

UNIVERSIDADE SÃO JUDAS TADEU

**NELSON CAETANO MARINHO BITTENCOURT
LEONARDO DELLA TORRE MENEGATTI**

**ESTUDO TÉRMICO DO CARTER DE ÓLEO DO MOTOR
REVOLUTION HARLEY DAVIDSON**

Engenharia Mecânica

Orientador: Igor Martins

**São Paulo
2023**

SUMÁRIO

RESUMO.....	3
ABSTRACT	4
AGRADECIMENTOS	6
1. INTRODUÇÃO.....	7
1.1 OBJETIVOS GERAIS	10
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 MOTOS	10
2.2 HISTÓRICO DA FABRICANTE HARLEY-DAVIDSON	11
2.3 HARLEY DAVIDSON V-ROD	14
2.4 FUNCIONAMENTO DE MOTORES CICLO OTTO	15
2.5 TIPOS DE MOTORES.....	20
2.5.1 MOTORES 2 TEMPOS	20
2.5.2 MOTORES 4 TEMPOS	22
2.6 MATERIAIS METÁLICOS.....	25
2.7 ALETAS.....	27
2.8 TERMODINÂMICA	29
2.9 ARDUÍNO	30
3 METODOLOGIA	32
3.1 MONTAGEM DO COLETOR DE DADOS	33
3.3 INSTALAÇÃO DO COLETOR DE DADOS	37
3.4 COLETA DE DADOS	38
3.5 SIMULAÇÕES NO SOLID EDGE.....	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
5. CONCLUSÕES	48
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
7. APÊNDICE	53

RESUMO

A Motocicleta é um dos meios de transporte mais populares entre os brasileiros, estima-se que representam cerca de 27% do total de veículos em circulação no país. Para manter essa frota funcionando, a manutenção de seus componentes mecânicos é indispensável. Este estudo discorre sobre o sistema de arrefecimento de motores de motocicleta, com foco no motor revolution da Harley-Davidson V-rod modelo 2007 e propõe alterações no material do cárter de óleo do motor e também a adição de aletas para aumentar a taxa de dissipação de calor no mesmo.

Para coletar dados no cárter original utilizamos o microcomputador arduíno. Com os dados coletados, foi possível simular as alterações propostas utilizando o sistema CAD SolidEdge 2022 e comparar as simulações com os dados reais. A estimativa de aumento na taxa de dissipação de calor após alterar o material de fabricação do cárter para Alumínio 7075 foi de 5%. Ao adicionar as aletas no formato proposto, a transferência de calor por condução aumentou 101% (em combinação com a alteração do material). Isso significa que teremos uma melhor transferência do calor do óleo para o cárter, e por consequência aumentando a vida útil do motor, pois a viscosidade do óleo e consequentemente a sua eficácia em evitar o desgaste prematuro das peças móveis está diretamente ligado à sua temperatura.

Palavras-chave: Estudo Térmico; Cáter de Óleo; Motor Revolution; Harley-Davidson.

ABSTRACT

The Motorcycle is one of the most popular means of transportation among Brazilians, estimated to represent approximately 27% of the total vehicles in circulation in the country. To keep this fleet running, the maintenance of its mechanical components is indispensable. This study discusses the motorcycle engine cooling system, focusing on the Revolution engine of the 2007 Harley-Davidson V-Rod model, and proposes changes to the motor oil pan material, as well as the addition of fins to increase the heat dissipation rate.

To collect data on the original oil pan, we used the Arduino microcomputer. With the collected data, it was possible to simulate the proposed changes using the SolidEdge 2022 CAD system and compare the simulations with real data. The estimated increase in heat dissipation rate after changing the oil pan material to Aluminum 7075 was 5%. By adding fins in the proposed shape, the heat transfer by conduction increased by 101% (in combination with the material change). This means that we will have better heat transfer from the oil to the pan, consequently increasing the engine's lifespan, as the oil viscosity and its effectiveness in preventing premature wear of moving parts are directly linked to its temperature.

Keywords: Thermal Study; Oil Pan; Revolution Engine; Harley-Davidson.

AVALIAÇÃO DO ARTIGO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Data:	08/12/2023
Horário:	18:00
Sala:	404B

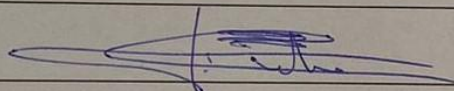
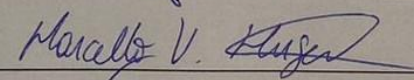
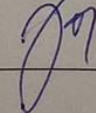
Título: ESTUDO TÉRMICO DO CÁRTER DE ÓLEO DO MOTOR REVOLUTION HARLEY DAVIDSON

Alunos:	Leonardo Della Torre Menegatti	81611666
	Nelson Caetano Marinho Bittencourt	81728012

Observações sobre o trabalho:

Este trabalho foi aprovado, porém existem pendências no texto do trabalho, que tem que ser corrigido!

Banca Examinadora:

Nome do professor	Assinatura
Prof. Dr. Paulo Emanuel	
Prof. Dr. Marcelo Vertamatti Mergulhão	
Prof. Me. Igor Colado Martins	

RESULTADO: Aprovado (somente Aprovado ou Reprovado).

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer em primeiro lugar, a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos.

A minha mãe, Meire Marinho Gomes, que mesmo após partir desta vida, vive em meu coração e em minhas lembranças, e foi a principal razão por eu ter sido capaz de ter seguido neste caminho até o fim.

Ao meu pai, Wanderson Ceschi Bittencourt, que me ensinou durante toda vida os principais valores que um homem deve carregar consigo, caráter, honra, determinação.

A minha esposa, Stefany Bittencourt, por todo o suporte e carinho durante estes anos desafiadores, e por estar sempre ao meu lado.

Nelson Bittencourt

Expresso minha sincera gratidão aos meus amigos e à minha família pelo apoio e pelo amor constante. Sem a colaboração de vocês, este TCC não seria possível.

Leonardo Menegatti

ESTUDO TÉRMICO DO CÁRTER DE ÓLEO DO MOTOR REVOLUTION – HARLEY DAVIDSON

1. INTRODUÇÃO

A Motocicleta é um dos meios de transporte mais populares entre os brasileiros, de acordo com dados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), em 2020 a frota de motocicletas no país chegou a quase 28 milhões de unidades, o que representa cerca de 27% do total de veículos em circulação.

Uma motocicleta de baixo custo como por exemplo, a Honda CG 160 titan, pode chegar a um desempenho de 40km/l(ESTADÃO, 2023), e ao compararmos com um carro de baixo custo como, por exemplo, o Renaut Kwid, que chega a 15,3km/l (PEDROSO, 2023), percebe-se que a economia de combustível pode ser um fator decisivo para o público brasileiro na hora de escolher um veículo.(ESTADÃO, 2023).

Existem vários tipos de motocicleta com modelos icônicos e características especiais. Se tratando de motos do tipo custom, uma das fabricantes mais famosas e aclamadas pelo público é a Harley-Davidson. (ALBERT SALADINI; SZYMEZAK, 2012).

A Harley-Davidson é uma fabricante emblemática de motocicletas fundada em 1903 em Milwaukee, Wisconsin, nos Estados Unidos. A empresa tem uma longa história no mundo das motocicletas, tendo produzido motocicletas usadas na Primeira Guerra Mundial e na Segunda Guerra Mundial. Atualmente, a Harley-Davidson é uma das marcas de motocicletas mais reconhecidas do mundo e tem uma grande presença no Brasil. Se destaca pela qualidade e sofisticação de seus modelos. Com o passar dos anos, a Harley-Davidson se tornou uma referência no mercado de motocicletas, sendo considerada uma marca de prestígio e reconhecida mundialmente. (SIEGAL, 2014).

As motos fabricadas pela Harley-Davidson podem ser divididas em “famílias”, sendo elas:

Touring: também conhecidas como “dressers”, inclui as Road King e as Electra Glide oferecidas em várias configurações. As “Road King” tem um visual “retro cruiser” e são equipadas com um grande para-brisa simples. As Road Kings são remanescentes das grandes bi cilíndricas de 1940 e 1950. As Electra Glides podem ser identificadas por seus grandes para-brisas que se prolongam até o guidão.(WILSON, 2021).

Os modelos Touring são distinguidos por seus grandes alforjes laterais e suspensão traseira a ar. Todos os modelos Touring usam o mesmo quadro, primeiro utilizado com um motor Shovelhead em 1980, e mantido apenas com pequenas modificações até 2009, quando ele foi largamente modificado. Em 2006 a Harley introduziu uma transmissão de 6 marchas para melhor desempenho em autoestradas.(WILSON, 2021).

Softail: estas grandes motocicletas bicilíndricas concentram fortemente todo o valor e tradição Harley-Davidson. Com a suspensão traseira escondida debaixo da transmissão, elas são visualmente similares às choppers “hardtail”, populares nas décadas de 1960 e 1970. Para manter esta tradição, a Harley oferece modelos Softail com garfos tipo “Springer” e estilo “Heritage” que incorpora design típico dos modelos do começo de sua história.(DARWIN HOLMSTROM, HERBERT WAGNER, JERRY H. HATFIELD, GREG FIELDS, 2016).

Dyna: as motocicletas Dyna possuem grandes motores bicilíndricos e estilo tradicional. Elas podem ser distinguidas das Softail pela tradicional suspensão traseira por molas que interligam o quadro ao braço da suspensão, e das Sportster pelos seus motores maiores. Nestes modelos, a transmissão também abriga o reservatório de óleo do motor.(ALBERT SALADINI; SZYMEZAK, 2012).

Sportster: introduzida em 1957, a família Sportster é a mais antiga na linha Harley-Davidson. Ganharam fama nas corridas de dirt track e são mais leves e esportivas do que as outras Harley-Davidson. Utilizam motores de 883 cc ou Revolution de 1200 cc e mesmo modificadas, mantêm visual parecido com o de suas ancestrais. Visualmente as Sportster se distinguem de outras Harley por seu menor entre-eixos, porte mais

compacto e posição de pilotagem mais convencional com pernas flexionadas.(WRIGHT, 1987).

VRSC: esta família de motocicletas foi lançada em 2001 como esforço da Harley-Davidson em competir com as muscle-bikes japonesas e europeias. Como são as únicas Harley da história com refrigeração líquida, as VRSC's são facilmente reconhecidas pelo radiador na parte frontal e pelo design mais futurista e limpo. Seu motor é exclusivo e foi desenvolvido em parceria com a Porsche.(WILSON, 2021).

A Harley-Davidson V-Rod foi lançada em 2001, após uma década de pesquisa e desenvolvimento. É um modelo revolucionário para a Harley-Davidson, pois é equipado com um motor de refrigeração líquida, o primeiro em sua história (GARDINER, 2021).

O modelo V-Rod de 2007 é equipado com um motor Revolution V-Twin de 1.256 cc, capaz de produzir uma potência máxima de 115 cv a 8.250 rpm e torque máximo de 111 Nm a 7.000 rpm. A moto pesa 290 kg e tem uma velocidade máxima de cerca de 225 km/h. (ALVES, 2013).

Porém, mesmo se tratando de uma motocicleta vinda de uma fabricante tão conhecida, assim como qualquer máquina, ela demanda manutenção periódica, especialmente em seu sistema de arrefecimento, para manter a vida útil do motor dentro do esperado e o desempenho dentro dos parâmetros seguros. Para que as motocicletas mantenham um desempenho confiável e duradouro, é necessário garantir que todos os seus componentes estejam em boas condições. Nesse sentido, um dos pontos mais críticos é o sistema de arrefecimento do motor, que deve dissipar o calor gerado pelo conjunto motor da moto. (SILVA, 2018).

