquisição de materiais. Desde o início do projeto, foi necessário realizar um planejamento detalhado dos custos, considerando elementos como compra de peças, equipamentos auxiliares e insumos necessários para o funcionamento. No caso de protótipo foi incluído itens como metais, componentes reaproveitados, elementos de fixação, lubrificantes, dentre outros.

Além dos gastos com materiais, a construção do protótipo didático, envolveu custos indiretos que muitas vezes não são imediatamente percebidos, mas que impactam o orçamento final do projeto. Entre eles,

destacam-se o tempo dedicado ao desenvolvimento, horas de mão para a montagem, despesas com energia elétrica como solda e lixadeira.

Esses fatores somados evidenciam que o investimento financeiro abrange todo o processo de concepção, testes, ajustes e validação. Assim, o custo total da construção reflete não apenas o valor aplicado, mas também o comprometimento e os recursos necessários para transformar uma ideia em um recurso educacional funcional e de qualidade. A Tabela 05, apresentada a seguir, ilustra os investimento realizado na construção do protótipo.

Tabela 05: Investimento no desenvolvimento do protótipo

Equipamento	Aplicações	Total
Motor	Base do projeto	R\$ 1.400,00
motor elétrico DC de 3V	Conversão de energia mecânica em trabalho	R\$ 87,88
Mangueira Fina 8mm	Trajetória do Óleo lubrificante	R\$ 39,99
Bomba alimentadora DC 2,5V	Transporte do óleo lubrificante pelas galerias	R\$ 243,85
Corte longitudinal feito em fresa CNC	Corte longitudinal do bloco	R\$ 450,00
motor elétrico DC de 21V	Conversão de energia mecânica em trabalho	R\$ 300,00
Bomba alimentadora 12V	Transporte do óleo lubrificante pelas galerias	R\$ 249,50
Tinta Spray	Melhora visual do motor	R\$ 60,00
Molas do comando de válvulas	Controle de abertura e fechamento das válvulas de admissão e escape nos cilindros do motor	R\$ 89,52
Vergalhão e chapa	Base de sustentação do motor	R\$ 180,00
Graxa	Lubrificação das peças em contato	R\$ 66,10
		R\$ 3.166,84

Fonte: Autoria própria (2025)

A Tabela apresentada, detalha os investimentos realizados para viabilizar a construção do protótipo, evidenciando os principais itens que compuseram os custos do projeto. Nela, estão discriminados os valores destinados à aquisição de peças reaproveitadas, compra de componentes complementares, materiais de fixação, insumos para vedação, além de ferramentas utilizadas durante a montagem.

Esse levantamento é fundamental para compreender a dimensão financeira do projeto, demonstrando que, mesmo com a adoção de práticas sustentáveis como o reaproveitamento de peças provenientes de sucata houve necessidade de investimentos adicionais para garantir a funcionalidade e a segurança do protótipo.

A análise dos dados evidencia que o controle dos custos foi um fator estratégico, possibilitando a conclusão do protótipo dentro das limitações orçamentárias. Além disso, reforça a importância do planejamento financeiro em projetos acadêmicos e experimentais, garantindo que os recursos sejam aplicados de forma eficiente e contribuam para a qualidade do resultado final.

Os materiais empregados na construção do protótipo abrangeram diferentes categorias de componentes, como peças metálicas, mangueiras, adesivos industriais e outros insumos necessários à montagem. A maior parte desses elementos foi obtida em depósitos de sucata, uma prática estratégica que reduziu significativamente os custos e reforçou o compromisso com a sustentabilidade do projeto, sem comprometer a qualidade técnica.

Para garantir a fidelidade ao modelo proposto, todas as peças selecionadas obedeceram rigorosamente às dimensões e parâmetros de um motor real, assegurando compatibilidade e funcionalidade. Cada material foi escolhido com base em critérios específicos, como resistência mecânica, capacidade de vedação e eficiência no transporte de fluidos, desempenhando funções essenciais no processo de montagem.

