

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ENSAIO EXPERIMENTAL DE UM MOTOR ALTERNATIVO DE CICLO CLERK

por

Karl Wilhelm Marshall Dopheide

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, junho de 2013



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

ENSAIO EXPERIMENTAL DE UM MOTOR ALTERNATIVO DE CICLO CLERK

por

Karl Wilhelm Marshall Dopheide

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Thamy Cristina Hayashi
Coordenadora do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Ciências Térmicas

Orientador: Prof. Dr. Pedro Barbosa Mello

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Horácio Vielmo

Prof. Dr. Nattan Caetano

Prof. Dr. Thamy Cristina Hayashi

Porto Alegre, julho de 2013

À minha família

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Pedro Barbosa Mello;
ao Museu do Motor

DOPHEIDE, K. W. M. **Ensaio Experimental de um Motor Alternativo de Ciclo Clerk**. 2013. 14 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

RESUMO

Este trabalho apresenta a construção de um dinamômetro de bancada e o ensaio de um motor de ciclo Clerk utilizado em uma roçadeira costal. Para o dinamômetro foi utilizado um alternador automotivo e um conjunto de lâmpadas atuando como carga. Com a variação do número de lâmpadas, foi alterada a carga sobre o alternador. Foram executados os ensaios, em diferentes rotações, a fim de medir a corrente elétrica no alternador. Com estas informações associadas à tensão elétrica do alternador foi calculado a potência e o torque produzido em cada condição de rotação. As curvas características do motor foram traçadas a partir dos resultados experimentais. Estes resultados foram comparados com as informações fornecidas pelo fabricante, os quais apresentaram um discrepância de no máximo 7%.

PALAVRAS-CHAVE: dinamômetro, motor de ciclo Clerk, ensaio dinamométrico, motor 2 tempos, curvas características de motores, roçadeira.

DOPHEIDE, K. W. M. **Experimental Test of a Clerk Cycle Alternative Engine**. 2013. 14 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

ABSTRACT

This paper presents the construction of a dynamometer test bench and the test of a Clerk cycle engine used on a manual mowing. For the dynamometer was used an automotive alternator and a set of lamps acting as a load. By varying the number of bulbs, changed the load on the alternator. The tests were run at different speeds in order to measure the electric current in the alternator. With this information associated with the alternator voltage was calculated power and torque produced in each rotation condition. The engine characteristic curves were drawn from the experimental results. These results were compared with the information provided by the manufacturer, which submitted a discrepancy of at most 7%.

KEYWORDS: dynamometer, Clerk cycle engine, dyno testing, 2-stroke engine, engine characteristic curves, mowing.

ÍNDICE	Pág.
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	1
3 JUSTIFICATIVA	1
4 TEORIA BÁSICA.....	1
4.1 MOTORES.....	1
4.1.1 MOTOR CICLO OTTO.....	2
4.1.2 MOTOR CICLO CLERK.....	3
4.2 PARÂMETROS DE UM MOTOR.....	4
4.2.1 EFICIÊNCIA MECÂNICA.....	4
4.2.2 PRESSÃO MÉDIA EFETIVA.....	4
4.2.3 TORQUE E POTÊNCIA.....	5
5 DINAMÔMETROS.....	5
5.1 HIDRÁULICOS.....	5
5.2 PRONY.....	6
5.3 ELÉTRICO.....	6
6 CONSTRUÇÃO DO DINAMÔMETRO.....	7
7 ENSAIOS.....	11
8 CÁLCULO DA INCERTEZA DE MEDIÇÕES.....	12
9 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	13
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	14

1 INTRODUÇÃO

Os motores têm profunda importância por melhorarem e facilitarem as condições de vida das populações. No caso dos pequenos motores endotérmicos, isto destaca-se pela substituição do esforço braçal por um dispositivo mecânico, como sejam: motosserras, roçadeiras, pequenas bombas de água e pequenos geradores elétricos. Assim, o contato entre homem e máquina desperta mais do que a curiosidade, o interesse por aprender como dimensionar tais dispositivos, bem como conhecer as características. Mesmo quem tem conhecimentos práticos, necessita de uma base teórica para permitir a perfeita compreensão dos fenômenos envolvidos no funcionamento de tais dispositivos. Para estudantes de engenharia mecânica, a possibilidade de construir uma bancada para ensaios de pequenos motores endotérmicos e efetuar medições quantitativas em tais engenhos se configura altamente atraente pois, além de aprofundar os conhecimentos na área através de revisão bibliográfica, resulta em um artefato que poderá ser utilizado posteriormente para teste de outros motores.

