

**INSTITUTO
FEDERAL**
Minas Gerais

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS - *CAMPUS ARCOS*
ENGENHARIA MECÂNICA

Ana Helena do Rosário Matias Gonçalves

Filipe Morais Frade de Faria

Guilherme Bezerra de Faria

Joice Paloma Faria

Marcella Moura Vieira e Silva

Trabalho Acadêmico Integrador III

Motor Radial

Arcos-MG

Junho/2018

Ana Helena do Rosário Matias Gonçalves

Filipe Morais Frade de Faria

Guilherme Bezerra de Faria

Joice Paloma Faria

Marcella Moura Vieira e Silva

Trabalho Acadêmico Integrador III

Motor Radial

Relatório apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG), referente ao Trabalho Acadêmico Integrador, como requisito parcial para aprovação em todas as disciplinas ministradas no 3º período do Curso de Engenharia Mecânica.

Instituto Federal de Minas Gerais

Campus Arcos

Engenharia Mecânica

Orientador: Márcio Rezende Santos

Arcos-MG

Junho/2018

Ana Helena do Rosário Matias Gonçalves
Filipe Morais Frade de Faria
Guilherme Bezerra de Faria
Joice Paloma Faria
Marcella Moura Vieira e Silva

Trabalho Acadêmico Integrador III Motor Radial

Andressa Alves Giarola

Flávio Fernandes Barbosa Silva

Jefferson Rodrigues da Silva

Luiz Augusto Ferreira de Campos
Viana

Márcio Rezende Santos

Reginaldo Gonçalves Leão Junior

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por nos dar força, capacidade e conhecimento para completar mais um período finalizando o TAI III.

Agradecemos também aos professores, pelo conhecimento compartilhado conosco.

Às nossas famílias, amigos e a todos que contribuíram de alguma maneira para o desenvolvimento deste projeto.

RESUMO

O motor radial foi utilizado na Segunda Guerra Mundial, devido a necessidade de aviões com uma boa relação peso-potência e alta velocidade. Porém, ele apresentou problemas mecânicos e por isso atualmente é pouco utilizado na aviação. Em busca de possíveis soluções é necessário abordar um breve estudo de seu funcionamento como conceitos estáticos e dinâmicos. Inicialmente o estudo aborda alguns conceitos estáticos dos componentes do motor radial de sete cilindros alternativo, sendo eles, o pistão, a biela e o virabrequim. Para tais atividades, são utilizados conceitos, fórmulas, tabelas, softwares computacionais, além de outras ferramentas da engenharia.

Palavras-chave: motor, radial, sete cilindros, alternativo.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Motor W670.	11
Figura 2 – Cárter	12
Figura 3 – Biela mestra.	12
Figura 4 – Pistão.	13
Figura 5 – Virabrequim de manivela única.	13
Figura 6 – Válvulas de admissão e escapamento	14
Figura 7 – Processo de combustão de ciclo otto	15
Figura 8 – Pistões danificados	17
Figura 9 – Curva pressão volume do ciclo otto	20
Figura 10 – Corte circular das chapas de madeira.	22
Figura 11 – Montagem das peças de interesse.	23
Figura 12 – Protótipo finalizado.	23
Figura 13 – Cronograma	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química.	16
Tabela 2 – Características e propriedades mecânicas do aço SAE 4340.	17
Tabela 3 – Dados do protótipo	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVOS	9
2.1	Objetivo geral	9
2.2	Objetivo específico	9
3	JUSTIFICATIVA	10
4	REFERENCIAL TEÓRICO	11
4.1	Principais componentes do motor	11
4.1.1	Cárter	12
4.1.2	Biela	12
4.1.3	Pistão	13
4.1.4	Virabrequim	13
4.1.5	Válvulas e Comando de Válvulas	14
4.2	Ciclo otto	14
5	METODOLOGIA	16
5.1	Propriedades dos materiais utilizados nos componentes do motor radial	16
5.2	Reação de Combustão que ocorre no motor radial continental W670	18
5.3	Trabalho Realizado em um ciclo Otto	19
5.4	Momento de Inércia da massa do virabrequim	21
5.5	Construção do protótipo	21
6	CONCLUSÃO	24
	REFERÊNCIAS	25
	APÊNDICE A – DESENHO TÉCNICO DO PROTÓTIPO	26
	APÊNDICE B – TABELAS	27
	ANEXO A – MOMENTO DE INÉRCIA DA MASSA DO VIRA- BREQUIM	28

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda um breve estudo dos componentes de um motor radial de sete cilindros, sendo eles, pistão, biela e virabrequim. Inicialmente são apresentados o funcionamento de cada componente estudado neste trabalho, em seguida são abordados os conceitos estáticos e as reações que ocorrem devido ao ciclo otto, onde pode ocorrer vários problemas devido ao tempo de trabalho ou uma falha de manutenção no motor.