Essa abordagem não apenas promoveu a reutilização de recursos, mas também possibilitou a

aplicação prática de conceitos de engenharia, integrando economia, sustentabilidade e desempenho técnico. Além disso, contribuiu para a redução do impacto ambiental, ao reaproveitar componentes que seriam descartados. A Tabela 06, apresentada a seguir, detalha os materiais utilizados, no desenvolvimento do protótipo, evidenciando a importância de cada item para a integridade estrutural e operacional do conjunto.

Tabela 06: Materiais utilizados no desenvolvimento do Protótipo

Material	Especificação Técnica	Função no Protótipo	Observações
Metal	Sucata metálica reaproveitada	Estrutura do bloco do motor e componentes internos	Adquirido em depósito de sucatas
Madeira	Placas de madeira compensada	Base estrutural e suporte externo	Facilidade de corte e montagem
Mangueira	Mangueira transparente de PVC	Simulação do trajeto do óleo lubrificante	Permite visualização do fluxo
Cola/Fita crepe	Cola epóxi de alta resistência	Fixação de componentes	Utilizada para unir partes metálicas e de madeira
motor DC	Motor 550VC DC 21V 19500 RPM	Simulação do movimento dos pistões e árvore de comando	Conversão de energia elétrica em movimento mecânico
Bomba Alimentadora	Yanmar TNV 2TNV70ASA	Circulação do óleo pelas galerias	Permite visualização do trajeto do óleo
Tinta Spray	Tinta de pintura rápida	Pintura dos componentes	Melhora na estética do projeto
Lixadeira, Máquina de solda, cegueta, marreta chaves combinadas	Ferramentas	Acabamento e lixamento e montagem	Lixamento e montagem

Fonte: Autoria própria (2025)

A tabela A tabela apresentada descreve os principais materiais empregados na construção do protótipo, evidenciando sua função e importância para garantir a integridade estrutural e o funcionamento adequado do sistema. Entre os itens listados, destacam-se peças metálicas, essenciais para conferir resistência e estabilidade ao conjunto; mangueiras, responsáveis pelo transporte seguro de fluidos; e adesivos industriais,

utilizados para assegurar vedação e fixação eficiente das partes.

Cada material foi selecionado com base em critérios técnicos, como durabilidade, compatibilidade dimensional e capacidade de suportar as condições simuladas de operação, permitindo compreender que a escolha adequada dos materiais não apenas viabilizou a construção do protótipo, mas também garantiu sua

funcionalidade como ferramenta didática. Essa seleção criteriosa contribuiu para demonstrar, de forma prática, os princípios de funcionamento do motor e do sistema de lubrificação, reforçando a importância da qualidade e da adequação dos insumos na engenharia.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante o funcionamento do motor, o óleo lubrificante percorre um circuito fechado, realizando um ciclo composto por quatro etapas principais: inicia-se no cárter, é impulsionado pela bomba de óleo, passa pelo canal de transporte e em seguida, é distribuído para os diversos componentes internos do motor, assegurando a lubrificação adequada das partes móveis.

O projeto atingiu seu objetivo principal ao desenvolver um protótipo funcional utilizando peças de sucata, comprovando a viabilidade de práticas sustentáveis na área mecânica. Entre os processos executados, destacam-se etapas complexas, como o corte longitudinal no bloco do motor, que permitiu a visualização dos componentes internos; a adaptação de um motor elétrico DC, responsável pela movimentação dos pistões, biela e comando de válvulas, facilitando a compreensão prática do sistema de combustão; e a implementação de uma bomba alimentadora no cárter, encarregada de distribuir o óleo lubrificante pelas galerias, evidenciando a importância do sistema de lubrificação em motores de combustão interna.

As limitações do estudo relacionam-se às condições em que o protótipo foi desenvolvido, pois foram utilizadas peças de sucata e componentes desgastados pelo uso. Muitas peças não apresentavam as mesmas características dimensionais e funcionais de um motor novo, o que pode ter influenciado na precisão da análise do sistema de lubrificação. Folgas excessivas, desgaste e deformações alteraram o comportamento real do óleo dentro do motor.