1.1 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo do cárter original do motor Revolution e, por meio deste estudo, propor alterações no mesmo que reduzam consideravelmente sua temperatura durante o funcionamento do motor.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Medir os impactos da alteração no cárter, no que diz respeito ao comportamento do óleo lubrificante e a vida útil do motor.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MOTOS

Motocicleta, é um veículo de duas rodas com motor, tração traseira e, com poucas exceções, tem a capacidade de atingir uma velocidade de cruzeiro com segurança e conforto. É um meio de transporte amplamente utilizado devido ao seu menor consumo de combustível e preço mais acessível em comparação com a maioria dos automóveis(ESTADÃO, 2023). Para os fins deste trabalho, analisamos algumas categorias de moto presentes no mercado para entender as diferenças entre elas. Embora existam diversos tipos, abordamos as scooters, naked, esportivas, off-roads e customs. Dentre as customs, a Harley Davidson é uma das marcas mais conhecidas do mercado, tendo uma história que data desde 1903 e produzindo diversos modelos, inclusive para as duas Grandes Guerras Mundiais.

2.2 HISTÓRICO DA FABRICANTE HARLEY-DAVIDSON

O primeiro motor a fazer história pela marca é o **Atmospheric v-twin**, de 1909. Construído com o conjunto de transmissão e cilindros provenientes dos propulsores de um cilindro, adicionaram um virabrequim interligado ao outro por meio de uma junta universal, e assim nasceu o V2. Uma carcaça maior foi incorporada para os cilindros, apresentando uma estrutura fortalecida, o Carburador Schebler, utilizado nos modelos anteriores, e uma ignição magnética Bosch, incendiando a mistura expelida pelos renomados tubos de escape com lâminas móveis, sem qualquer sistema de redução de ruído (SIEGAL, 2014).

Gerando 7 cavalos de potência com 49,5 polegadas cúbicas (815 cc), o Atmospheric V-Twin, nomeado devido à atuação das válvulas pelo vácuo gerado durante o curso de admissão do pistão, impulsionava o modelo 5D a velocidades superiores a 70 km/h. Apenas 27 unidades do modelo foram fabricadas. Contudo, esse motor foi considerado mal-sucedido, levando a marca a recomprar todas as motocicletas vendidas e trabalhar intensivamente por dois anos para corrigir as falhas do projeto (SIEGAL, 2014).

A Grande Depressão impactou severamente a indústria de motocicletas. Em busca de atender à demanda, Bill Harley explorou diversas novas opções de motor, culminando no notável **Flathead**, que incluiu designs de quatro cilindros em linha e o "boxer", de estilos opostos. Batizado pelos seus cabeçotes ventilados de topo plano, o motor "cabeça chata", de 45 polegadas cúbicas (737 cilindradas), equipado com válvulas laterais, estreou em 1929 no modelo D45. O modelo V Big Twin de 74 polegadas cúbicas (1213 cilindradas) foi lançado em 1930, projetado para competir com o Indian Chief de 74 polegadas cúbicas, equipando os modelos V 74. (RAFFERTY, 1997).

Esse projeto enfrentou um início desafiador, com uma extensa lista de problemas mecânicos. No entanto, a Harley Davidson comprometeu-se a corrigir imediatamente as falhas. Foi uma fase complexa, exigindo alterações em muitos componentes, todos fundamentais e dispendiosos. A situação foi custosa para a fábrica e bastante inconveniente para os clientes, mas ao solucionar os problemas, a marca conseguiu restaurar a confiança junto ao seu público. Em 1923, iniciou-se uma prova renomada

chamada Jack Pine Endurance Run, uma das corridas de resistência que submetia motos e pilotos a desafios extremamente difíceis. (RAFFERTY, 1997).

A competição durava três dias, percorrendo 1300 km por terrenos quase impraticáveis, como areia ou lama, e incluía pontos onde os participantes precisavam atravessar rios, tudo isso mantendo uma velocidade média regulamentada de cerca de 38 km/h. A primeira Jack Pine foi vencida por uma Harley, pilotada por Oscar Lenz, que conquistou o troféu por mais seis temporadas, até 1936.(WILSON, 2021).

Durante 1941 e 1945, que coincidiu com a Segunda Guerra Mundial, a empresa reassumiu a responsabilidade de fornecer suas motocicletas para o exército norte-americano e seus aliados. Cerca de 90 mil unidades, praticamente toda a sua produção, foram destinadas às forças norte-americanas. Um dos modelos concebidos pela Harley-Davidson especificamente para o contexto da guerra foi o XA 750, equipado com um motor horizontal de cilindros opostos, projetado principalmente para operações em ambientes desérticos. Durante o conflito, foram distribuídas 1.011 unidades desse modelo para uso militar. (DARWIN HOLMSTROM, HERBERT WAGNER, JERRY H. HATFIELD, GREG FIELDS, 2016).

Após o término da guerra, em novembro de 1945, a produção de motocicletas para uso civil foi retomada. Dois anos mais tarde, para atender à crescente demanda por motocicletas, a empresa adquiriu sua segunda fábrica, a planta de Capitol Drive, localizada em Wauwatosa, também no estado de Wisconsin. Em 1952, a Harley-Davidson lançou o modelo Hydra-Glide, marcando a primeira vez que a marca batizou uma motocicleta com um nome, em contraste com a numeração utilizada anteriormente.(SIEGAL, 2014).

O evento festivo em celebração ao 50º aniversário da marca, em 1953, teve a ausência de três de seus fundadores. Durante as festividades, um novo logotipo foi apresentado em homenagem ao característico motor em formato de "V", que se tornou a marca registrada da empresa. Nesse mesmo ano, com o encerramento das operações da marca Indian, a Harley-Davidson assumiu a posição de única fabricante de motocicletas nos Estados Unidos pelos 46 anos seguintes.(WRIGHT, 1987).

Em 1971, como resposta à crescente tendência de personalização de motocicletas, a Harley-Davidson introduziu a FX 1200 Super Glide, um modelo que

combinava características da Electra-Glide e da Sportster. Essa inovadora motocicleta deu origem a uma nova categoria conhecida como "cruiser", projetada especificamente para viagens longas, proporcionando conforto e segurança nas extensas estradas norte-americanas. (WRIGHT, 1987).

Dois anos mais tarde, acompanhando o aumento da demanda, a Harley-Davidson adotou uma decisão estratégica crucial: expandir sua capacidade de produção. Nesse contexto, a planta de Milwaukee passou a ser dedicada exclusivamente à fabricação de motores, enquanto a montagem das motocicletas foi transferida para uma nova instalação maior e mais moderna em York, na Pensilvânia. Em 1977, o modelo FXRS Low Rider foi adicionado à linha de produtos da Harley-Davidson. (ALBERT SALADINI; SZYMEZAK, 2012).

Em 2001, a marca começa a desenvolver o modelo v-rod, em parceria com a Porsche, a fabricante projeta o motor batizado de Revolution.(WILSON, 2021).

Um motor V2 a 60° com 1247cc e refrigeração líquida, que é capaz de ultrapassar os 200km/h com facilidade. O modelo V-rod foi fabricado até o ano de 2016, e deixou fãs no Brasil e no mundo.(ALVES, 2013).

2.3 HARLEY DAVIDSON V-ROD

No início da década de 2000, testemunhamos a fusão de forças entre a robusta e poderosa Harley-Davidson e o refinamento alemão da engenharia da Porsche. Embora possa parecer peculiar nos dias de hoje, esse encontro teve origem com o propósito de desafiar conceitos estabelecidos dentro da Harley e direcionar-se para o futuro da indústria. (WILSON, 2021).

A Harley-Davidson possui uma extensa história de rivalidade no mercado com as motocicletas japonesas, e no final da década de 90, a situação não era diferente. Dessa vez, a marca enfrentava a concorrência não apenas das poderosas muscle bikes do Japão, mas também de concorrentes internos nos Estados Unidos. (ALBERT SALADINI; SZYMEZAK, 2012).

Com a missão de superar essas ameaças e manter-se no topo das grandes custom, a fabricante buscou a expertise da engenharia alemã, unindo forças com a Porsche. (WILSON, 2021).

Desse casamento nasceu a power cruiser V-Rod, uma verdadeira revolução em termos visuais e técnicos, principalmente tratando-se do motor, pois este foi o primeiro modelo da marca com auxílio de refrigeração a água. (ALVES, 2013).

A V-Rod foi construída sobre um quadro tubular, incorporando vários componentes de alumínio, como o braço oscilante e os painéis externos. O metal também desempenhou um papel essencial nas rodas de alumínio, equipadas com pneus radiais esportivos sem câmara, notáveis por sua semelhança com os pneus de dragster. (SIEGAL, 2014).

Na parte traseira, o pneu apresentava uma largura de 240 mm, perfil 40 e um aro de 18 polegadas de diâmetro. Um ponto de destaque era o tanque de gasolina reluzente, aparentemente colocado no topo do chassi, mas na verdade utilizado para abrigar a caixa de ar. O reservatório real encontrava-se estrategicamente posicionado sob o assento. (DARWIN HOLMSTROM, HERBERT WAGNER, JERRY H. HATFIELD, GREG FIELDS, 2016).

Além disso, haviam também ponteiras de escape duplas, estilizadas com linhas, que remetiam às tradições visuais características da Harley. Apesar da resistência por

parte dos fãs e consumidores mais tradicionais da Harley, a V-Rod permaneceu no catálogo da marca por 15 anos. (WILSON, 2021).

Entretanto, em 2018, a trajetória da V-Rod chegou ao seu término em todo o mundo, sem grandes alardes. Especulações nos círculos especializados apontam para os rigorosos padrões de emissões Euro 4 como um dos motivos para o encerramento. Outro fator mencionado foi a redução nas vendas. Enfim, foi o limite para um modelo que desafiou paradigmas na história da Harley-Davidson. (DARWIN HOLMSTROM, HERBERT WAGNER, JERRY H. HATFIELD, GREG FIELDS, 2016).

Mesmo assim, o motor fabricado em parceria com a Porsche foi um sucesso, e apesar de ter sofrido algumas alterações e ter recebido novas versões, ainda equipa alguns modelos da fabricante americana até hoje. (ALVES, 2013).

2.4 FUNCIONAMENTO DE MOTORES CICLO OTTO

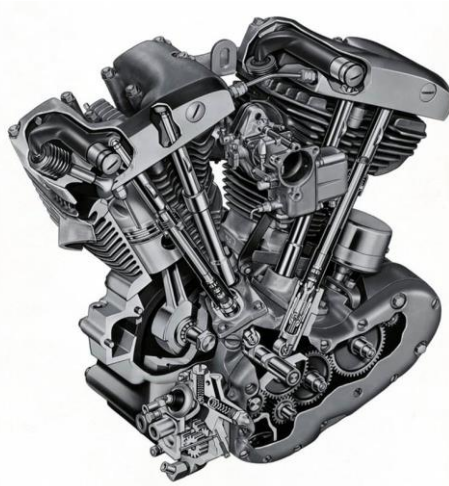
Para entendermos melhor os impactos causados pelo nosso projeto, estudamos sobre o funcionamento dos motores a combustão interna, que é o tipo de motor que equipa a motocicleta estudada neste artigo.

Os motores a combustão interna são dispositivos que convertem energia química contida no combustível em energia mecânica para impulsionar um veículo ou executar trabalho. Esses motores operam com base no ciclo termodinâmico Otto, que consiste em quatro etapas: admissão, compressão, combustão e exaustão. O processo de combustão ocorre dentro do motor, impulsionando um pistão que está conectado a uma biela, que, por sua vez, gira o eixo do motor para gerar energia mecânica. (BRUNETTI, 1992).

Os principais componentes de um motor a combustão interna são: Bloco, Cilindro, Pistão, Cabeçote, Sistema de injeção e ignição, Sistema de arrefecimento e Sistema de lubrificação. (SENAI-SP, 2017).

Bloco do Motor: O bloco do motor é a estrutura principal do motor que abriga os cilindros nos quais os pistões se movem. Geralmente é feito de ferro fundido ou alumínio e serve como uma base para a montagem de outras peças do motor. (NGUYEN, 2005).