O motor utilizado como referência é o Continental W670, o motivo da escolha foi por ele conter 7 cilindros e utilizado em aviões durante a Segunda Guerra Mundial, tornando possível compreender a reação da combustão, comprovando a importância da química no funcionamento do motor, também, a eficiência da mistura combustível-ar, quais gases são gerados na sua queima e o estudo no AÇO SAE 4340, utilizado na fabricação das peças do Motor.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é apresentar o funcionamento do motor radial e sua pertinência para a engenharia.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- O estudo estático dos componentes pistão , biela e virabrequim.
- Criação de um protótipo para demonstração do movimento do movimento do Motor Radial.
- Uso das medidas do protótipo para auxiliar em cálculos e visualização.

3 JUSTIFICATIVA

Os motores radiais foram desenvolvidos antes e durante a primeira guerra mundial. Eles eram utilizados em aviões militares pela sua boa relação peso-potência e confiabilidade em serviços, apresentavam grandes vantagens como refrigeração por ar e alta velocidade de trabalho. Mas, algumas desvantagens foram observadas, como sua grande área frontal, quando comparada a outros motores, o alto consumo de óleo lubrificante, fragilidade da biela central e do cilindro, e o princípio de vazamentos. Em proporção aos fatores que causavam desvantagens nos motores radiais, houve um declínio na sua utilização, gerando uma mudança no seu tamanho e concertando problemas de consumo, sendo atualmente utilizados em aviões de pequeno porte, geradores de energia elétrica, e em algumas motocicletas modificadas (TAYLOR, 1971).

O desenvolvimento do estudo estático e dinâmico do motor radial, é o princípio para adquirir uma visão e um breve conhecimento do seu funcionamento mecânico, que se inicia pelos componentes que recebem a ação do ciclo otto, pistão, biela e virabrequim. Este estudo é necessário para que se possa projetar, fazer manutenções e até mesmo fazer melhorias.

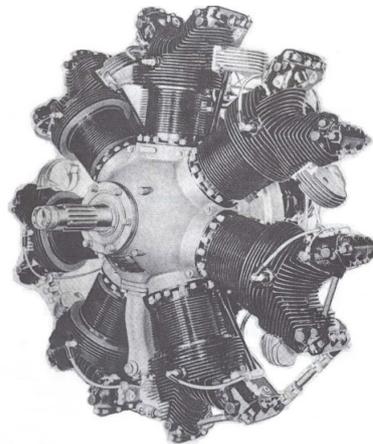
4 REFERENCIAL TEÓRICO

Os motores radiais ou estrela, tem como principal característica a disposição radial dos cilindros. Eles constituíram uma eficiente solução técnica para equipar aviões, em razão da boa relação peso-potência. Para o estudo estático do motor radial, foi necessário definir um modelo de motor. Ficou decidido utilizar o Continental W670 como referência, por ser um dos motores mais utilizados desse tipo, pois é considerado um dos motores mais confiáveis e eficientes desse tipo. Esse motor utiliza de um sistema de sete cilindros, foi muito utilizado durante a segunda guerra mundial e ainda hoje tem aplicações na área rural. (REIS, 2009)

4.1 PRINCIPAIS COMPONENTES DO MOTOR

O motor radial Continental W670, tem como princípio de construção uma disposição de cilindros em torno de um cárter, que fica no centro. Com os anos de uso, mostrou ser um motor digno de confiança, com bastante durabilidade e confiabilidade. Contam com carreiras de sete cilindros e com potência de 3800 cavalos de força (REIS, 2009).

Figura 1 – Motor W670.



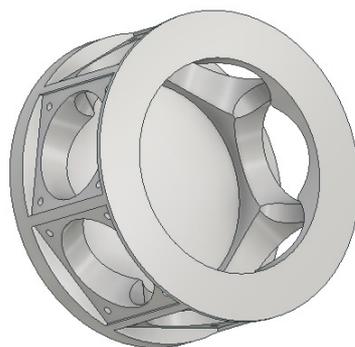
Fonte: (REIS, 2009)

As peças básicas do motor são: O cárter, as bielas, os pistões, o comando de válvulas e o virabrequim. Para melhor entender o funcionamento do motor radial é necessário ter um apanhado de cada delas.

4.1.1 CÁRTER

Cárter é um recipiente metálico, onde fica estocado o óleo lubrificante, seu objetivo é acumular a quantidade necessária de óleo para garantir a lubrificação do motor enquanto está funcionando. (BRUNETTI, 2012)

Figura 2 – Cárter



Fonte: Próprios autores

4.1.2 BIELA

Biela é um elo que transmite as forças exercidas pelo pistão para o virabrequim. As bielas devem ser bastante rígidas, porém, leves, para reduzir as forças de inércia, as quais são produzidas quando a haste e pistão param, invertem a direção e começam um novo movimento ao fim de cada curso. No caso do motor radial, são utilizados dois tipos de biela: a biela mestra e a biela comum (REIS, 2009).