Outra limitação é a própria natureza do protótipo com corte longitudinal, que, embora permita a visualização interna, impede o funcionamento completo sob condições reais de carga, temperatura e rotação. Assim, não foi

possível reproduzir integralmente o fluxo de óleo como ocorre em um motor operacional, restringindo a análise a aspectos estáticos e parcialmente funcionais. Além disso, a ausência de instrumentação avançada, como sensores de pressão e temperatura, limitou a obtenção de dados quantitativos.

Por fim, a limitação financeira impactou o cronograma, pois a maioria das peças foi adquirida em ferro-velho, e os gastos ultrapassaram o previsto, ocasionando atrasos e falhas inesperadas. Apesar dessas restrições, o protótipo cumpriu seu objetivo ao proporcionar uma visualização clara e didática dos componentes internos e seu funcionamento integrado, reforçando a importância da lubrificação para a eficiência e durabilidade dos motores a combustão interna.

Os resultados obtidos evidenciam que é possível construir um modelo funcional e educativo a partir de materiais reciclados, desde que sejam aplicadas técnicas adequadas de recuperação e ajustes. Essa experiência evidencia a viabilidade de projetos sustentáveis na área mecânica e abre espaço para futuras melhorias, como a implementação de sensores para monitoramento em tempo real e a integração com recursos multimídia para fins acadêmicos.

CONCLUSÃO

Este trabalho abordou a importância da lubrificação para o funcionamento eficiente e durável de motores a combustão interna. A construção de um protótipo funcional com peças reaproveitadas permitiu a visualização do circuito de lubrificação e a demonstração prática dos princípios de lubrificação: o óleo percorreu o cárter, a bomba, galerias, mancais e cabeçote, validando a viabilidade de práticas sustentáveis e didáticas. Os resultados confirmam que é possível construir modelos educativos que evidenciem a redução de atrito, dissipação de calor e preservação das partes móveis, cumprindo o objetivo proposto.

Embora o protótipo tenha cumprido seu propósito de ensino e verificação básica, uma análise crítica revela

limitações: a utilização de componentes de sucata com folgas e desgastes não replicou as condições reais de um motor em carga e temperatura adequadas; a ausência de instrumentação quantitativa (sensores de pressão, temperatura, consumo de óleo) impediu a obtenção de dados numéricos robustos; e o corte longitudinal impede a operação sob regimes reais de funcionamento. Esses fatores condicionaram a validade das conclusões ao âmbito qualitativo e estático.

Como direcionamento para trabalhos futuros recomenda-se o aprimoramento do protótipo com componentes novos ou dimensionados de acordo com especificações de projeto, a inclusão de instrumentação para aquisição de dados em tempo real (pressão de óleo, temperatura em pontos críticos, taxa de consumo) e a análise comparativa dos diferentes regimes de lubrificação (hidrodinâmico, misto, limite) em função de carga e rotação. Outras linhas de pesquisa podem incluir o estudo do efeito de diferentes viscosidades e aditivos, modelagem numérica do fluxo de óleo por CFD e a integração do modelo a sistemas de controle e aquisição de dados educacionais.