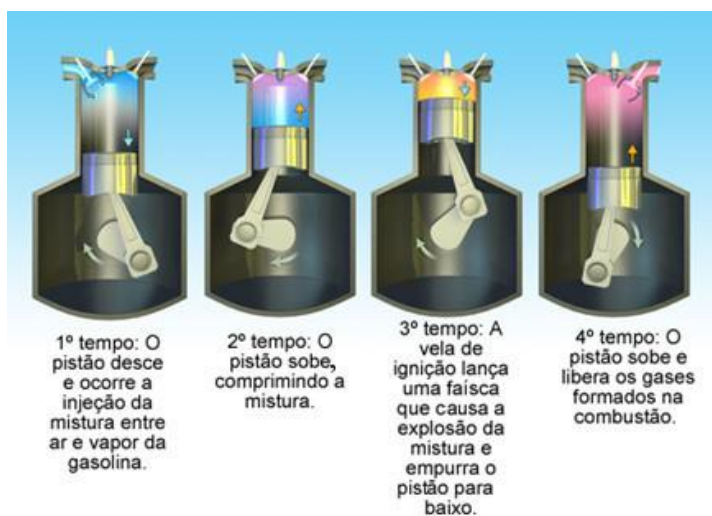
Figura 1 - Representação de bloco de motor



FONTE: <https://garagehenn.com.br/> Acessado em 20/11/2023 as 23:35

Cilindros e Pistões: Os cilindros são os tubos nos quais os pistões se movem para cima e para baixo. Os pistões são peças que selam hermeticamente o cilindro e se movem no interior dele, convertendo a energia da combustão em movimento linear por meio da explosão do combustível, que empurra a cabeça do pistão para baixo.(DUDAREVA; ENIKEEV; IVANOV, 2017).

Figura 2 - Exemplo de funcionamento de pistões



FONTE: <https://mundoeducacao.uol.com.br/> Acessado em 20/11/2023 as 23:37

Cabeçote do Motor: O cabeçote do motor é a parte superior do motor que cobre os cilindros. Ele contém as válvulas de admissão e exaustão, bem como a câmara de combustão. A função do cabeçote é regular o fluxo de ar e combustível por meio das válvulas de admissão, e eliminar os gases resultantes da queima de combustível por meio das válvulas de escape.(SHOJAEFARD *et al.*, 2006).

Figura 3 - Cabeçote

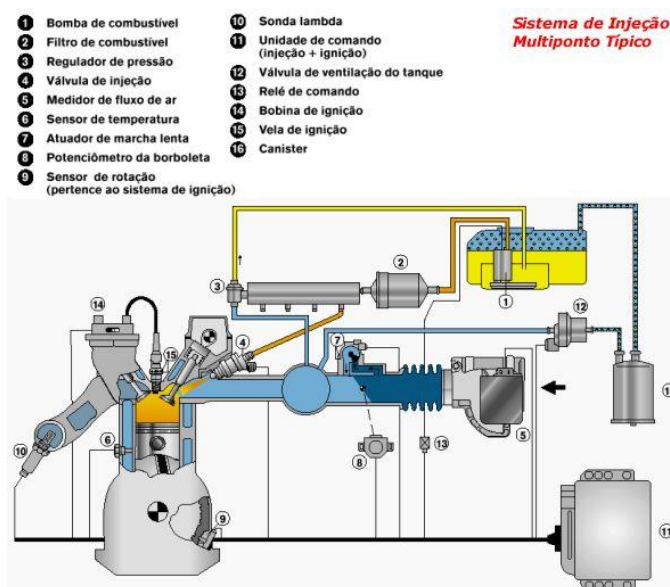


FONTE: <https://www.sfmotos.com.br/> Acessado em 20/11/2023 as 23:41

Sistema de Injeção e Ignição: O sistema de Injeção fornece o combustível necessário para o motor (normalmente por um sistema de bomba injetora e bicos injetores), enquanto o sistema de ignição é responsável por acender a mistura ar-combustível na câmara de combustão, por meio de uma centelha produzida por uma vela de ignição. Esses sistemas trabalham em conjunto para garantir que a explosão seja sincronizada e eficiente.(BLARIGAN, 2000).

Na figura abaixo vemos a esquemática de um sistema de injeção e ignição:

Figura 4 - Esquematização dos sistemas de injeção e ignição

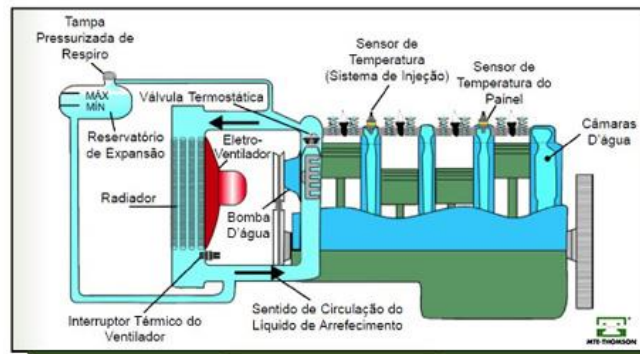


FONTE: <https://carroetecnica.com.br/> Acessado em 20/11/2023 as 23:43

Sistema de Arrefecimento: O sistema de arrefecimento é vital para regular a temperatura do motor e evitar o superaquecimento. Ele é composto por: Radiador, bomba d'água, termostato e mangueiras. O sistema de arrefecimento é crucial para manter o motor funcionando dentro de limites de temperatura seguros.

Ele funciona como um ciclo, realizando a troca de calor entre o motor, o fluido de arrefecimento que é bombeado pelas mangueiras e radiador através da bomba d'água e, depois, entre o fluido e o ambiente. Primeiro, ele absorve calor do motor circulando o fluido de arrefecimento entre as galerias contidas no bloco do motor, depois bombeia esse fluido para dentro do radiador, onde é resfriado com auxílio de um ventilador eletrônico que faz com que o ar ambiente passe entre as aletas do radiador, absorvendo o calor do fluido e diminuindo sua temperatura. (STRATTON; STRINGER; TAYLOR, 1965). A Figura 10 esquematiza o funcionamento do sistema de arrefecimento:

Figura 5 - Esquemática do sistema de arrefecimento



FONTE: <https://www.oficinaneuws.com.br/> Acessado em 20/11/2023 as 23:44

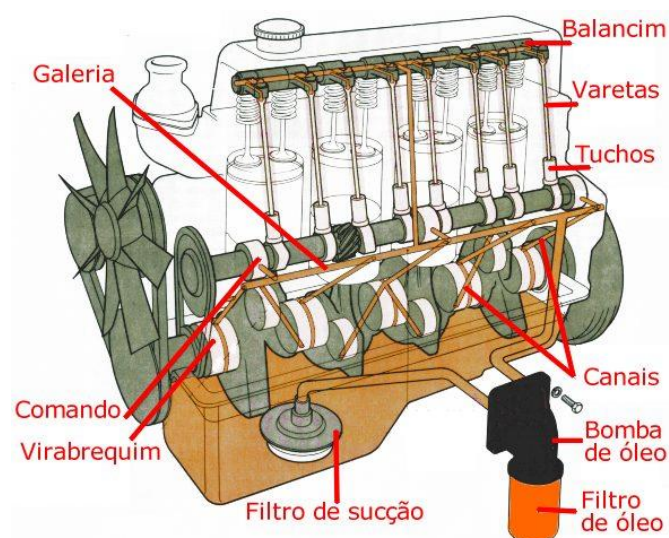
O **sistema de lubrificação** também auxilia na dissipação do calor do motor, ele é composto pela bomba de óleo, pelo óleo lubrificante e pelo cárter de óleo.

A bomba de óleo é uma peça crucial no sistema de lubrificação do motor. Sua função principal é aspirar o óleo lubrificante do cárter e direcioná-lo para as áreas que precisam de lubrificação. Isso inclui as partes móveis, como os rolamentos, pistões e bielas, que estão constantemente em contato direto e geram atrito. A bomba de óleo pressuriza o óleo e o direciona através de canais para essas áreas críticas, garantindo que haja um suprimento constante de óleo para reduzir o desgaste e a fricção.(CHUN, S. M., 2003).

O cárter é uma parte estrutural do motor que abriga o óleo lubrificante quando não está em circulação. Ele é geralmente posicionado na parte inferior do motor e é responsável por armazenar o óleo quando o motor está desligado e também por fornecer uma fonte de óleo para a bomba de óleo durante a operação do motor.(CHUN, Sang Myung; PARK; JANG, 2000).

Além de sua função principal de armazenar o óleo, o cárter também é projetado para coletar quaisquer partículas ou detritos que possam ser arrastados pelo óleo. Normalmente, o cárter tem um filtro de óleo que retém partículas maiores, garantindo que o óleo circulante permaneça relativamente limpo.(GULZAR *et al.*, 2015). A Figura 11 esquematiza de forma simples as partes principais deste sistema:

Figura 6 - Esquemática do sistema de lubrificação



FONTE: <https://r19club.com/> Acessado em 20/11/2023 as 23:46

2.5 TIPOS DE MOTORES

Motores a combustão interna podem ser divididos entre 2 tempos e 4 tempos, cada um desses tipos possuem suas particularidades, prós e contras. (BRUNETTI, 2013).

2.5.1 MOTORES 2 TEMPOS

A história dos motores de dois tempos se inicia no século XIX, quando inventores visionários buscavam criar motores mais simples e eficientes. O ciclo de dois tempos, com sua simplicidade e potencial para alta potência em rotações mais altas, rapidamente encontrou seu espaço em várias aplicações. Durante muitas décadas, os motores de dois tempos foram a escolha preferida para motocicletas de baixa cilindrada, ciclomotores e até mesmo embarcações pequenas. (MIKALSEN; ROSKILLY, 2007).

Uma particularidade dos motores de dois tempos é a sua capacidade de completar o ciclo de admissão, compressão, combustão e escape em apenas dois movimentos do pistão. Ao contrário dos motores de quatro tempos, que têm um ciclo mais elaborado distribuído em quatro movimentos, os motores de dois tempos operam de maneira mais direta e simplificada. Durante o movimento descendente do pistão, a

mistura de ar e combustível é admitida, enquanto o movimento ascendente comprime a mistura antes da ignição. A explosão resultante impulsiona o pistão para baixo, realizando trabalho mecânico e, simultaneamente, abre as portas de escape para liberar os gases queimados.(VOLCKENS *et al.*, 2007).

As principais vantagens dos motores de dois tempos são:

- **Simplicidade Mecânica:**

Com menos peças móveis, os motores de dois tempos são notavelmente mais leves e têm um design mais simples em comparação com seus homólogos de quatro tempos. A ausência de componentes como válvulas torna a montagem e manutenção mais diretas.(DEKANSKI; WILSON, 1996).

- **Potência em Rotações Mais Altas:**

Os motores de dois tempos têm a capacidade de produzir potência significativa em rotações mais altas, tornando-os ideais para aplicações que exigem resposta rápida e alta potência específica. (ZHANG; ZHAO, 2014).

- **Relação Peso-Potência:**

Essa categoria de motores é frequentemente escolhida em contextos onde a relação peso-potência é crucial, como em motocicletas off-road e veículos de competição.

Os principais desafios e limitações dos motores dois tempos são:

- **Emissões e Eficiência de Combustível:**

Historicamente, os motores de dois tempos têm sido criticados por produzirem mais emissões e terem eficiência de combustível inferior em comparação com motores de quatro tempos. (VOLCKENS *et al.*, 2007).

A lubrificação mista, necessária para proteger os componentes móveis, muitas vezes contribui para essas questões.(BENAJES *et al.*, 2013).

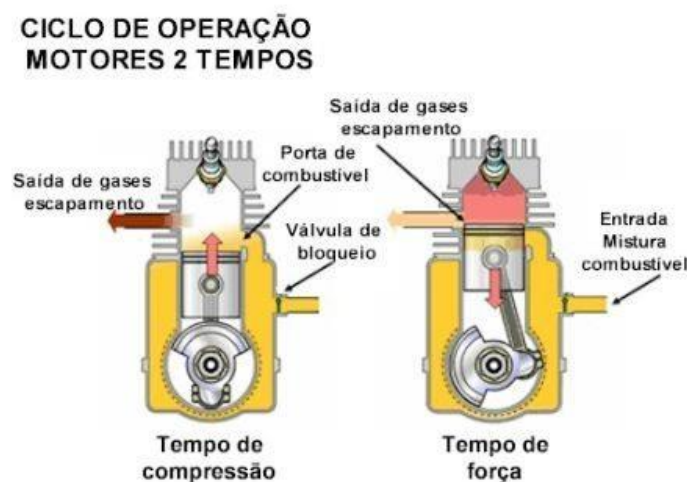
- **Consumo de Óleo:**

A mistura de óleo no combustível, comum nos motores de dois tempos, pode resultar em um maior consumo de óleo e, conseqüentemente, na emissão de fumaça.(BENAJES *et al.*, 2013).