Figura 3 – Biela mestra.



Fonte: Próprios autores

A biela mestra é o elo de ligação entre as bielas comuns. Todos os outros pistões da fileira são conectados à biela mestra por meio de uma biela comum (REIS, 2009).

4.1.3 PISTÃO

O pistão é a parte do motor que se move para cima e para baixo dentro do cilindro de aço. Esse movimento é causado pela explosão de combustível. Conforme o pistão se move para baixo no cilindro, ele aspira a mistura ar/combustível. Na medida em que ele se move para cima, comprime a carga, ocorre a ignição e os gases em expansão forçam o pistão para baixo (REIS, 2009).

Figura 4 – Pistão.



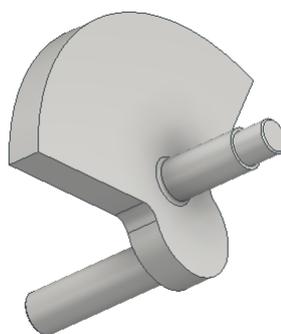
Fonte: Próprios autores

A maioria dos pistões de motores de aeronaves são usinados de forjamentos de liga de alumínio (REIS, 2009).

4.1.4 VIRABREQUIM

O virabrequim é a espinha dorsal dos motores radiais. Ele está sujeito à maioria das forças desenvolvidas pelo motor. Seu objetivo principal, é transformar o movimento alternativo do pistão e da biela em movimento rotativo (REIS, 2009).

Figura 5 – Virabrequim de manivela única.



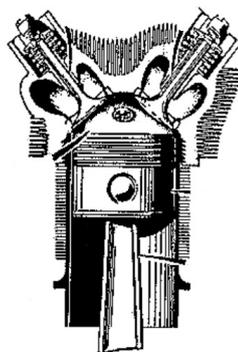
Fonte: Próprios autores

O virabrequim mais simples é exatamente o de manivela única ou de 360°. Esse tipo, é o usado em motores radiais de uma só carreira de cilindros. Pode ser construído em uma ou duas peças. Dois rolamentos principais (um em cada extremidade) são requeridos quando esse tipo de virabrequim é usado (REIS, 2009).

4.1.5 VÁLVULAS E COMANDO DE VÁLVULAS

A mistura ar/combustível entra nos cilindros através das passagens das válvulas de admissão, e os gases queimados são expelidos através das passagens das válvulas de escapamento (REIS, 2009).

Figura 6 – Válvulas de admissão e escapamento



Fonte: (REIS, 2009)

Ambas as válvulas são acionadas por meio de um sistema, que faz com que cada válvula abra no tempo certo, permaneça aberta pelo espaço de tempo requerido e feche no tempo definido. Para que isso aconteça o motor radial conta com um sistema único de acionamento, que consiste em duas saliências descentradas que ficam ligadas a uma roda de acionamento, fazendo com que cada saliência acione uma válvula (admissão e exaustão) de cada vez (REIS, 2009).

4.2 CICLO OTTO

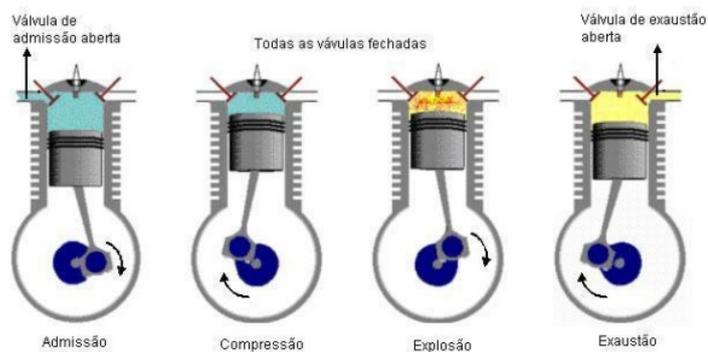
Segundo BOLES e ÇENGEL (2013), o ciclo otto é o ciclo ideal dos motores alternativos de ignição por centelha.

Como os motores radiais, são considerados motores alternativos, e utilizam o ciclo otto como princípio de funcionamento, desta forma, a ignição do mesmo é feita por meio de centelha. E cada pistão executa quatro cursos completos (dois ciclos mecânicos). Inicialmente, ambas as válvulas estão fechadas e o pistão está na posição Ponto Morto Inferior. Durante o tempo de compressão o pistão move-se para cima comprimindo o ar e o combustível. Logo após, o pistão atinge o Ponto Morto Superior, a vela solta faíscas

e a mistura sofre ignição, aumentando a pressão e temperatura dentro do sistema. Os gases à alta pressão forçam o pistão para baixo forçando o virabrequim a girar produzindo trabalho, depois deste processo considera-se o fim do primeiro ciclo mecânico.