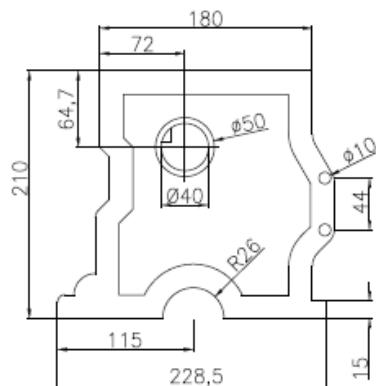
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abreu, R. A. (2023). *Lubrificantes e Lubrificação*. Lubrificantes e Lubrificação .
2. Anderson, K. J. (29 de Novembro de 1991). Uma História dos Lubrificantes.
3. Andrade, A. S., & Paz, A. M. (04 de Julho de 2017). Motores a Combustão Têm Futuro. p. 13.
4. Aravind, A., & Moolayil, J. T. (2022). *Potencial Lubrificante Biodegradável de RSO*. Edições Nossa Conhecimento.
5. Arias-paz, M. (1970). *Manual de Automóveis*. Mestre Jou.
6. Barger, E. L. (1963). *tratores e seus motores*. Edgard Blucher.
7. Belmiro, P. N., & Carretero, R. P. (2006). *LUBRIFICANTES E LUBRIFICAÇÃO INDUSTRIAL*. Interciênciia.
8. Brunetti, F. (2012). *Motores de combustão interna - Vol. 2*. Editora Blucher.
9. Brunetti, F. (2018). *Motores de Combustão Interna - Vol. 1*. Blucher.
10. Capelli, A. (2010). *Eletroeletrônica automotiva: Injeção eletrônica, arquitetura do motor e sistemas embarcados*. Editora Érica .
11. Garcia, O., & Brunetti, F. (1992). *Motores de Combustão Interna*. Motores de Combustão Interna .
12. Gentleman, A., & Kalghatgi, G. (2020). *ADVANCEMENTS IN FUEL ECONOMY AND EMISSIONS CONTROL*. LONDON: IMECHE.
13. GmbH, M., & Danisch, R. (2013). *Valve Train: Systems and Components* . Vieweg+teubner Verlag.
14. Industry, g. d. (2025). Google. Fonte: guide.directindustry:
<https://guide.directindustry.com/pt/como-escolher-um-motor-de-combustao-interna/>
15. Jorge, P. (12 de outubro de 2013). *Lubrificação por cárter seco*. Fonte: Autoblog.pt.
16. LAGO, S. M. (2017). A IMPORTÂNCIA DA LUBRIFICAÇÃO PARA MOTORES DE. 57. Fonte:
<https://repositorio.pgscognna.com.br/bitstream/123456789/19656/1/SAMUEL%20MORAES%20DO%20LAGO.pdf>
17. Mara, M. (2018). *Diagnósticos e regulagens de motores de combustão interna*. SENAI-SP Editora.
18. Martins, J. (2013). *Motores de Combustão Interna*. Publindústria Edições Técnicas.
19. Nascimento, B. D. (2014). *ÓLEOS E LUBRIFICANTES*. Branco De Nascimento.
20. Oliveira, A. d. (18 de Janeiro de 2011). Análise das Principais Estratégias para Redução da Emissão de Poluentes Atmosféricos por Veículos Automotores. p. 204.
21. Pereira, M. J. (2009). *Engenharia de Manutenção. Teoria e Prática*. Ciência Moderna.
22. Procopio, S. J. (2010). *10 PASSOS PARA SE ELABORAR UM PROJETO DE PESQUISA*. Jose Procopio.
23. Pulkrabek, W. (2003). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine 2nd Edition*. Pearson.
24. Pulkrabek, W. W. (2014). *Fundamentos de Engenharia de Motores de Combustão Interna*. Pearson.
25. Renault. (2025). Google. Fonte: Sistema de Lubrificação - R19Club:
<https://r19club.com/motor/sistema-de-lubrificacao/>
26. Santos, A. P., Dweck, J., & d'Avila, L. A. (Agosto de 2018). Quantificação de aditivos detergentes e dispersantes em gasolina por termogravimetria. p. 11.
27. Senai. (2016). *Motor de Combustão Interna: Ciclo Diesel*. São Paulo: SENAI-SP Editora 1ª edição.
28. Silva, J. M. (2005). *Caracterização Físico-Química de Óleos Lubrificantes*. Biblioteca Digital de Tese e Dissertação da UFF.
29. Stone, R. (2012). *Introdução aos Motores de Combustão Interna*. MOLAS.

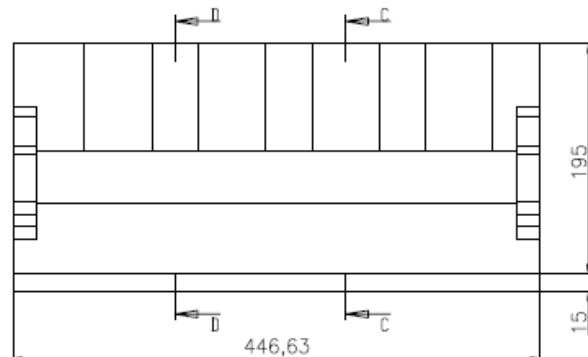
30. Tillmann, C. A. (2013). *Motores de Combustão Interna e seus Sistemas*. Pelolas.
 31. Volkswagen. (2025). *Google*. Fonte: Manual do proprietario do Volkswagen Gol: <https://www.opinautos.com.br/volkswagen/gol/info/manuais/2020>