- **Resposta em Baixas Rotações:**

Os motores de dois tempos tendem a ser menos eficientes em baixas rotações, o que pode afetar a dirigibilidade em situações urbanas ou em tráfego lento.(ZHANG; ZHAO, 2014). A figura 12 demonstra o funcionamento deste tipo de motor:

Figura 7 - Funcionamento de motor 2 tempos



Fonte: <https://www.motonline.com.br/noticia/> Acessado em 18/11/2023 as 13:56

2.5.2 MOTORES 4 TEMPOS

A evolução dos motores de quatro tempos se inicia no século XIX, quando buscava-se aprimorar a eficiência e o controle no processo de combustão. O ciclo de quatro tempos, com suas fases distintas de admissão, compressão, combustão e escape, tornou-se a base para motores mais eficientes e ambientalmente conscientes. Desde então, esses motores se tornaram a escolha predominante em uma variedade de aplicações, de veículos de passageiros a motocicletas de alta cilindrada.(MIKALSEN; ROSKILLY, 2007).

A característica principal dos motores de quatro tempos é a divisão do ciclo de operação em quatro movimentos distintos do pistão. Durante o movimento descendente, a fase de admissão permite a entrada controlada de mistura ar-combustível. O movimento ascendente subsequente comprime essa mistura antes da ignição, resultando na fase de combustão. O pistão, então, realiza trabalho mecânico ao se mover novamente para baixo na fase de escape, eliminando os gases queimados. Este ciclo mais elaborado proporciona maior controle sobre o processo de combustão e eficiência geral.(RAMASAMY *et al.*, 2017).

As principais vantagens dos motores quatro tempos são:

- **Eficiência de Combustível:**

Os motores de quatro tempos geralmente são mais eficientes no consumo de combustível, proporcionando uma maior autonomia em comparação com motores de dois tempos.(ZHANG; ZHAO, 2014).

A queima mais controlada do combustível contribui para essa eficiência.

- **Menos Emissões:**

Devido à sua operação mais controlada, esses motores tendem a produzir menos emissões nocivas, atendendo às normas ambientais mais rigorosas.(COSTAGLIOLA *et al.*, 2016).

- **Torque em Baixas Rotações:**

Os motores de quatro tempos oferecem mais torque em rotações mais baixas, resultando em uma condução mais suave e responsiva em situações urbanas e de tráfego lento.(COSTAGLIOLA *et al.*, 2016).

Os principais desafios relacionados aos motores quatro tempos são:

- **Complexidade Mecânica:**

Com mais peças móveis e componentes, os motores de quatro tempos são geralmente mais pesados e complexos do que seus equivalentes de dois tempos.(DE BOTTON; BEN-ARI; SHER, 2000).

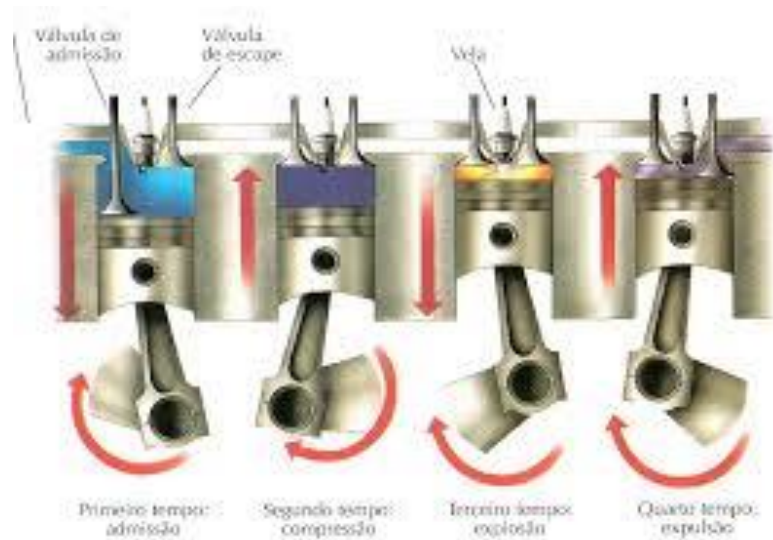
Isso pode impactar o peso total e o design de certos veículos.

- **Manutenção e Custo:**

A manutenção de motores de quatro tempos pode ser mais exigente, envolvendo a sincronização de válvulas e trocas de óleo mais frequentes.

Os custos operacionais e de manutenção podem ser ligeiramente superiores em comparação com motores de dois tempos. (DE BOTTON; BEN-ARI; SHER, 2000). A figura 13 explica de forma simplificada o funcionamento deste tipo de motor:

Figura 8 - Funcionamento de motor 4 tempos



Fonte: <https://repositorio.ufu.br/> acessado em 18/11/2023 as 13:58

No que tange aos materiais utilizados na fabricação de motores, ferro fundido e ligas de alumínio têm sido os principais materiais utilizados na fabricação da maioria dos blocos de motores a diesel e a gasolina convencionais. No entanto, ao buscar uma melhoria da eficiência do motor por meio da redução de peso, os fabricantes começaram a pesquisar ligas alternativas que sejam mais leves do que o ferro fundido e as ligas de alumínio, mantendo, ao mesmo tempo, a resistência necessária para suportar as forças geradas por um motor. (NGUYEN, 2005).

2.6 MATERIAIS METÁLICOS

A ciência dos materiais é um campo de estudo interdisciplinar que se concentra na compreensão das propriedades físicas e químicas dos materiais e sua relação com a estrutura e o processamento. É uma área fundamental em muitas indústrias, incluindo a indústria automotiva, onde a escolha do material pode afetar significativamente o desempenho e a durabilidade de um produto.(NGUYEN, 2005).

No contexto da indústria de motocicletas, a escolha dos materiais adequados é crucial para garantir que as peças sejam duráveis e possuam o desempenho necessário. É necessário levar em consideração muitos fatores, como resistência à corrosão, propriedades mecânicas e térmicas, além de considerações de custo e fabricação.(MYAGKOV *et al.*, 2014).

O aço é um material amplamente utilizado na indústria automotiva e aeroespacial devido às suas propriedades mecânicas, como resistência à tração e dureza. Ele é composto principalmente de ferro e carbono, além de outros elementos de liga, que conferem propriedades específicas ao material.(BARBIERI *et al.*, 2018).

O ferro fundido é um material que possui uma estrutura cristalina diferenciada, que proporciona alta resistência mecânica e boa usinabilidade. Ele é composto principalmente de ferro, carbono e silício, além de outros elementos de liga.(SALONITIS *et al.*, 2019).

O alumínio é um material leve e resistente, amplamente utilizado na indústria automotiva e aeroespacial. Ele apresenta excelente resistência à corrosão e boa condutividade térmica. O alumínio é composto principalmente de alumínio puro e outros elementos de liga, como cobre e silício. (DONAHUE; FABIYI, 2000).

A escolha do material para a fabricação do cárter de óleo dependerá das especificações técnicas do motor da moto e das propriedades desejadas para o cárter.

A Tabela 1 compara as propriedades mecânicas destes materiais:

Tabela 1 – Propriedades físicas dos materiais

Material	Resistência à Tração (MPa)	Resistência à Compressão (MPa)	Ductilidade
Ferro Fundido	250 - 370	370 - 390	Baixa
Alumínio 7075	240 - 270	90 - 100	Alta
Aço 1045	370 - 440	240 - 320	Média

Fonte: <https://shockmetais.com.br/tabelas> acessado em 18/11/2023 as 14:05

Baseado nas propriedades apresentadas na Tabelas 1, entende-se que o Alumínio 7075 é menos resistente que os demais materiais apresentados em todos os aspectos, ele é menos resistente à tração e à compressão e mais dúctil. Estes dados devem ser levados em conta pois eles alertam para uma perda de resistência das peças a serem modificadas, o que deve ser levado em conta em qualquer projeto mecânico.

Isso também afetará as aletas, pois deformações podem afetar o fluxo de ar entre elas, o que diminuiria a eficácia desse sistema para dissipar calor, visto que dependendo da deformação o fluxo de ar pode ser interrompido.(BASKAYA; SIVRIOGLU; OZEK, 2000)

2.7 ALETAS

As aletas são elementos estruturais projetados para aumentar a eficiência térmica de sistemas de transferência de calor. Essencialmente, elas ampliam a área de superfície de contato entre o componente aquecido e o ambiente circundante, facilitando uma dissipação de calor mais eficaz.(CHARLES; WANG, 2014).

A equação que explica o funcionamento das aletas para dissipação de calor é chamada de transferência de calor por convecção:

$$Q=h \cdot A \cdot \Delta T$$

Onde:

Q é a taxa de transferência de calor (Watt),

h é o coeficiente de transferência de calor por convecção ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$),

A é a área de transferência de calor (m^2),

ΔT é a diferença de temperatura entre a superfície do objeto e o fluido circundante ($^\circ C$).

O papel principal das aletas é melhorar a eficiência na dissipação de calor ao promover uma maior transferência térmica entre o objeto aquecido e o ar ambiente. Ao introduzir aletas em um sistema, a área de superfície exposta ao fluxo de ar aumenta significativamente, permitindo que o calor seja disperso mais rapidamente. Isso é particularmente vital em contextos onde a eficiência térmica é uma prioridade, como em radiadores de motores ou dissipadores de calor eletrônicos.(MAJI; CHOUBEY, 2020).

Existem vários formatos para aletas e cada um tem sua particularidade, citando alguns exemplos, temos:

- **Aletas Retangulares:**

As aletas retangulares são a forma mais comum e simples. Elas são fáceis de fabricar e são eficazes em muitas aplicações. No entanto, seu desempenho pode ser limitado em cenários que demandam maior otimização.(BASKAYA; SIVRIOGLU; OZEK, 2000).

- **Aletas Triangulares:**

Aletas triangulares oferecem uma alternativa geométrica interessante. Sua forma pode melhorar a distribuição do fluxo de ar e, em certos casos, otimizar a transferência térmica em relação às aletas retangulares.(MIRAPALLI; P .S, 2015).

- **Aletas Trapezoidais:**

A forma trapezoidal combina características das formas retangulares e triangulares. Elas são frequentemente usadas em sistemas onde a simplicidade da fabricação é essencial, mas é desejada uma melhoria no desempenho aerodinâmico.(KHANI; AZIZ, 2010).

- **Aletas Perfuradas:**

Aletas perfuradas têm orifícios ou aberturas que permitem um maior fluxo de ar através delas. Esse design é eficaz em situações em que a resistência ao fluxo de ar é uma preocupação.(SHAERI; YAGHOUBI; JAFARPUR, 2009).

Esse método é amplamente empregado em computadores, veículos, eletrodomésticos e uma variedade de dispositivos eletrônicos, contribuindo para o desempenho confiável e a durabilidade desses sistemas.(BASKAYA; SIVRIOGLU; OZEK, 2000).

Em suma, aletas são um meio amplamente utilizado pela indústria para gerenciar a temperatura dos componentes fabricados, sejam peças de computador ou motores, elas são projetadas para aumentar a área de superfície exposta ao fluido. De acordo com a lei de resfriamento de Newton, a taxa de transferência de calor é diretamente proporcional à área de superfície disponível para a troca térmica.(CHARLES; WANG, 2014).

2.8 TERMODINÂMICA

As leis da termodinâmica são princípios fundamentais que regem o comportamento da energia, calor e trabalho em sistemas termodinâmicos. Elas desempenham um papel importante no funcionamento de sistemas de arrefecimento em motores a combustão interna, onde a transferência de calor é uma consideração crítica.(CRO, 2014). Vamos discutir as leis da termodinâmica e como elas se relacionam ao sistema de arrefecimento de um motor.