Após este processo, se inicia o segundo ciclo mecânico, onde o pistão move-se para cima mais uma vez, expulsando os gases de exaustão pela válvula de descarga, e uma segunda vez para baixo sugando a mistura do ar fresco e combustível pela válvula de admissão

Figura 7 – Processo de combustão de ciclo otto



Fonte: (TILLMANN, 2013)

5 METODOLOGIA

5.1 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS UTILIZADOS NOS COMPONENTES DO MOTOR RADIAL

O aço do tipo 4340 é o material mais utilizado na produção das peças de um motor radial, classificados dentro da norma SAE (Society of Automotive Engineers - EUA). As peças do motor radial são submetidas a forças externas, portanto, nessa situação é necessário conhecer as características desse material, e projetar o membro a partir do qual ele é feito para que qualquer deformação resultante não seja excessiva e não cause fratura. Essas informações podem ser adquiridas por análises teóricas e matemáticas de tensões (CALLISTER; RETHWISCH, 2016).

De acordo com Luz (2018) o aço SAE 4340 é composto pelos seguintes elementos químicos apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Composição química.

Elementos	Concentração%
Cromo, Cr	0,70 a 0,90
Níquel, Ni	1,65 a 2,00
Molibdênio, Mo	0,20 a 0,30
Manganês, Mn	0,60 a 0,80
Carbono, C	0,38 a 0,43
Silício, Si	0,15 a 0,35
Enxofre, S	0,04 (max)
Fósforo, P	0,03 (max)
Ferro, Fe	0,10 a 0,90

Fonte: (LUZ, 2018)

O aço SAE 4340 é utilizado nas indústrias aeroespacial, automobilística e nuclear para a fabricação de componentes que estão sujeitos a grandes solicitações mecânicas como, bielas, pistões, eixos, virabrequim e engrenagens.

A figura 8 mostra dois pistões danificados com 11000 km de trabalho por falta de manutenção. Pode-se observar que o pistão 1 foi menos danificado que o pistão 2, devido ao material aplicado na fabricação ter uma melhor resistência mecânica.

Figura 8 – Pistões danificados



Fonte: (BRASIL, 2018)

De acordo com Luz (2018), a tabela 2, mostra os resultados obtidos de ensaio mecânico do aço SAE 4340.

Tabela 2 – Características e propriedades mecânicas do aço SAE 4340.

Densidade	7,85 g/cm ³
Limite de escoamento	470 MPa
Resistência a tração	745 MPa
Módulo elasticidade	190 GPa a 210 GPa
Coefficiente de Poisson	Varia entre 0,27 e 0,30
Alongamento da base de 50 mm	20%
Redução de área	50%
Dureza Brinell	217 HB
Dureza Rockwell B	95 (equivalente a 17 HRC)
Dureza Vickers	228

Fonte: (LUZ, 2018)

A avaliação dos resultados é feita pela comparação dos valores das propriedades obtidas na tabela 2, com os valores mínimos apresentados no livro do CALLISTER e RETHWISCH (2016) de um aço comum à temperatura ambiente. Quando os valores obtidos no ensaio são iguais ou maiores que os especificados, podemos concluir que o aço SAE 4340 apresenta uma alta resistência mecânica, elevados valores de limite de escoamento, tração e dureza.

5.2 REAÇÃO DE COMBUSTÃO QUE OCORRE NO MOTOR RADIAL CONTINENTAL W670

O motor estudado, Continental W670, utiliza como combustível a gasolina. Combustíveis são insumos que enviam calor ao reagirem com o oxigênio, num processo chamado combustão, fazendo que o combustível seja um armazenador de energia.

Quando a mistura combustível-ar é comprimida, sua queima não ocorre de forma espontânea, é preciso que haja um estímulo externo, sendo ele, uma faísca elétrica de alta tensão de, no mínimo, 12000 volts, com corrente entre 40mA e 60mA.

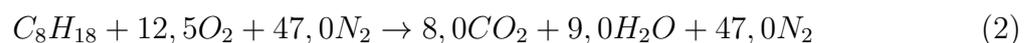
A combustão é uma reação exotérmica, durante ela são formados inúmeros produtos, que são as combinações dos átomos dos reagentes.

Para que a queima do combustível e a expansão dos gases ocorra, produzindo pressão e o trabalho desejados, é necessário que o combustível injetado no motor, seja misturado a uma certa quantidade de ar. formando assim a mistura combustível-ar.

A gasolina é uma mistura de alguns hidrocarbonetos, podendo ser representada de forma geral por:



Assim a proporção de elementos químicos da queima da gasolina é definida na equação:



Se multiplicarmos as quantidades moleculares por seus respectivos números de massa, veremos que a proporção de elementos químicos da mistura combustível-ar é:

$$\text{Combustível} : [C]8 \times 12 + [H]18 \times 1 = 114g \quad (3)$$

$$\text{Ar} : [O]12,5 \times 32 + [N]47 \times 28 = 1716g \quad (4)$$

Combustível:

Proporção de elementos químicos:

$$\frac{1716}{114} = 15,05g$$

Ou seja, são necessárias aproximadamente 15,05 g de ar para cada grama de gasolina inserida no motor.