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo descrever a construção de um dinamômetro elétrico de bancada e o ensaio de um motor alternativo de ciclo Clerk alimentado por uma mistura de gasolina e óleo para motores 2 tempos, usado em uma roçadeira costal marca Tekna modelo 260, com 26cc e 1hp de potência máxima, possibilitando traçar as curvas características de funcionamento do motor, aprimorando o aprendizado sobre motores dois tempos, a partir da pesquisa bibliográfica inicial obrigatória e da análise dos resultados obtidos nos ensaios.

3 JUSTIFICATIVA

Atualmente, o mercado oferece inúmeros dispositivos motorizados de baixa potência para substituir a força braçal e aumentar o desempenho nas mais diversas atividades. Motosserras, roçadeiras, bombas de água e geradores elétricos são exemplos disso. Para tornar tais dispositivos portáteis, são utilizados motores pequenos e leves. Para projetar tais aparelhos é necessário saber exatamente qual a potência disponível no motor que se pretende utilizar. A dificuldade de encontrar uma unidade dinamométrica de pequeno porte e baixo custo para análise de motores de baixa potência, levou ao desenvolvimento do projeto dessa bancada capaz de fornecer os dados necessários.

4 TEORIA BÁSICA

Para poder compreender o que pode ser feito no campo de ensaios, pesquisou-se sobre os motores. Inicialmente pesquisou-se as diferenças entre os diversos tipos de motores, como sejam: ciclos térmicos, curvas específicas etc.

4.1 MOTORES

Os motores transformam a energia térmica gerada pela combustão de uma mistura ar/combustível em energia mecânica. A pressão gerada (direta ou indiretamente) pela combustão

pode ser utilizada para mover um êmbolo, gerando energia mecânica. Os motores podem ser divididos em dois grupos: endotérmicos e exotérmicos. Os exotérmicos são os motores a vapor, stirling etc, cuja fonte de energia (calor) é externa, enquanto que os endotérmicos processam a combustão em seu interior. Os motores endotérmicos mais utilizados atualmente possuem um êmbolo que se move no interior de um cilindro e transmite força através da conexão com uma árvore de manivela [Heywood, 1988], podendo ser de ciclo Otto (4 tempos) ou ciclo Clerk (2 tempos).

Para fins de comparação, serão descritos a seguir os ciclos Otto e Clerck:

4.1.1 MOTOR DE CICLO OTTO

O ciclo de funcionamento de um motor endotérmico de ciclo Otto (4 tempos) é:

1* tempo- admissão: ocorre quando o êmbolo se desloca do ponto morto superior (PMS) ao ponto morto inferior (PMI). Neste momento ocorre a abertura da válvula de admissão, permitindo a entrada da mistura ar/combustível.

2* tempo- compressão: ocorre quando o êmbolo se desloca do ponto morto inferior (PMI) ao morto superior (PMS). Neste momento as válvulas permanecem fechadas e a mistura ar/combustível é comprimida.

3* tempo- explosão: Neste momento a vela de ignição produz uma centelha que inflama a mistura ar/combustível que se expande e empurra o êmbolo para o ponto morto inferior (PMI).

4* tempo- exaustão: ocorre quando o êmbolo se desloca do ponto morto inferior (PMI) ao morto superior (PMS), neste momento a válvula de escape abre e os gases são expulsos do interior do cilindro.

Após o 4* tempo o êmbolo está na posição inicial e ciclo se repete.

O ciclo Otto pode ser visto na Figura 4.1.