- **Primeira Lei da Termodinâmica (Lei da Conservação de Energia):**

A primeira lei da termodinâmica estabelece que a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada de uma forma para outra. Em termos simples, a quantidade total de energia em um sistema isolado permanece constante. Isso significa que, em um motor, a energia liberada na combustão do combustível é transformada em energia mecânica e calor.(RICHARD E. SONNTAG, 2009).

No contexto do sistema de arrefecimento de um motor, a primeira lei da termodinâmica é relevante porque a energia térmica gerada durante a combustão precisa ser gerenciada. O motor gera uma quantidade significativa de calor, e esse calor precisa ser dissipado para evitar o superaquecimento do motor. O sistema de arrefecimento é projetado para transferir esse calor para fora do motor, mantendo a temperatura dentro de níveis seguros. Ele realiza essa transferência de calor através do líquido de arrefecimento e do radiador, que funcionam como trocadores de calor.(BALAJI; SRI JAYARAM; VENKATESHAN, 1996).

- **Segunda Lei da Termodinâmica:**

A segunda lei da termodinâmica estabelece que o calor naturalmente flui de uma área de maior temperatura para uma área de menor temperatura. Em outras palavras, o calor não flui espontaneamente de uma área fria para uma área quente. (FERMI, 2014).

No sistema de arrefecimento do motor, a segunda lei da termodinâmica explica a transferência de calor. O líquido de arrefecimento, normalmente água ou uma mistura de água e aditivos (anti ferrugem e anti congelantes), circula pelo motor absorvendo calor das áreas quentes do motor, como o bloco do motor e o cabeçote. Em seguida,

o líquido de arrefecimento passa pelo radiador, onde é resfriado pelo ar ambiente. A segunda lei da termodinâmica governa essa transferência de calor, garantindo que o calor flua da área quente (o motor) para a área mais fria (o radiador). (SHINODA *et al.*, 2019).

Ainda neste contexto, é importante ressaltar que diferentes materiais se comportam de formas diferentes no que tange a condução de calor. (AQUINO; DA SILVA, 2015)

Para exemplificar, a tabela abaixo compara alguns dados (incluindo a condutividade térmica) de alguns materiais típicos na fabricação de motores, com o Alumínio 7075, material proposto neste estudo para a modificação do cárter:

Tabela 2 – Propriedades físicas e térmicas dos materiais

Material	Densidade (g/cm³)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Coef. Expansão Térmica (10⁻⁶ / °C)	Condutividade Térmica (W/m.K)
Ferro Fundido	7.8	130	10.8	52
Alumínio 7075	2.81	71	23.6	130
Aço 1045	7.85	207	12	45

Fonte: <https://shockmetais.com.br/tabelas/> acessado em 18/11/2023 as 14:02

2.9 ARDUÍNO

Para melhor compreender o comportamento de cada material, foi necessário utilizar o Arduino como plataforma para criar um coletor de dados. O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto que se destaca pela sua versatilidade em diversas aplicações, incluindo a coleta de dados.

Uma das características distintas do Arduino é a capacidade de se integrar a uma ampla variedade de sensores. Sensores de temperatura, umidade, luz, movimento e muitos outros podem ser facilmente conectados ao Arduino, permitindo a coleta de dados ambientais em tempo real. (ALI *et al.*, 2016).

Esta ferramenta oferece a flexibilidade de criar interfaces personalizadas para diferentes tipos de sensores. Isso é particularmente útil em projetos que requerem medições específicas ou em ambientes onde sensores comerciais podem não ser adequados.(ALI *et al.*, 2016).

O Arduíno tem uma grande gama de aplicações, citando alguns exemplos temos:

- **Monitoramento Ambiental:**

Em projetos de monitoramento ambiental, o Arduíno pode ser equipado com sensores para medir a qualidade do ar, níveis de poluição e outras variáveis ambientais. (KARAMI; MCMORROW; WANG, 2018).

- **Agricultura de Precisão:**

Na agricultura, o Arduíno é empregado para coletar dados sobre a umidade do solo, temperatura e níveis de luz solar. Essas informações ajudam os agricultores a otimizar o uso de recursos e melhorar a eficiência agrícola. (HASHIM *et al.*, 2015).

- **Projetos de IoT:**

Em projetos de Internet das Coisas (IoT), o Arduíno é uma escolha popular. Ele pode ser utilizado para coletar dados de dispositivos conectados, como sensores em residências inteligentes, contribuindo para uma automação mais eficiente.(NAYYAR; PURI, 2017).

Fizemos uso dessa ferramenta de coleta de dados para realizar os estudos deste artigo.

3 METODOLOGIA

No contexto da engenharia automotiva, sempre se está em busca de aumentar a eficiência dos motores, gerenciar a temperatura de funcionamento do motor está diretamente ligada a este contexto. O cárter de óleo é um componente central, exercendo uma função muito importante para o motor. Ele é responsável por armazenar o óleo lubrificante, e indiretamente regula a temperatura deste. Para os fins deste trabalho era necessário coletar dados precisos e em tempo real sobre a temperatura do cárter durante o funcionamento do motor.

A coleta de dados foi conduzida por meio de um dispositivo eletrônico que iremos tratar como “coletor de dados”. Este foi desenvolvido utilizando Arduino, projetado para registrar as variações de temperatura em pontos estratégicos do cárter de óleo ao longo do tempo. Esses dados dinâmicos ofereceram uma visão abrangente do comportamento térmico do componente em diversas condições operacionais.

Inicialmente, aplicamos modelagem computacional para simular o comportamento térmico do cárter. Para realizar essa simulação, definimos as condições de contorno necessárias. Em três pontos específicos, onde os sensores estavam posicionados, incorporamos o gradiente de temperatura obtido a partir desses sensores. Utilizamos o módulo de simulação de transferência de calor do Solid Edge, aplicando uma temperatura base de 27°C ao corpo e incorporando a transferência de calor nas paredes internas.

Com esses parâmetros, geramos uma malha com uma resolução de 5mm e procedemos à resolução do modelo. O resultado obtido foi a temperatura máxima alcançada no novo cárter.

Para validar nossos modelos teóricos, confrontamos os resultados das simulações com os dados reais coletados pelo coletor de dados Arduino. Esse processo proporcionou uma compreensão mais aprofundada das variações térmicas no cárter de óleo, garantindo a confiabilidade e relevância dos nossos modelos simulados.

A análise dos dados se deu por meio de ferramentas estatísticas, explorando padrões, pontos críticos de aquecimento e correlações significativas ao longo do tempo. A partir dessas análises, estratégias de otimização foram propostas, visando aprimorar a eficiência térmica do cárter de óleo e contribuir para um design mais

eficiente. O objetivo era promover melhorias na durabilidade e desempenho do motor Revolution Harley Davidson.

O desenvolvimento do coletor de dados pode ser separado nos seguintes estágios: montagem, programação, testes e, por fim, instalação. Uma vez coletados os dados, foram feitas simulações e cálculos para verificar se a modificação proposta de fato traria algum benefício no que tange a eficiência de dissipação de calor.

3.1 MONTAGEM DO COLETOR DE DADOS

Inicialmente, para realizarmos a montagem do “coletor de dados” de temperatura conectamos o Arduino a seus módulos utilizando cabos 20 AWG próprios para as conexões do Arduino de acordo com o esquema elétrico abaixo:

Figura 9 - Diagrama de montagem do coletor de dados

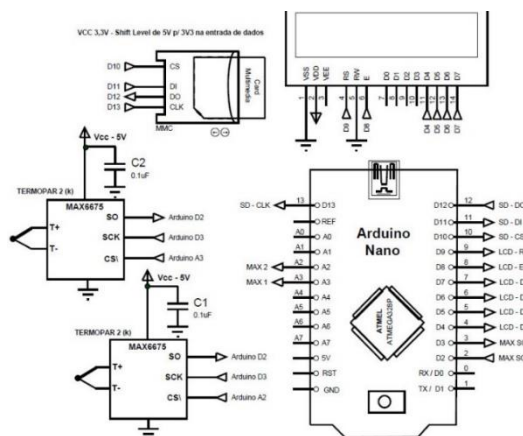


Figura 1 - Foto PowerSupply 12v

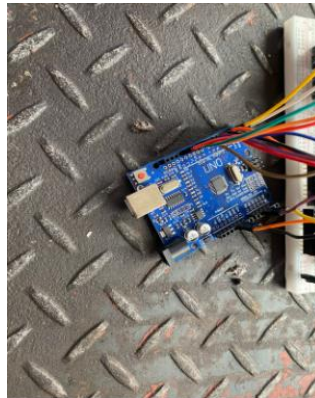


Abaixo listamos os componentes e como eles foram dispostos na protoboard e suas funções:

- **Arduíno UNO**

É uma plataforma versátil, foi escolhido devido à sua capacidade eficiente de integração de sensores e atuadores, facilitando o processo de coleta de dados. A figura 11 é uma foto tirada da placa durante a montagem:

Figura 2 - Placa Arduíno UNO



- **Display LCD 16x2**

É um display que proporciona a exibição em tempo real das leituras dos termopares, permitindo que o sistema fosse monitorado continuamente. A figura 12 é uma foto tirada dos displays durante a montagem:

Figura 3 - Display LCD 16x2



- **Módulo Leitor de SD e o Cartão SD de 64 GB**

Fundamentais para o armazenamento eficiente dos dados coletados, possibilitando a extração e exportação dos dados para um computador, a fim de realizar análises detalhadas posteriores. A figura 13 é uma foto tirada dos módulos durante a montagem:

Figura 4 - Módulo Leitor de SD e cartão SD



- **Módulos MAX6675 e os Termopares Tipo K**

Reconhecidos por sua precisão em ambientes automotivos exigentes, foram escolhidos para garantir leituras confiáveis. Abaixo, na figura 14, temos os módulos e termopares durante a montagem:

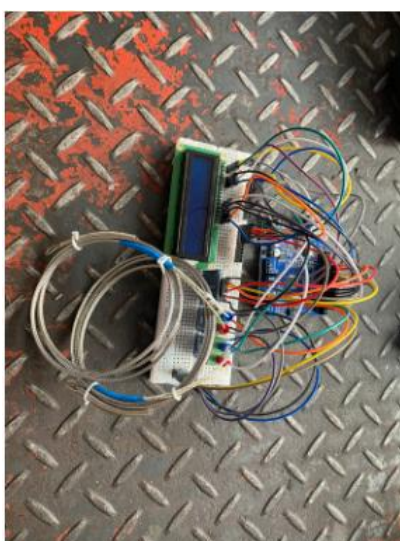
Figura 5 - Módulos MAX6675 e Termopares



- **Fiação própria para o Arduino e a Protoboard**

Foram utilizados para garantir uma conexão estável e facilitar ajustes e modificações conforme necessário. A figura 15 é uma foto do resultado final da etapa de montagem:

Figura 15 - Arduino, Fiação e Protoboard



3.3 INSTALAÇÃO DO COLETOR DE DADOS

Uma vez finalizado os testes do Arduino, procedemos para a fixação dos termopares no cárter. As localizações escolhidas foram às extremidades e o centro do cárter, considerando a necessidade de compreender o gradiente de temperatura resultante do fluxo de ar e da acumulação de óleo na porção posterior do cárter, ocasionada pela força G. Após a seleção, os termopares foram fixados utilizando uma cola epóxi bifásica, garantindo contato direto com a superfície do cárter.

Figura 16 - Termopares fixados ao cárter



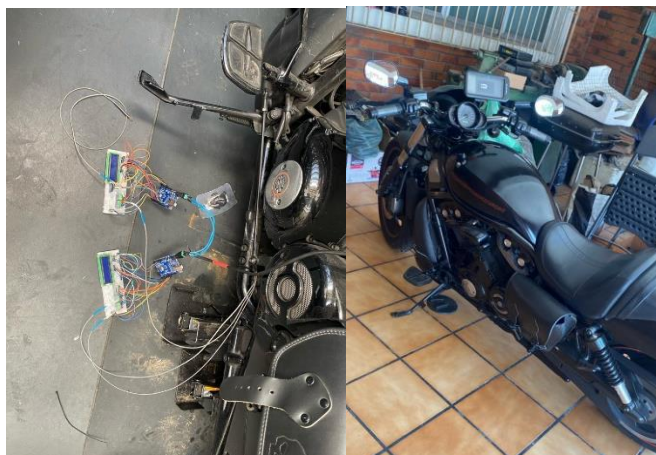
Também tentamos adaptar um parafuso perfurado para conseguir dados mais precisos sobre a temperatura do óleo dentro do cárter, porém o mesmo apresentou vazamento e a ideia foi descartada.