Passando do ideal para o real, a combustão do motor geralmente é incompleta, pois se entra um valor inferior a 12,5 de O_2 , que é o necessário para a combustão ela não se totaliza, tornando assim uma combustão incompleta.

Os combustíveis possuem inúmeras substâncias químicas que reagem durante a combustão, formando outros elementos. Como o enxofre, que reagindo com o hidrogênio ou com o oxigênio formando (H_2S) e (SO_2).

Na combustão incompleta também são produzidos óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos, aldeídos, particulados e fuligem, sendo produzidos por elementos químicos presentes no ar atmosférico.

Como os motores de combustão interna, produzem trabalho a partir do calor, para que este mecanismo funcione perfeitamente, é preciso que haja uma lubrificação durante o seu ciclo. Sem a correta lubrificação, componentes do motor e seus sistemas, estariam expostos aos atritos secos, que acontecem quando duas superfícies irregulares deslizam sobre a outra.

Lubrificantes são substâncias que se insere nas superfícies em deslocamento, funcionando como uma película evitando ou minimizando o contato entre as superfícies, conseqüentemente possíveis desgastes e atritos, transformando o atrito seco em viscoso.

O desgaste pode ter quatro classificações, sendo elas:

- Adesivo: acúmulo de deformação plásticas, trincas e de-laminação.
- Oxidativo: temperatura + oxigênio + tempo, formando oxido protetor de desgaste leve.
- Corrosivo: formação de produtos de reação química entre os elementos do sistema.
- Fadiga de superfície: tricas no material causada por ciclos de cargas na sua superfície.

5.3 TRABALHO REALIZADO EM UM CICLO OTTO

A função de todo motor é a realização de trabalho. Segundo BOLES e ÇENGEL (2013) o trabalho realizado em um motor de combustão interna ou de ciclo Otto é dado pela área abaixo da curva de um gráfico $P \times V$. Quanto menor o volume dentro da camisa do pistão maior vai ser a temperatura e a pressão naquele ponto, conseqüentemente quanto maior o volume menor a pressão e a temperatura.

A temperatura se torna elevada quando quando o volume é o menor volume possível, pelo fato do sistema estar próximo a explosão, onde gera os gases e o trabalho para movimentar o sistema.

O volume dentro da camisa do pistão é definido por dois fatores:

PMI: Ponto morto inferior.

PMS: Ponto médio superior.

A pressão pode ser calculada utilizando a expressão:

$$P = \frac{nRT}{V} \quad (5)$$

Onde:

n: número de mols

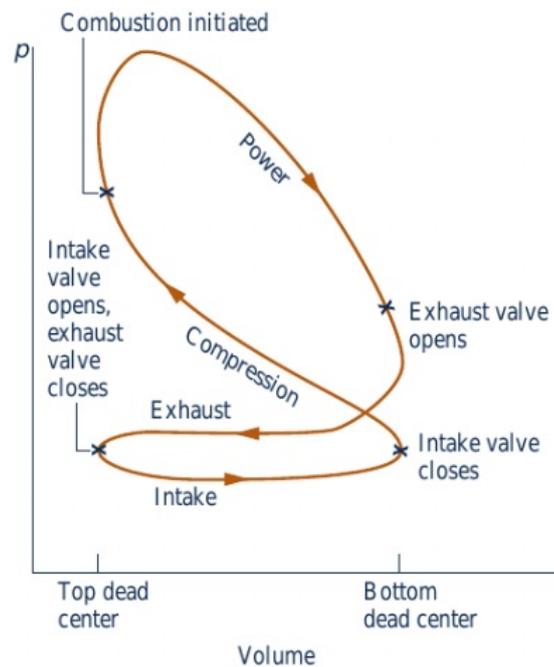
R: constante molar do gás (8,31 J/ mol)

T: temperatura

V: volume

A imagem a seguir nos mostra o gráfico P x V e a região a ser calculada para encontrar o trabalho do sistema.

Figura 9 – Curva pressão volume do ciclo otto



Fonte: (BOLES; ÇENGEL, 2013)

Os valores de trabalho realizado por cada pistão, e que ele é a diferença entre as áreas englobadas pelos dois laços da curva, é dado por:

$$\int_C P dv \quad (6)$$

Não foi possível descrever valores para a curva pois seria necessário cálculos que dependem de um estudo termodinâmico, esses conhecimentos só serão obtidos a partir do próximo período.