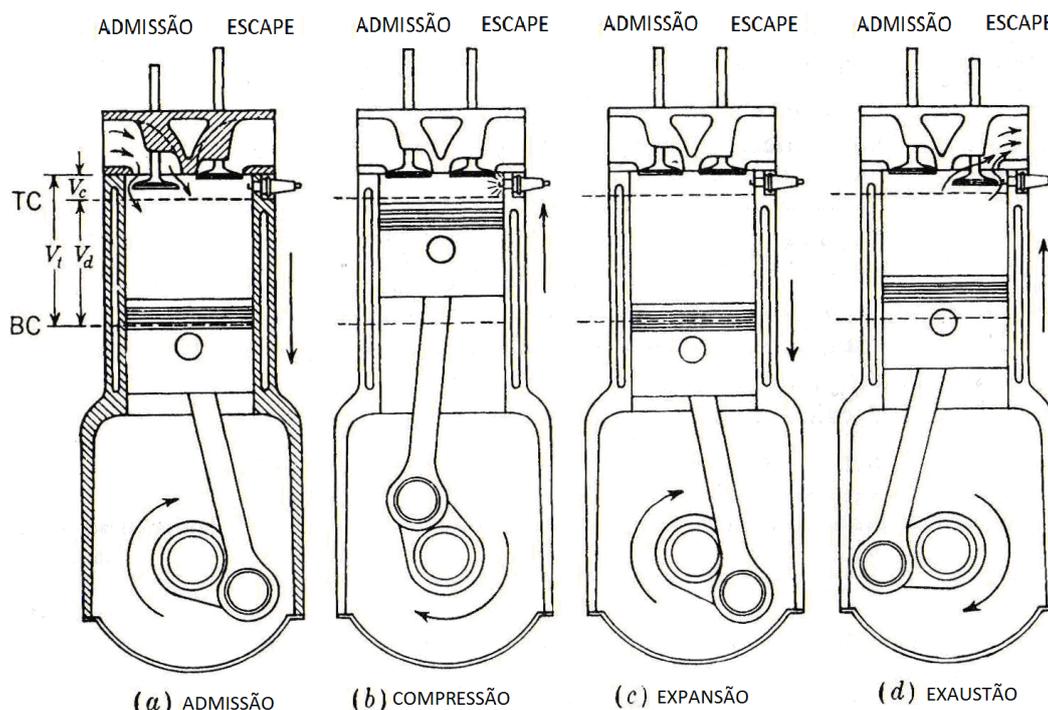


Figura 4.1 - Ciclo Otto. Fonte (Heywood 1988)

4.1.2 MOTOR DE CICLO CLERK

Nos motores de ciclo Clerk o ciclo é constituído de apenas 2 tempos. Comparativamente é mais simples do que os motores 4 tempos, com menos peças móveis. O êmbolo funciona como válvula deslizante, abrindo e fechando janelas, por onde a mistura ar/combustível é admitida e os gases provenientes da combustão são expulsos.

O ciclo de funcionamento de um motor endotérmico de ciclo Clerk (2 tempos) é:

1* tempo- ocorre quando o êmbolo se desloca do ponto morto inferior (PMI) ao ponto morto superior (PMS). Neste momento o êmbolo comprime a mistura ar/combustível ao mesmo tempo produz uma rarefação no cárter. Ao aproximar-se do ponto morto superior (PMS) a vela de ignição produz uma centelha que inflama a mistura ar/combustível. Ao mesmo tempo ocorre a admissão de nova mistura ar/combustível no cárter devido a rarefação que ocorreu durante a subida do êmbolo.

2* tempo- neste tempo os gases da combustão se expandem fazendo o êmbolo se deslocar para o ponto morto inferior (PMI), comprimindo a mistura no cárter. Durante este deslocamento, o êmbolo abre a janela de exaustão, permitindo a saída dos gases queimados. A seguir abre a janela de transferência, permitindo que a mistura ar/combustível comprimida no cárter se desloque para o cilindro.

Após o ciclo se repete.

O ciclo Clerk pode ser visto na Figura 4.2.