Figura 17 - Parafuso adaptado



Após fixado no cárter, roteamos os cabos do termopar até a bolsa lateral aonde cuidadosamente alocamos o Arduino com seus componentes. Uma vez terminado este processo, ligamos os Arduinos diretamente a bateria 12V da motocicleta.

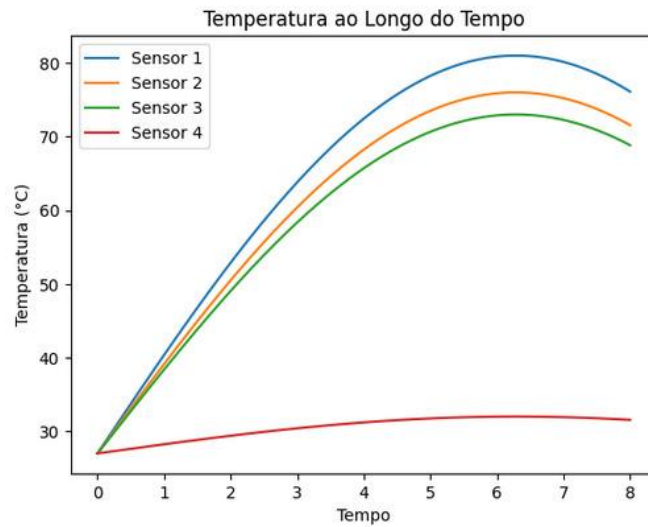
Figura 18 - Acomodação do coletor de dados na moto



3.4 COLETA DE DADOS

Após o experimento com o Arduino funcionando durante 1 semana, o desmontamos da motocicleta. Os dados que foram coletados pelos sensores foram armazenados nos cartões SD em arquivos .txt. Para que possamos analisar os dados de forma clara e objetiva, os enviamos ao Microsoft Excel e tratamos os dados utilizando a formula de normalização ($T_{normalizado} = \frac{T - T_{mínimo}}{T_{máximo} - T_{mínimo}}$) para que eliminemos todos os ruídos do gráfico. Com isso obtivemos uma única curva para cada sensor que reflete o comportamento térmico do cárter de óleo ao longo do tempo o que nos permitiu visualizar de forma clara o comportamento térmico global do sistema.

Figura 19 - Gráfico representativo da curva de temperatura

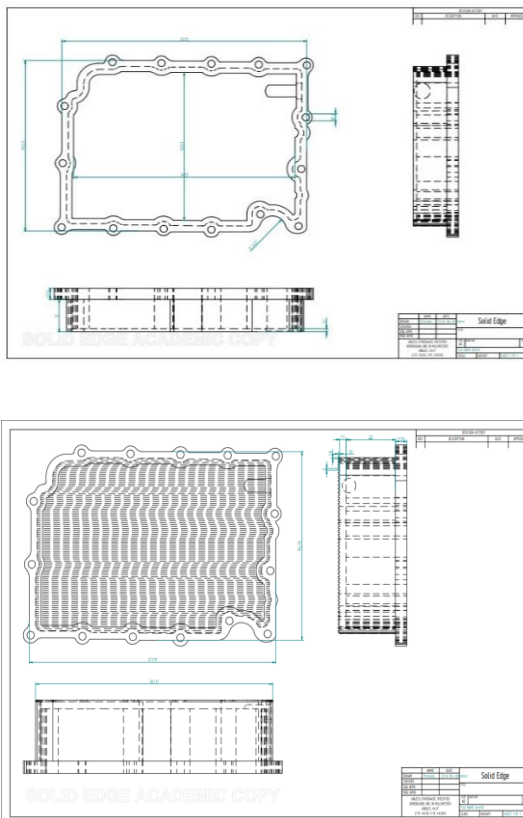


É importante ressaltar que o gráfico não reflete todos os dados coletados, e é meramente uma representação da curva de comportamento térmico do cárter, não devendo ser interpretado literalmente, pois a normalização dos dados retirou diversos dados que sofreram interferências, também deve-se levar em conta que o motor foi acionado e cortado diversas vezes, e esses dados, embora relevantes, não são apresentados na figura acima.

3.5 SIMULAÇÕES NO SOLID EDGE

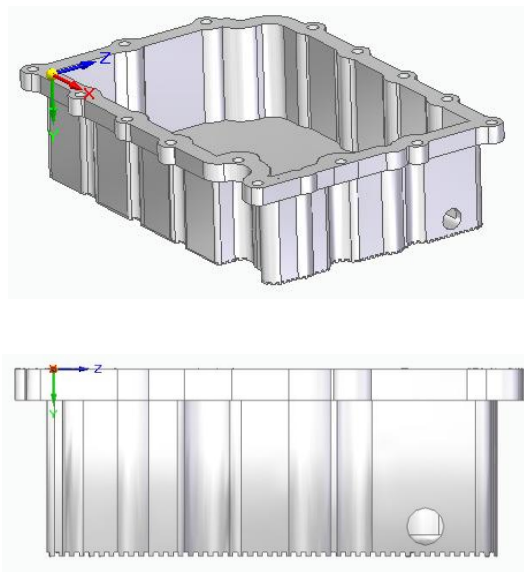
Inicialmente, utilizamos como base os seguintes desenhos para realizar a modelagem 3D do cárter:

Figura 20 – Desenhos técnicos do cárter modificado



Com os parâmetros definidos, modelamos o novo modelo de cárter, já com a adição de aletas em sua parte inferior, conforme a figura 21:

Figura 21 - Câster modificado em 3D - Vistas frontal e isométrica



Após a modelagem, realizamos a transição do material de Aço 1045 para Alumínio 7075.

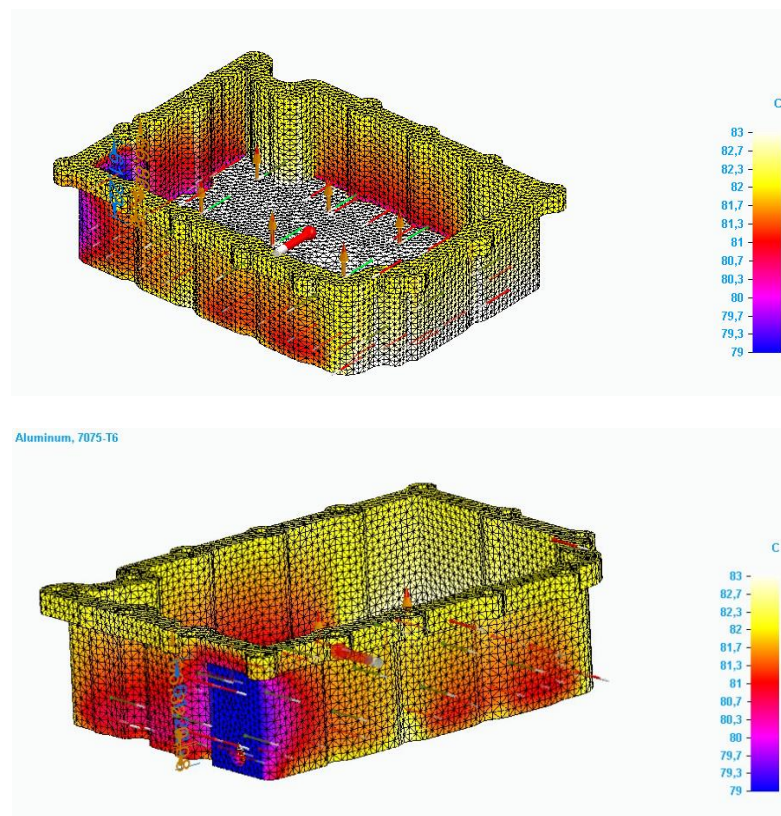
A transição do aço 1045 para o alumínio 7075 como material para o câster foi baseada na análise de diversas considerações técnicas, que vão além das propriedades mecânicas, incorporando também aspectos econômicos. O alumínio 7075, reconhecido como uma liga de alta resistência destaca-se por suas características excepcionais, tornando-o ideal para aplicações de alto desempenho.

Do ponto de vista técnico, o alumínio 7075 apresenta uma relação notável entre resistência e peso, sendo aproximadamente um terço mais leve que o aço 1045, enquanto mantém uma resistência considerável. Esta característica é de suma importância para componentes automotivos, especialmente em motocicletas de alto desempenho, onde a redução de peso pode trazer benefícios para o desempenho da motocicleta.

Resumindo, a escolha do alumínio 7075 foi respaldada por uma avaliação técnica abrangente, considerando não apenas as propriedades mecânicas superiores do material, mas também fatores econômicos, como custo e facilidade de processamento. Essa decisão visa otimizar não apenas o desempenho do câster em

termos de resistência e leveza, mas também atender a requisitos práticos e econômicos na fabricação de componentes automotivos de alta performance.

Após a seleção do novo material, incorporamos essa alteração ao projeto do cárter no SolidEdge e realizamos 4 simulações para avaliar o seu comportamento térmico, as figuras abaixo foram retiradas destas simulações e representam como o novo cárter se comporta do ponto de vista térmico:



Com esses parâmetros, geramos uma malha com uma resolução de 5mm e procedemos à resolução do modelo. O resultado obtido foi a temperatura máxima alcançada no novo cárter, aproximadamente 83°C, consideravelmente menor que os 93°C obtidos na coleta de dados do cárter original, comprovando a eficácia das alterações em dissipar o calor do funcionamento do motor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos resultados obtidos neste estudo sobre o comportamento térmico do cárter de óleo do motor Revolution Harley Davidson revela dados significativos que podem orientar melhorias no projeto e desempenho do sistema.

Ao considerarmos as propriedades térmicas dos materiais, o Aço 1045, utilizado originalmente no cárter, apresenta uma condutividade térmica (k) de aproximadamente 45 W/(m\K), uma densidade (ρ) de 7,85 g/cm³ e uma capacidade térmica específica (C_p) de 490J/(g\K). Em contrapartida, o Alumínio 7075 exibe valores superiores, com uma condutividade térmica de cerca de 130 W/(m\K), uma densidade de 2,81 g/cm³ e uma capacidade térmica específica de 900J/(g\K).

Durante a análise, as variações nos termopares foram consideradas e normalizadas ($T_{normalizado} = \frac{T - T_{mínimo}}{T_{máximo} - T_{mínimo}}$), garantindo a precisão dos resultados. Essa etapa é importante, pois variações nos sensores podem impactar diretamente nos cálculos térmicos, e a normalização dos dados serviu para proporcionar uma base para compreender as diferenças entre os materiais e assegurar a consistência dos resultados ao longo da análise.

Ao analisar a mudança de material do cárter juntamente com os dados retirados dos sensores, observamos um aumento de aproximadamente 5% na quantidade de calor transferida pelo sistema.

Esta análise foi realizada através da equação da quantidade de calor transferida (Q):

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Onde:

- Q representa a quantidade de calor transferida,
- m é a massa do material em questão,
- C_p é a capacidade térmica a pressão constante do material, e
- ΔT é a mudança de temperatura.

Ao empregar a fórmula em conjunto com os dados previamente obtidos, podemos calcular e analisar os resultados de maneira mais precisa.

	Aço 1045	Al 7075
Q (KJ)	174,76	182,72
m (Kg)	3,835	2,183
Cp (J/(kg°C))	490	900
ΔT (°C)	93	93

Ao aplicarmos a Lei de Fourier estendida para avaliar o impacto das aletas no sistema, aliadas à mudança de material, utilizamos a equação:

$$Q = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{d}$$

Onde:

- Q: Quantidade de calor transferida por condução térmica.
- k: Condutividade térmica do material.
- A: Área através da qual o calor é transferido.
- ΔT: Diferença de temperatura através do material.
- d: Espessura do material.