5.4 MOMENTO DE INÉRCIA DA MASSA DO VIRABREQUIM

O Momento de inércia da massa de um corpo, é a "dificuldade" de rotação em torno de um eixo que uma seção transversal possui. Quanto maior o momento de inércia, maior a dificuldade de rotação em torno do eixo analisado (HIBBELER; C, 2011).

Utilizando equações (Anexo A) e com auxílio do teorema dos eixos paralelos, no qual pode ser usado para determinar o Momento de Inércia de uma objeto em relação à um determinado eixo, é possível calcular o Momento de Inércia da massa do Virabrequim do protótipo. O resultado é:

$$I \simeq 2,69 \cdot 10^{-4} Kg \cdot m^2 \quad (7)$$

O motor utilizado como referência, W670, não é mais fabricado, por isso, não é possível obter os dados necessários com o fabricante para calcular tais equações, portanto, os valores usados nos cálculos foram os do protótipo, para demonstração de estudo de caso.

Por se tratar de um objeto pequeno e leve, pode-se concluir que não há muita dificuldade de rotação do mesmo em relação ao eixo central.

5.5 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

O tema do projeto foi decidido depois de reuniões entre o grupo, a partir disto criou-se a necessidade de ter um protótipo em mãos, para fazer um estudo mais detalhado do funcionamento. Após, foi criado um cronograma (Apêndice B), no qual, foi cumprido rigorosamente. Os dados foram coletados através de pesquisas bibliográficas em livros, artigos, internet e manuais, no intuito de se recolher referencial teórico em relação ao funcionamento do referido sistema mecânico.

Foram utilizados os seguintes materiais na montagem:

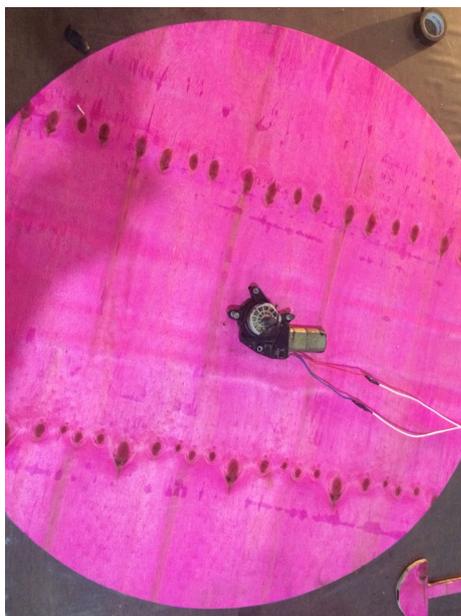
- Chapa de madeira (MDF) 200cmx200cm.
- Bateria (12 Volts, 7 Amperes).
- Motor de para-brisa (força: 9,12 $N \cdot m$)

- Copos de acrílico.
- Barra de madeira circular (diâmetro 3,5 cm).
- Barra de ferro circular (diâmetro 0,5 cm).
- Abraçadeiras.
- Chave liga/desliga.
- Raios de bicicleta.

A partir destes objetos, foi feito um protótipo que mostra bem qual o princípio de funcionamento deste tipo de motor. A montagem foi feita em três passos:

- Passo 1: Foram cortadas duas chapas circulares de madeira, para servir de base superior inferior. Feito isso, o motor de para-brisa com força de: $9,12 N \cdot m$. Ele foi fixado no centro da base inferior. É ele que possibilita o movimento do protótipo.

Figura 10 – Corte circular das chapas de madeira.



Fonte: Próprios autores

- Passo 2: Peças que são correspondentes às verdadeiras do motor foram feitas, onde: pistão e virabrequim foram cordados em madeira MDF, e raios de bicicleta representam a biela, aparecem ainda na imagem o copo de acrílico e a bateria que alimenta o motor de para-brisa

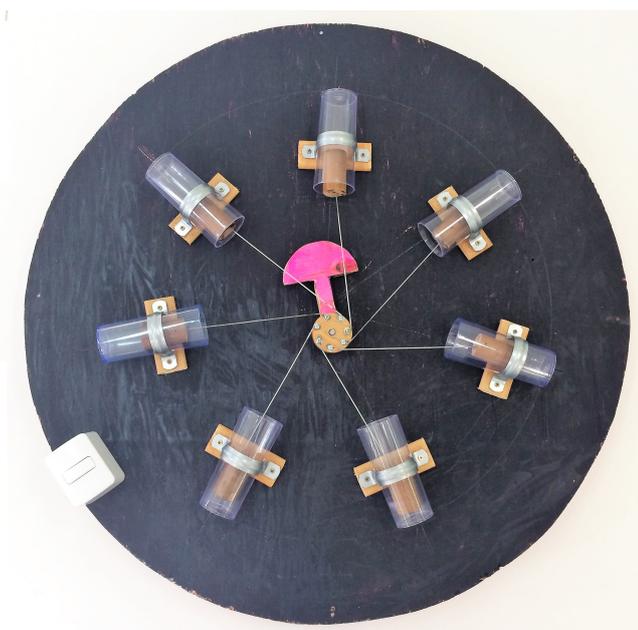
Figura 11 – Montagem das peças de interesse.