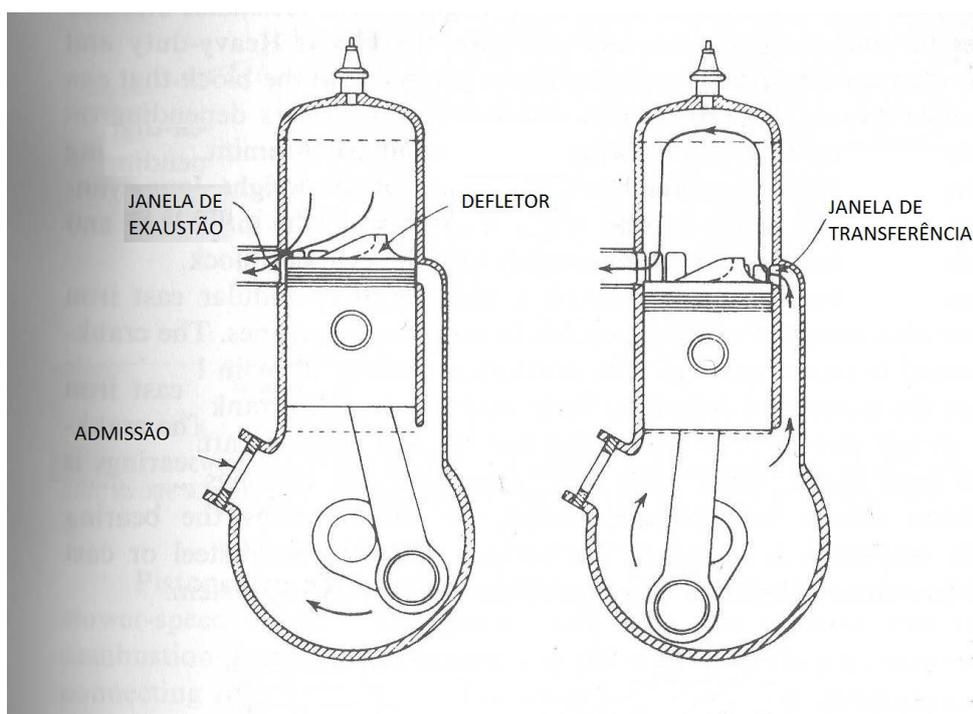


Figura 4.2 - Ciclo Clerk. Fonte (Heywood 1988)

4.2 PARÂMETROS DE UM MOTOR

4.2.1 EFICIÊNCIA MECÂNICA

A energia produzida pela combustão não é totalmente aproveitada, pois existem perdas para vencer o atrito entre as partes móveis do motor.

Segundo Dante Giacosa (2000, apud Cardoso, 2007), eficiência mecânica (η_m) é definida como a relação entre a potência efetiva medida no eixo do motor e a potência produzida pela expansão dos gases no cilindro, conhecida também como potência indicada.

$$\eta_m = \frac{P_b}{P_{c,ig}} = 1 - \frac{P_f}{P_{c,ig}} \quad (4.1)$$

Onde P_f é a potência dissipada nas resistências passivas, P_b é a potência no freio, e $P_{c,ig}$, é a potência indicada bruta por ciclo. Resultados experimentais mostraram que as perdas de potência devido ao atrito são proporcionais à rotação do motor.

4.2.2 PRESSÃO MÉDIA EFETIVA

A pressão média efetiva é o parâmetro mais utilizado para projeto e desenvolvimento de motores, é obtido pela razão entre trabalho por ciclo e o volume deslocado pelo motor. Sua aplicação permite a comparação entre motores de arquitetura e dimensões diversas, com resultados plenamente satisfatórios. Assim, este parâmetro é obtido a partir de unidades de força por unidade de área do pistão, segundo a equação:

$$pme = \frac{P_{c,ig} \times n_R \times 10^5}{V_d \times N} \quad (4.2)$$

onde, pme é a pressão média efetiva [KPa], V_d é o volume deslocado por ciclo [m³]. Como a potência bruta é difícil de ser medida, utiliza-se a potência média efetiva no freio que é obtida em dinamômetros:

$$Pbme = \frac{P_b \times n_R}{V_d \times N} \quad (4.3)$$

Onde, $Pbme$ é a pressão média efetiva no freio [Pa].