ANEXO

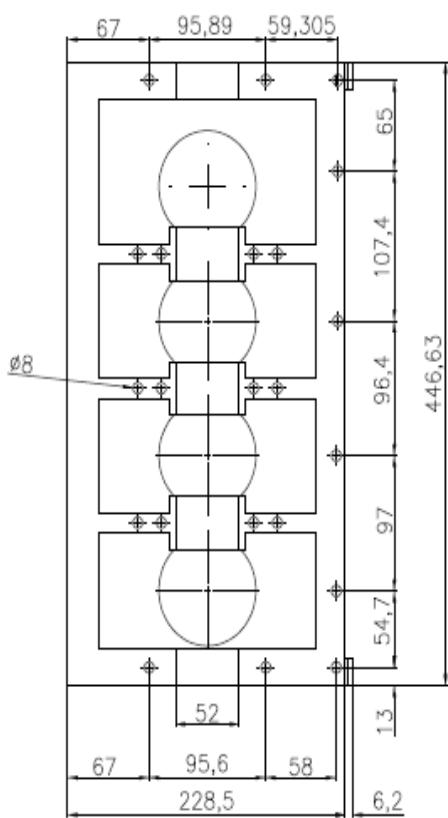
ANEXO A – Desenho Técnico AutoCAD, Bloco do Motor;