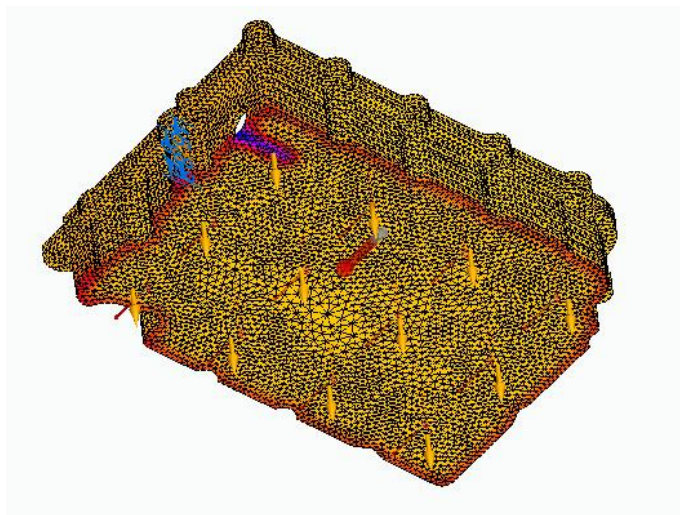
Empregando ela, temos:

	Aço 1045	Al 7075
Q (KW)	24,31647	48,78304
k (W/m°C)	54	130
A (m²)	0,038736	0,038736
ΔT (°C)	93	93
d (m)	0,008	0,0096

A análise revela um aumento expressivo de 101% na quantidade de calor transferida pela condução térmica, evidenciando a eficácia da adição das aletas à alteração de material.

Após realizarmos os cálculos, simulamos o novo cárter no módulo de condução térmica do Solid Edge. Com isso obtivemos que as áreas mais afetadas pelo calor são o bujão de óleo e as extremidades do sistema. A figura 23 foi retirada da simulação do comportamento térmico do cárter:

Figura 23 - Simulação do comportamento térmico do cárter



Com base nos dados e nas simulações, este trabalho propõe um aumento de 10 mm na altura do cárter como estratégia para otimizar o desempenho térmico do sistema do motor Revolution Harley Davidson. Essa modificação não apenas visa proporcionar uma capacidade adicional de óleo de 0,695L para uma dissipação mais eficiente do calor, reduzindo a probabilidade de superaquecimento em condições operacionais exigentes, mas também tem implicações significativas na dinâmica do motor durante acelerações rápidas.

A expansão do volume de óleo desempenha um papel crítico durante operações de acelerações rápidas. Nesses cenários, aumenta-se a necessidade de uma lubrificação eficaz, e um volume adicional de óleo contribui para a formação de um filme mais consistente entre as partes móveis do motor. Esse filme de óleo atua como uma barreira protetora, reduzindo o atrito e o desgaste, e proporcionando uma

camada extra de resfriamento. Assim, além de seu impacto na gestão térmica, o aumento no volume de óleo resultante da elevação do cárter também contribui para a estabilidade operacional e a longevidade do motor, especialmente em situações de demanda de potência rápida e intensa.

Dessa forma, a proposta de modificação não se limita apenas à gestão térmica eficiente, mas se estende a melhorias substanciais na resposta dinâmica do motor em situações de acelerações rápidas, reforçando a abordagem abrangente para otimização do desempenho do sistema.

Para verificar o impacto da variação de temperatura do óleo em sua viscosidade, nos baseamos na equação de Arrhenius, que associa a viscosidade do óleo com sua temperatura, e pode ser descrita como:

$$\nu = \nu_0 \cdot e^{\beta(T_{\text{óleo}} - T_0)}$$

Onde:

- **ν** é a viscosidade do óleo,
- **ν_0** é a constante de frequência ou a pré-exponencial, representando a taxa de reação na temperatura de referência T_0 ,
- **β** é o fator de temperatura ou fator de Arrhenius, relacionado à sensibilidade da taxa de reação à temperatura,
- **T** é a temperatura absoluta,
- **T_0** é a temperatura de referência em Kelvin,
- **e** é a base do logaritmo natural, aproximadamente 2.71828.

Os dados “ ν_0 ” e “ β ” são variáveis que dependem do fabricante de cada óleo, como base utilizamos o óleo mineral 20w50 da fabricante Motul para calcular a variação de viscosidade antes e depois das modificações no cárter, com isso, realizamos os seguintes cálculos:

Antes da modificação, o pico de temperatura do cárter foi de 93°C, ao substituir na fórmula, pudemos verificar que a viscosidade do óleo é de **34,585mm²/s**.

Após a modificação, o pico de temperatura do cárter foi de 86°C, e ao utilizar a mesma fórmula obtivemos uma viscosidade de **49,770mm²/s**.

Isto significa que o óleo fica mais viscoso em uma temperatura inferior, o que significa que ele deverá ser mais eficaz em proteger as peças móveis do motor durante o funcionamento do mesmo, aumentando sua vida útil (EGBOGAH; NG, 1990).

5. CONCLUSÕES

Considerando os dados apresentados, podemos concluir que a modificação proposta gera uma melhora considerável no arrefecimento do motor. A estimativa de aumento na taxa de dissipação de calor após alterar o material de fabricação do cárter para Alumínio 7075 foi de 5%. Ao adicionar as aletas e aplicarmos a Lei de Fourier estendida, verificamos que a transferência de calor por condução aumentou 101% em comparação com a superfície original do cárter. Isso significa que teremos uma melhor transferência do calor do óleo para o cárter, e por consequência aumentando a vida útil do motor, pois a viscosidade do óleo e consequentemente a sua eficácia em evitar o desgaste prematuro das peças móveis está diretamente ligado à sua temperatura.

Porém deve-se levar em conta que, o alumínio 7075 apresenta uma redução de 38,8% na resistência a tração e uma redução 96,8% na resistência a compressão do que o aço 1045 e, se tratando de uma peça de suma importância como o cárter, a perda de resistência pode ocasionar problemas e caso haja algum impacto, poderá ocasionar trincas ou até mesmo a perfuração do mesmo durante o funcionamento do motor o que acarretará no vazamento do fluido lubrificante do motor.

Também concluímos que a viscosidade do óleo é diretamente afetada por sua temperatura e, neste caso, terá um aumento considerável, o que traz benefícios para a vida útil do motor.

Para trabalhos futuros, sugerimos a usinagem da peça que foi simulada neste estudo e posteriormente a utilização do mesmo método de coleta de dados para verificar a precisão das simulações.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERT SALADINI; SZYMEZAK, P. **Harley Davidson - A Way of Life**. [S. l.: s. n.], 2012.

ALI, A. S.; ZANZINGER, Z.; DEBOSE, D.; STEPHENS, B. Open Source Building Science Sensors (OSBSS): A low-cost Arduino-based platform for long-term indoor environmental data collection. **Building and Environment**, vol. 100, p. 114–126, 2016. DOI 10.1016/j.buildenv.2016.02.010. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.02.010>.

ALVES, M. D. A. T. D. **THE STRATEGIC DRIVERS OF THE “REVOLUTION.”** [S. l.: s. n.], 2013.

AQUINO, J. A.; DA SILVA, J. A. RESULTADOS DE MEDIDAS DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE METAIS OBTIDOS PELO MÉTODO FLUXIMÉTRICO EM APARATO EXPERIMENTAL DE BAIXO CUSTO Josué Alexandre Aquino¹, José Antônio da Silva² ¹. , p. 12, 2015. .

BALAJI, C.; SRI JAYARAM, K.; VENKATESHAN, S. P. Thermodynamic optimization of tubular space radiators. **Journal of thermophysics and heat transfer**, vol. 10, no. 4, p. 705–707, 1996. <https://doi.org/10.2514/3.850>.

BARBIERI, S. G.; GIACOPINI, M.; MANGERUGA, V.; MANTOVANI, S. Design of an Additive Manufactured Steel Piston for a High Performance Engine: Developing of a Numerical Methodology Based on Topology Optimization Techniques. **SAE International Journal of Engines**, vol. 11, no. 6, p. 1139–1150, 2018. <https://doi.org/10.4271/2018-01-1385>.

BASKAYA, S.; SIVRIOGLU, M.; OZEK, M. Parametric study of natural convection heat transfer from horizontal rectangular fin arrays. **International Journal of Thermal Sciences**, vol. 39, no. 8, p. 797–805, 2000. [https://doi.org/10.1016/S1290-0729\(00\)00271-4](https://doi.org/10.1016/S1290-0729(00)00271-4).

BENAJES, J.; NOVELLA, R.; DE LIMA, D.; TRIBOTTÉ, P.; QUECHON, N.; OBERNESSER, P.; DUGUE, V. Analysis of the combustion process, pollutant emissions and efficiency of an innovative 2-stroke HSDI engine designed for automotive applications. **Applied Thermal Engineering**, vol. 58, no. 1–2, p. 181–193, 2013. DOI 10.1016/j.applthermaleng.2013.03.050. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.03.050>.

BLARIGAN, P. Van. ADVANCED INTERNAL COMBUSTION ENGINE RESEARCH Peter Van Blarigan Sandia National Laboratories Livermore, CA 94550. **DOE Hydrogen Program Review**, no. Williams 1996, p. 1–19, 2000. .

BRUNETTI, F. **Franco Brunetti -motores-de-combustao-interna-vol-1 2013**. [S. l.: s. n.], 2013.

CHARLES, R.; WANG, C. C. A novel heat dissipation fin design applicable for natural convection augmentation. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, vol. 59, p. 24–29, 2014. DOI 10.1016/j.icheatmasstransfer.2014.10.014. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2014.10.014>.

CHUN, S. M. Network analysis of an engine lubrication system. **Tribology International**, vol. 36, no. 8, p. 609–617, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0301-679X\(02\)00266-9](https://doi.org/10.1016/S0301-679X(02)00266-9).

CHUN, Sang Myung; PARK, Y. H.; JANG, S. A study on engine lubrication system by optimized network analysis - Part I: Case study. **SAE Technical Papers**, vol. 109, p. 2787–2798, 2000. <https://doi.org/10.4271/2000-01-2921>.

COMPANY, H. M. **Manual de serviço dos modelos Sportster Harley-Davidson ano 2011**. [S. l.: s. n.], 2011.

COSTAGLIOLA, M. A.; PRATI, M. V.; FLORIO, S.; SCORLETTI, P.; TERNA, D.; IODICE, P.; BUONO, D.; SENATORE, A. Performances and emissions of a 4-stroke motorcycle fuelled with ethanol/gasoline blends. **Fuel**, vol. 183, no. 2016, p. 470–477, 2016. DOI 10.1016/j.fuel.2016.06.105. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2016.06.105>.

CRO, N. P. R. **Modelo para Simulação Computacional do Ciclo Termodinâmico de Motores de Combustão Interna com Ignição por Centelha Modelo para Simulação Computacional do Ciclo Termodinâmico de Motores de Combustão Interna com Ignição por Centelha**. 2014. 136 f. 2014.

DARWIN HOLMSTROM, HERBERT WAGNER, JERRY H. HATFIELD, GREG FIELDS, A. G. **Harley-Davidson - The complete History**. [S. l.: s. n.], 2016.

DE BOTTON, G.; BEN-ARI, J.; SHER, E. Vibration monitoring as a predictive maintenance tool for reciprocating engines. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering**, vol. 214, no. 8, p. 895–903, 2000. <https://doi.org/10.1243/0954407001527943>.

DEKANSKI, C. W.; WILSON, M. J. A parametric model of a 2-stroke engine for design and analysis. vol. 7825, no. 96, 1996. .

DONAHUE, R.; FABIYI, P. A. Manufacturing feasibility of all-aluminum automotive engines via application of high silicon aluminum alloy. **SAE Technical Papers**, vol. 109, no. 2000, p. 16–26, 2000. <https://doi.org/10.4271/2000-01-0061>.

DUDAREVA, N. Y.; ENIKEEV, R. D.; IVANOV, V. Y. Thermal Protection of Internal Combustion Engines Pistons. **Procedia Engineering**, vol. 206, p. 1382–1387, 2017. DOI 10.1016/j.proeng.2017.10.649. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.649>.