4.2.3 TORQUE E POTÊNCIA

O Torque do motor é o produto da força com que a combustão força o êmbolo para baixo multiplicada pelo braço de alavanca da árvore de manivela.

Este esforço é medido em um dinamômetro acoplado no eixo através de um braço de alavanca, denominado torque no freio (T_b) com unidade [J], segundo a equação:

$$T_b = F \times b \quad (4.4)$$

Onde, (F) é a força medida no freio em unidade [N], e (b) é comprimento do braço de alavanca do freio [m].

A potência de um motor é a taxa de trabalho produzido por unidade de tempo, ou seja, é o produto do torque (T_b) pela velocidade angular do motor, dado pela equação:

$$P_b = \frac{2 \times \pi \times N \times T_b}{60} \quad (4.5)$$

Onde, P_b é a potência no freio [W];

5 DINAMÔMETROS

As medições dos parâmetros de um motor, acima descritos, podem ser realizadas de vários modos, sejam eles mecânicos ou eletroeletrônicos, de acordo com o que se pretende medir. No caso deste trabalho, deseja-se traçar as curvas de um motor. O equipamento fundamental é o dinamômetro, o qual pode ser de variados tipos, tais como hidráulico, de Prony (atrito), elétrico de correntes parasitárias, etc. A seguir, se descreve os principais tipos de dinamômetro, segundo Giacosa (2000)

5.1 HIDRÁULICOS

O dinamômetro possui um rotor com pás que gira no interior de uma carcaça com estatores também com pás. A água entra na câmara do rotor axialmente. Pela ação centrífuga, a água é acelerada e lançada para a saída, formando um anel no interior da câmara do rotor. Finalmente, a água sai da câmara do rotor através do bocal situado na parte inferior da carcaça.

A energia mecânica fornecida pelo motor em ensaio produz um turbilhão gerado com a passagem da água entre as pás do rotor e dos estatores. A força resultante aplica uma resistência ao movimento do rotor e tende a girar a carcaça no sentido inverso com igual esforço. Este esforço é transmitido, por meio de um braço, a uma célula de carga instalada a uma distância fixa da linha de centro do dinamômetro. Um dinamômetro hidráulico pode ser visto na Figura 5.1.

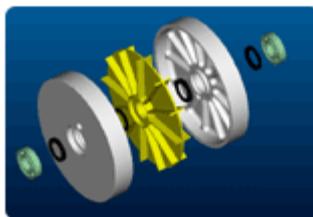


Figura 5.1 - Dinamômetro Hidráulico. Fonte (www.rollertest.com.ar)

5.2 PRONY

É constituído por um volante circundado por uma cinta conectada a um braço cuja extremidade se apoia sobre a plataforma de uma balança. O volante, acionado pelo motor, tem o movimento restringido pela pressão aplicada à cinta, que transmite o esforço ao braço apoiado sobre a balança. A partir das leituras da balança, calcula-se o esforço despendido pelo motor. A Figura 5.2 mostra um dinamômetro Prony.



Figura 5.2 - Dinamômetro Prony. Fonte (www.joseclaudio.eng.br)

5.3 ELÉTRICO

É um gerador elétrico, que acionado pela máquina em prova, produz energia elétrica, a qual será consumida por uma carga variável, que pode ser regulada por processo eletrônico, com o uso de um inversor, ou com a aplicação de lâmpadas incandescentes, em uma montagem em paralelo, de modo que quanto mais lâmpadas inseridas no circuito, maior a carga aplicada ao motor, aumentando o efeito de frenagem do mesmo, num efeito de ação e reação. A Figura 5.3 mostra um dinamômetro elétrico.