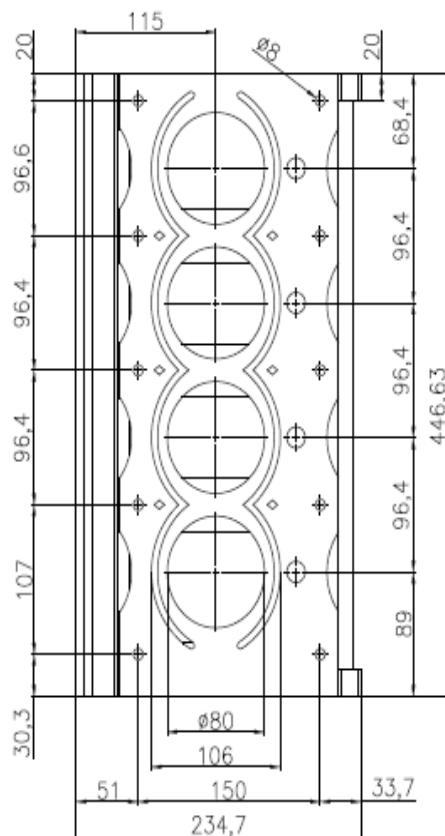
VISTA FRONTAL



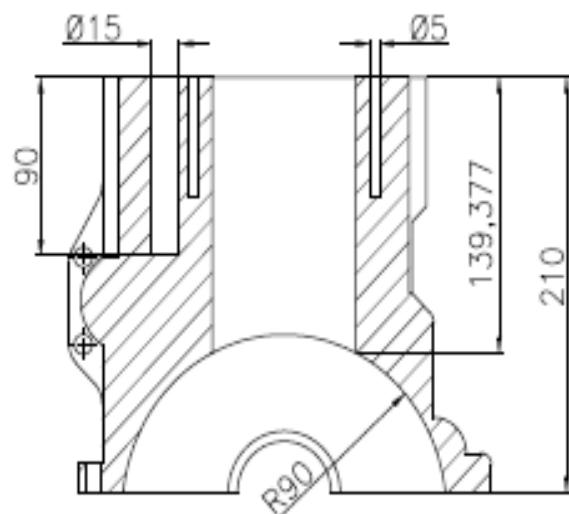
VISTA LATERAL



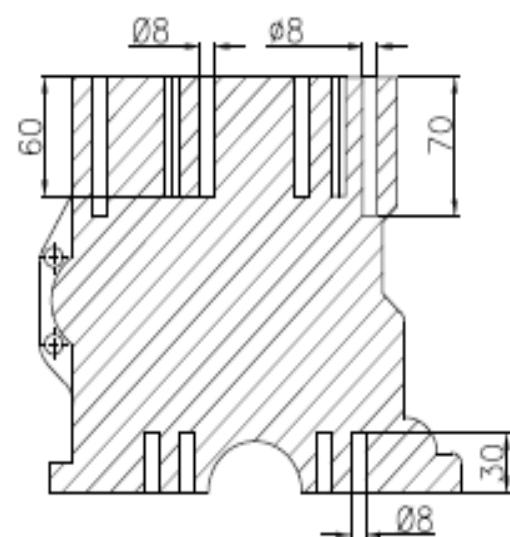
VISTA INFERIOR



VISTA SUPERIOR

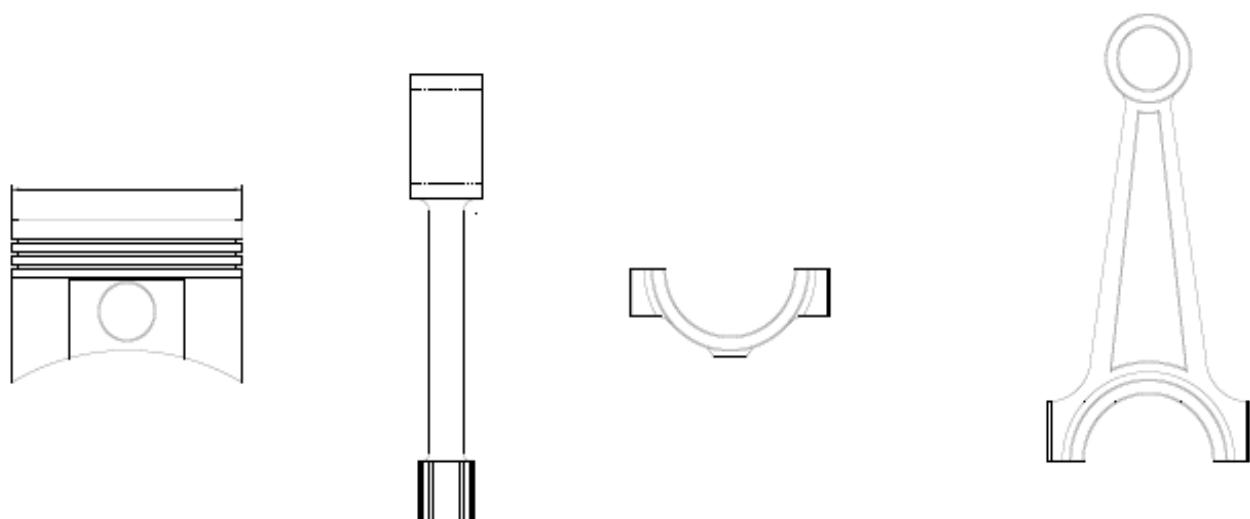


SEÇÃO C-C
ESCALA 1 : 3

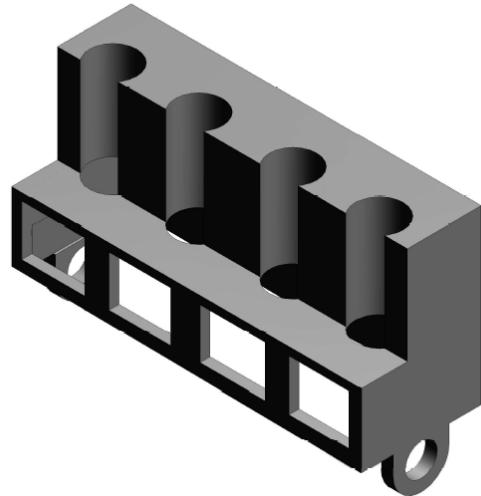


SEÇÃO D-D
ESCALA 1 : 3

ANEXO B – Desenho técnico AutoCAD, Conjunto de Biela e Pistão;



ANEXO C – Desenho técnico SolidWorks, Bloco com corte Logitudinal;



ANEXO C – Desenho técnico SolidWorks, Virabrequim