Fonte: Próprios autores

- Passo 3: Os copos foram fixados por abraçadeiras, em um formato radial, como no motor original eles representam as camisas dos pistões. E cada peça foi colocada em seu devido lugar.

Figura 12 – Protótipo finalizado.



Fonte: Próprios autores

6 CONCLUSÃO

Após o término, foi apresentado a importância do estudo do motor radial para a engenharia, pois mostra que sua evolução, trouxe sempre melhorias. Obteve-se resultados com cálculos baseados no protótipo, como o momento de inércia e também foi utilizado dados reais, para a parte de combustão, a importância do material correto na fabricação de peças e do motor em si e trabalhos realizados nos pistões. Com isto, conclui-se que o motor radial é de grande importância na Engenharia Mecânica, mostrando que se tem muitos campos de estudo.

REFERÊNCIAS

BOLES, M.; ÇENGEL, Y. Termodinâmica. 7^a edição. *São Paulo: AMGH Editora*, 2013. Citado 3 vezes nas páginas 14, 19 e 20.

BRASIL, G. O. *Substituição de Lubrificantes Minerais por Lubrificantes Sintéticos*. 2018. Disponível em: <<http://www.oficinabrasil.com.br/noticia/motos-e-servicos/substituicao-de-lubrificantes-minerais-por-lubrificantes-sinteticos>>. Citado na página 17.

BRUNETTI, F. Motores de combustão interna. *São Paulo: Blucher*, v. 2013, n. 2, 2012. Citado na página 12.

CALLISTER; RETHWISCH, W. *engenharia dos materiais—uma introdução*. 9. [S.l.: s.n.], 2016. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.

HIBBELER; C, R. *Estática: Mecânica para engenharia*. [S.l.: s.n.], 2011. Citado na página 21.

LUZ, G. *Aço SAE 4340*. 2018. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.

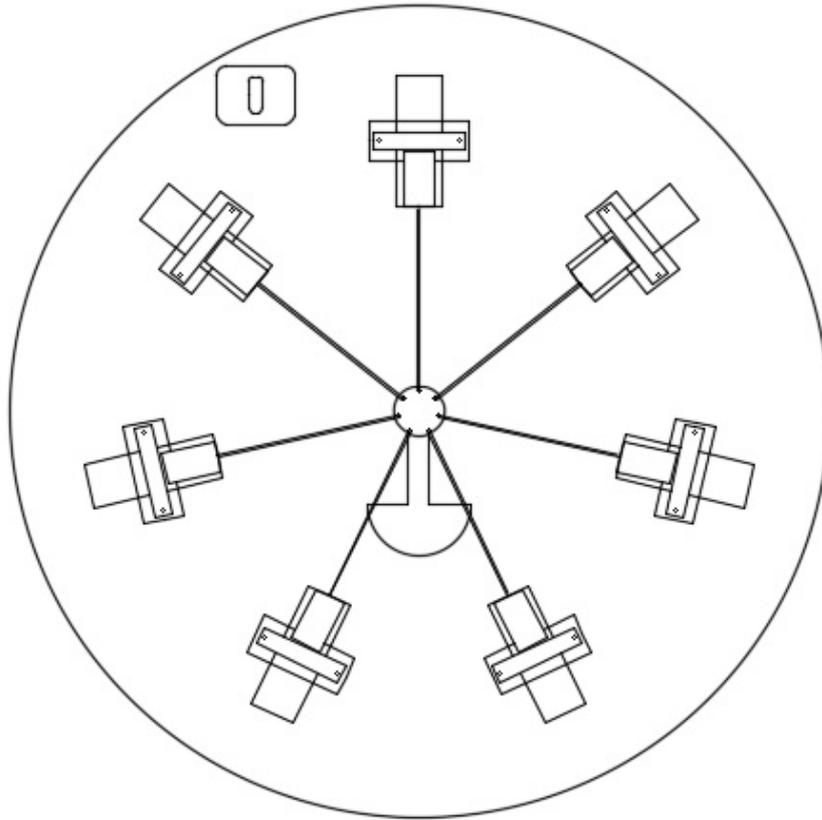
REIS, V. dos. *Teoria e construção de motores de aeronaves*. [S.l.: s.n.], 2009. Citado 4 vezes nas páginas 11, 12, 13 e 14.

TAYLOR, C. F. Aircraft propulsion. *Smithsonian Annals of Flight*, Citeseer, v. 1, n. 4, 1971. Citado na página 10.

TILLMANN, C. d. C. Motores de combustão interna e seus sistemas. *Pelotas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia*, 2013. Citado na página 15.