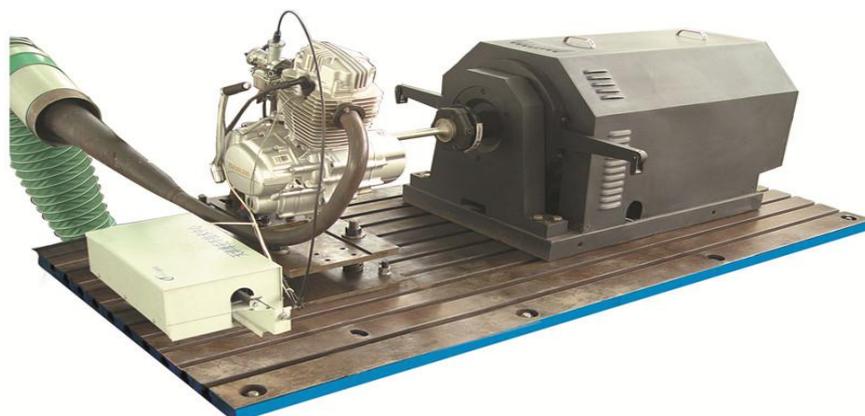


Figura 5.3 - Dinamômetro Elétrico. Fonte (<http://pt.made-in-china.com>)

6 CONSTRUÇÃO DO DINAMÔMETRO

Para a construção do dinamômetro, após a pesquisa inicial, sobre os modelos possíveis de serem escolhidos, adotou-se, por simplicidade e facilidade de construção e operação, um modelo semelhante ao já visto em outras aplicações de pequeno porte, inclusive com pesquisa realizada por Duschitz et alli (2007).

Um alternador diretamente acoplado ao motor, via um eixo de ligação trabalhando ambos sincronizados, sendo freado por um banco de cargas, o qual consta de um conjunto de lâmpadas individualmente conectadas, permitindo que carregue o motor o quanto se queira, possibilitando que se trace as curvas do motor com a obtenção dos valores de tensão (V), corrente (I) e rotação (rpm) e aplicando a equação da potência elétrica:

$$P = I V \quad (6.1)$$

Onde P é a potência elétrica [W], I é a corrente [A] e V é a tensão [V]

Para fixação do motor foi mantido parte do eixo original da roçadeira, que foi fixado à base por um par de mancais, a fim de permitir o giro. A Figura 6.1 mostra o eixo instalado.

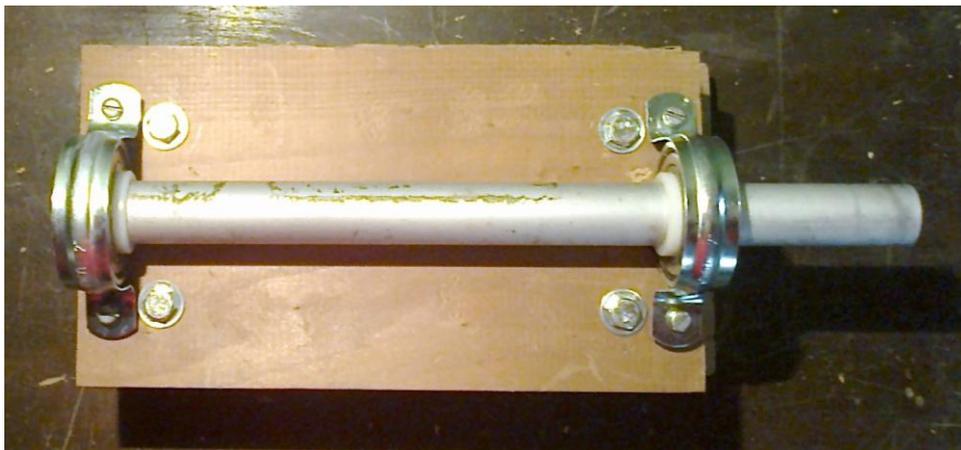


Figura 6.1 Fixação do eixo

Para acoplamento direto do motor ao alternador foi usinada uma peça em aço SAE 1020 que de um lado é aparafusada ao eixo do motor e do outro possui um encaixe para um soquete que se encaixa na porca do eixo do alternador, conforme pode ser visto na Figura 6.2.