EGBOGAH, E. O.; NG, J. T. An improved temperature-viscosity correlation for crude oil systems. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, vol. 4, no. 3, p. 197–200, 1990. [https://doi.org/10.1016/0920-4105\(90\)90009-R](https://doi.org/10.1016/0920-4105(90)90009-R).

ESTADÃO. Honda CG 160 Titan. **Estadão**, 2023. .

FERMI, E. THERMODYNAMICS. **Thermodynamics and Statistical Mechanics**, 2014. .

GULZAR, M.; MASJUKI, H. H.; KALAM, M. A.; VARMAN, M.; RIZWANUL FATTAH, I. M. Oil filter modification for biodiesel-fueled engine: A pathway to lubricant sustainability and exhaust emissions reduction. **Energy Conversion and Management**, vol. 91, p. 168–175, 2015. DOI 10.1016/j.enconman.2014.11.055.

Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.11.055>.

HASHIM, N. M. Z.; MAZLAN, S. R.; ABD AZIZ, M. Z. A.; SALLEH, A.; JA'AFAR, A. S.; MOHAMAD, N. R. Agriculture monitoring system: A study. **Jurnal Teknologi**, vol. 77, no. 1, p. 53–59, 2015. <https://doi.org/10.11113/jt.v77.4099>.

KARAMI, M.; MCMORROW, G. V.; WANG, L. Continuous monitoring of indoor environmental quality using an Arduino-based data acquisition system. **Journal of Building Engineering**, vol. 19, p. 412–419, 2018. DOI 10.1016/j.jobe.2018.05.014. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.05.014>.

KHANI, F.; AZIZ, A. Thermal analysis of a longitudinal trapezoidal fin with temperature-dependent thermal conductivity and heat transfer coefficient. **Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation**, vol. 15, no. 3, p. 590–601, 2010. DOI 10.1016/j.cnsns.2009.04.028. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cnsns.2009.04.028>.

MAJI, A.; CHOUBEY, G. Improvement of heat transfer through fins: A brief review of recent developments. **Heat Transfer**, vol. 49, no. 3, p. 1658–1685, 2020. DOI 10.1002/htj.21684. Available at: <http://dx.doi.org/10.1002/htj.21684>.

MIKALSEN, R.; ROSKILLY, A. P. A review of free-piston engine history and applications. **Applied Thermal Engineering**, vol. 27, no. 14–15, p. 2339–2352, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.03.015>.

MIRAPALLI, S.; P. S, K. Heat Transfer Analysis on a Triangular Fin. **International Journal of Engineering Trends and Technology**, vol. 19, no. 5, p. 279–284, 2015. <https://doi.org/10.14445/22315381/ijett-v19p249>.

MYAGKOV, L. L.; MAHKAMOV, K.; CHAINOV, N. D.; MAKHKAMOVA, I. **Advanced and conventional internal combustion engine materials**. [S. l.: s. n.], 2014. <https://doi.org/10.1533/9780857097422.2.370>.

NAYYAR, A.; PURI, V. Smart farming: IoT based smart sensors agriculture stick for live temperature and moisture monitoring using arduino, cloud computing & solar technology. **Communication and Computing Systems - Proceedings of the International Conference on Communication and Computing Systems, ICCCS 2016**, no. October, p. 673–680, 2017. <https://doi.org/10.1201/9781315364094-121>.

NGUYEN, H. **Manufacturing Processes and Engineering Materials Used in Automotive Engine Block**. 2005. 11–23 f. 2005.

PEDROSO, F. Renault Kwid 2024: preços, versões, equipamentos e consumo. **Auto esporte**, 2023. .

RAMASAMY, D.; GOH, C. Y.; KADIRGAMA, K.; BENEDICT, F.; NOOR, M. M.; NAJAFI, G.; CARLUCCI, A. P. Engine performance, exhaust emission and combustion analysis of a 4-stroke spark ignited engine using dual fuel injection. **Fuel**, vol. 207, p. 719–728, 2017. DOI 10.1016/j.fuel.2017.06.065. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2017.06.065>.

RICHARD E. SONNTAG, G. V. W. **Fundamentos da Termodinâmica**. [S. l.: s. n.], 2009. vol. 1, . Available at: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=Z4uEDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT69&dq=Fundamentos+da+Termodinâmica&ots=l3hMvh9r8g&sig=Fz8BKNHVloA5jObM_oZq-

hdFQIU#v=onepage&q=Fundamentos da Termodinâmica&f=false.

SALONITIS, K.; JOLLY, M.; PAGONE, E.; PAPANIKOLAOU, M. Life-cycle and energy assessment of automotive component manufacturing: The dilemma between aluminum and cast iron. **Energies**, vol. 12, no. 13, 2019. <https://doi.org/10.3390/en12132557>.

SHAERI, M. R.; YAGHOUBI, M.; JAFARPUR, K. Heat transfer analysis of lateral perforated fin heat sinks. **Applied Energy**, vol. 86, no. 10, p. 2019–2029, 2009. DOI 10.1016/j.apenergy.2008.12.029. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.12.029>.

SHINODA, J.; KAZANCI, O. B.; TANABE, S. ichi; OLESEN, B. W. A review of the surface heat transfer coefficients of radiant heating and cooling systems. **Building and Environment**, vol. 159, no. May, p. 106156, 2019. DOI 10.1016/j.buildenv.2019.05.034. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.05.034>.

SHOJAEFARD, M. H.; GHAFFARPOUR, M. R.; NOORPOOR, A. R.; ALIZADEHNIA, S. Thermomechanical analysis of an engine cylinder head. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering**, vol. 220, no. 5, p. 627–636, 2006. <https://doi.org/10.1243/09544070JAUTO182>.

SIEGAL, M. **Harley-Davidson: A History of the World's Most Famous Motorcycle**. [S. l.: s. n.], 2014.

STRATTON, D. G.; STRINGER, R. E.; TAYLOR, S. R. G. Engine Cooling System Design and Development. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers: Automobile Division**, vol. 180, no. 1, p. 221–235, 1965. https://doi.org/10.1243/pime_auto_1965_180_023_02.

VOLCKENS, J.; BRADDOCK, J.; SNOW, R. F.; CREWS, W. Emissions profile from new and in-use handheld, 2-stroke engines. **Atmospheric Environment**, vol. 41, no. 3, p. 640–649, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.08.033>.

WILSON, H. **Ultimate Harley Davidson**. [S. l.: s. n.], 2021.

WRIGHT, D. K. **The Harley-Davidson Motor Company An Official Eighty-year History**. [S. l.: s. n.], 1987.

ZHANG, Y.; ZHAO, H. Investigation of combustion, performance and emission characteristics of 2-stroke and 4-stroke spark ignition and CAI/HCCI operations in a DI gasoline. **Applied Energy**, vol. 130, p. 244–255, 2014. DOI 10.1016/j.apenergy.2014.05.036. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.05.036>.

7. APÊNDICE

Apêndice A: Código fonte do Arduino

```
#include <LiquidCrystal.h>

#include <SPI.h>

#include <SD.h>

const int SO = 2;      // MISO - Master Input, Slave Output - Para MAX6675
const int SCLK = 3;    // SCLK - Serial Clock line - Para MAX6675
const int CS1 = A3;    // CS1 - Chip Select 1 - Para MAX6675
const int CS2 = A2;    // CS2 - Chip Select 2 - Para MAX6675
const int chipSelect = 10; // CS do cartão de memória
double sensor1 = 0;    // Variável para o sensor 1
double sensor2 = 0;    // Variável para o sensor 2

// MOSI - pin 11 no Arduino
// MISO - pin 12 no Arduino
// CLK - pin 13 no Arduino
// CS - pin 10 no Arduino

// Declaração dos pinos do LCD - RS, E, D4, D5, D6, D7, D8,
LiquidCrystal lcd(9, 8, 4, 5, 6, 7);

// Declara dataFile como arquivo para salvar no SD
File dataFile;
```

```

// Gera um simbolo de graus
uint8_t degree[8] = {140, 146, 146, 140, 128, 128, 128, 128};

// Protótipo de funções
byte SPIRead(void);
double readThermocouple(int ChipSelect);
void storeSD();

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    // Declaração do modo como as portas irão operar
    pinMode(CS1, OUTPUT);
    pinMode(CS2, OUTPUT);
    pinMode(SCLK, OUTPUT);
    pinMode(SO, INPUT);
    digitalWrite(CS1, HIGH);
    digitalWrite(CS2, HIGH);

    lcd.begin(16, 2);
    lcd.createChar(0, degree);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Inicializando...");
    delay(1000);

    // Confere se o cartão está presente e operante
    if (!SD.begin(chipSelect)) {
        lcd.setCursor(0, 0);

```

```

lcd.print("Falha no cartao ");
return;
}

lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Cartao OK    ");
delay(500);
}

void loop() {
  lcd.clear();           // Limpa o display

  // Linha 0, coluna 0
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Sensor1: ");
  sensor1 = readThermocouple(CS1);
  lcd.print(sensor1, 1);
  lcd.write((byte)0);
  lcd.print("C");

  // Linha 1, coluna 0
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Sensor2: ");
  sensor2 = readThermocouple(CS2);
  lcd.print(sensor2, 1);
  lcd.write((byte)0);
  lcd.print("C");
}

```

```

storeSD();    // Função que faz o armazenamento das leituras no SD

delay(10000); // Aguarda 10 Segundos para uma nova leitura e armazenamento no
cartão

}

/*****/

// Função para armazenamento dos dados de leitura feitos anteriormente
/*****/

void storeSD() {
// Formata os dados para serem salvos no Cartão SD a cada 1 segundo

String dataString = "";    // Declara uma string para salvar os dados no SD
dataString += "Sensor1: ";
dataString += String(sensor1);    // Valor da leitura do sensor 1
dataString += " °C ";
dataString += "Sensor2: ";
dataString += String(sensor2);    // Valor da leitura do sensor 2
dataString += " °C";

// Abre o arquivo, escreve e o fecha novamente
dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);

// Se o arquivo esta presente, escreve no mesmo
if (dataFile) {
dataFile.println(dataString);
dataFile.close();
}

// Se o arquivo não abrir, indica no display

```



```

else {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Falha ao abrir ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("o arquivo no SD ");
}
}

/*****/

// Função para leitura dos dados de temperatura provindos do MAX6675

/*****/

double readThermocouple(int ChipSelect) {
    uint16_t v;      // Declara variável de 16 bits - Tamanho ideal para o dado entregue
                    // pelo MAX
    digitalWrite(ChipSelect, LOW);
    _delay_ms(1);
    v = SPIRead();    // Leitura da parte alta - Primeiros 8 bits de dados
    v <= 8;           // Desloca 8 posições para a esquerda
    v |= SPIRead();   // Faz leitura da parte baixo e armazena nos 8 primeiros bits através
                    // de uma OR
    digitalWrite(ChipSelect, HIGH);

    // Confere o bit 2 para termopar acoplado ou não
    if (v & 0x4) {
        return NAN;
    }

    v >= 3;          // Descarta os 3 primeiros bits, onde apenas o bit 2 carrega o status e
                    // lê do bit 3 ao 14

    return v * 0.25; // Multiplica pela resolução do MAX
}

```

```
}
```

```
/*****/
```

```
// Função que implementa um "SPI" via Software para leitura dos dados no MAX6675
```

```
/*****/
```

```
byte SPIRead(void) {
```

```
int i;
```

```
byte d = 0;
```

```
// Laço FOR para apanhar 8 bits de cada vez
```

```
for (i = 7; i >= 0; i--)
```

```
{
```

```
digitalWrite(SCLK, LOW); // Borda de descida do clock - Falling Edge
```

```
_delay_ms(1);          // Aguarda 1ms
```

```
if (digitalRead(SO)) { // Faz a leitura do pino de dados de saída do MAX
```

```
d |= (1 << i);          // Armazena os bits lidos, 0 ou 1, na variável e desloca de acordo  
com o índice para
```

```
} // preencher todo o byte de dados
```

```
digitalWrite(SCLK, HIGH); // Borda de subida do clock - Rising Edge
```

```
_delay_ms(1);          // Aguarda 1ms
```

```
}
```

```
return d;               // Retira o byte de leitura dos dados lidos do MAX
```

```
}
```