HIBBELER, R.C. *Estática: Mecânica para engenharia*. Tradução de Daniel Vieira; Revisão de José Maria Campos dos Santos. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. Nenhuma citação no texto.

APÊNDICE A – DESENHO TÉCNICO DO PROTÓTIPO



Fonte: Próprios autores

APÊNDICE B – TABELAS

Tabela 3 – Dados do protótipo

Nome	Comprimento (m)	Diâmetro (m)	Massa (Kg)
Copo	0,1450	0,0500	0,0450
Biela	0,2025	$2 \cdot 10^{-5}$	0,0100
Pistão	0,0600	0,0350	0,0350
Tampo	0,9000	0,9000	3,0220
Virabrequim	0,1600	0,1150	0,0250
Motor de para-brisa	-	-	1,7600
Chave	-	-	0,1000

Fonte: Próprios autores

Figura 13 – Cronograma

Atividade	S. 01	S. 02	S. 03	S. 04	S. 05	S. 06	S. 07	S. 08	S. 09	S. 10	S. 11	S. 12	S. 13	S. 14	S. 15
Definição do projeto	■														
Distribuição de tarefas		■													
Pesquisas sobre o funcionamento do motor			■	■	■										
Definição de matérias à serem aplicadas						■									
Dimensionamento do motor							■	■							
Revisão de relatório									■						
Impressão do protótipo										■					
Revisão final do relatório											■				
Montagem do seminário												■	■		
Ensaio preparatório para a apresentação do seminário														■	■

Fonte: Próprios autores

ANEXO A – MOMENTO DE INÉRCIA DA MASSA DO VIRABREQUIM

O volume de um semi cilindro é dado pela equação:

$$dV = \pi \cdot r \cdot h dr$$

A massa é dada por:

$$dm = \rho dV$$

$$dm = \rho \cdot \pi \cdot r \cdot h dr$$

Momento de Inércia da massa de um objeto é:

$$I_z = \int_m r^2 dm$$

Fazendo as equivalências das equações:

$$I_z = \int_0^R r^2 \cdot \rho \cdot h \cdot \pi dr$$

$$I_z = \int_0^R r^3 \cdot \rho \cdot h \cdot \pi dr$$

$$I_z = \rho \cdot h \cdot \pi \int_0^R R^3 dr$$

$$I_z = \rho \cdot h \cdot \pi \left(\frac{r^4}{4} - \frac{0}{4} \right)$$

$$I_z = \frac{\pi \cdot \rho \cdot h \cdot R^4}{4}$$

$$I_z = \frac{\rho \cdot h \cdot \pi}{4} \cdot R^4$$

$$m = \int_m dm$$

$$m = \rho \cdot \pi \cdot h \int_0^R r dr$$

$$m = \rho \cdot \pi \cdot h \left(\frac{R^2}{2} - \frac{0^2}{2} \right)$$

$$m = \frac{\rho \cdot \pi \cdot h}{2} \cdot R^2$$

$$I_z = \rho \cdot \pi \cdot h \cdot \frac{R^2}{2} \cdot \frac{R^2}{2}$$

Onde,

$$m = \frac{\rho \cdot \pi \cdot h \cdot R^2}{2}$$

Então,

$$I = \frac{m \cdot R^2}{2}$$

Substituindo obtemos:

$$I_0 = \frac{m \cdot R^2}{2}$$

m=0,02 Kg

R=0,057 m

$$I_0 = \frac{0,02 \cdot (0,0575)^2}{2}$$

$$I_0 = 3,30625 \cdot 10^{-5} \text{Kg} \cdot \text{m}^2$$

Utilizando o teorema dos eixos paralelos obtemos:

Semi cilindro

$$I_z = I_0 + m \cdot d^2$$

$$I_z = 3,30625 \cdot 10^{-5} + 0,02 \cdot (0,1025)^2$$

$$I_z = 2,431875 \cdot (10)^{-4} Kg \cdot (m)^2$$

Placa fina

$$I_g = \frac{1}{12} \cdot m \cdot (a^2 + b^2)$$

$$I_g = \frac{1}{12} \cdot 0,005 \cdot (0,1025^2 + 0,023^2)$$

$$I_g = 4,598 \cdot 10^{-6} Kg \cdot m^2$$

Eixos paralelos

$$I_{z'} = I_g + m \cdot d^2$$

$$I_{z'} = 4,598 \cdot 10^{-6} + 0,005 \cdot 0,045^2$$

$$I_{z'} = 1,472302083 \cdot 10^{-5}$$

Fazendo o somatório temos:

$$\sum I = I_z + I_{z'}$$

$$\sum I = 2,431875 \cdot 10^{-4} + 1,472302083 \cdot 10^{-5}$$

$$\sum I = 2,431875 \cdot 10^{-4} Kg \cdot m^2$$

Então:

$$I \simeq 2,69 \cdot 10^{-4} Kg \cdot m^2$$