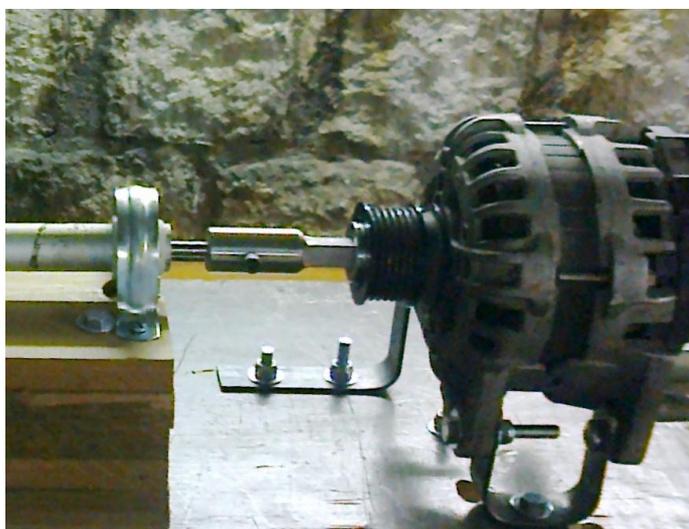


Figura 6.2 Acoplamento do motor ao alternador

O banco de carga é formado por um conjunto de 25 soquetes para lâmpadas conectados em paralelo. Este conjunto foi instalado em uma placa de madeira, conforme mostra a Figura 6.3.

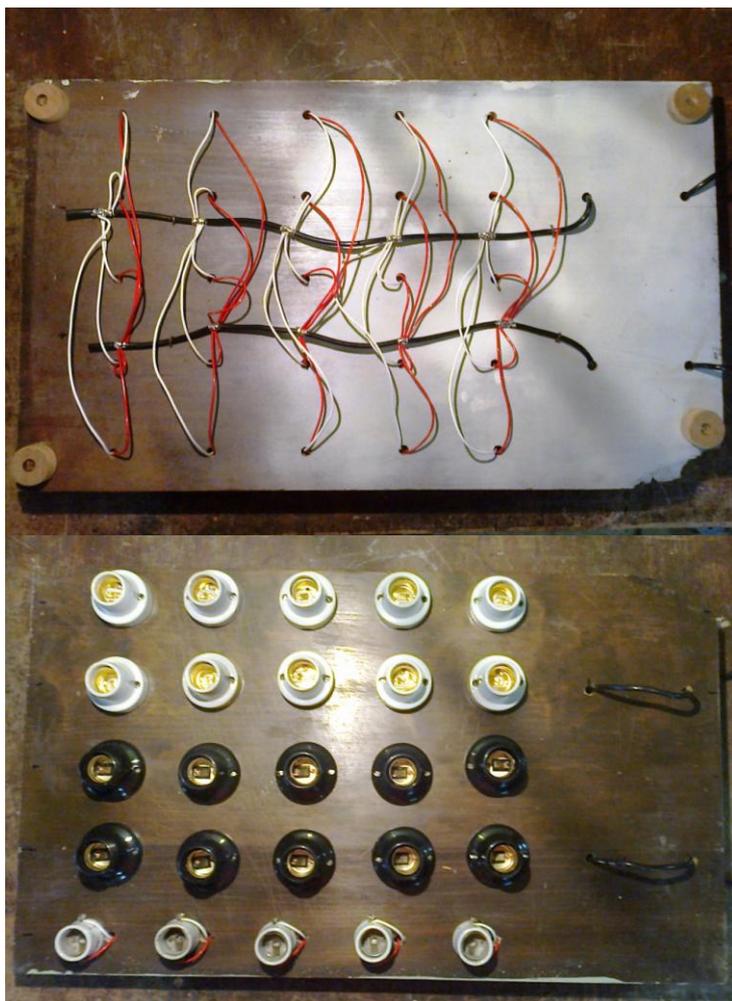


Figura 6.3 Banco de carga

O conjunto motor e alternador foi montado sobre uma estrutura tubular como pode ser visto na Figura 6.4. O conjunto em operação é mostrado na Figura 6.5.

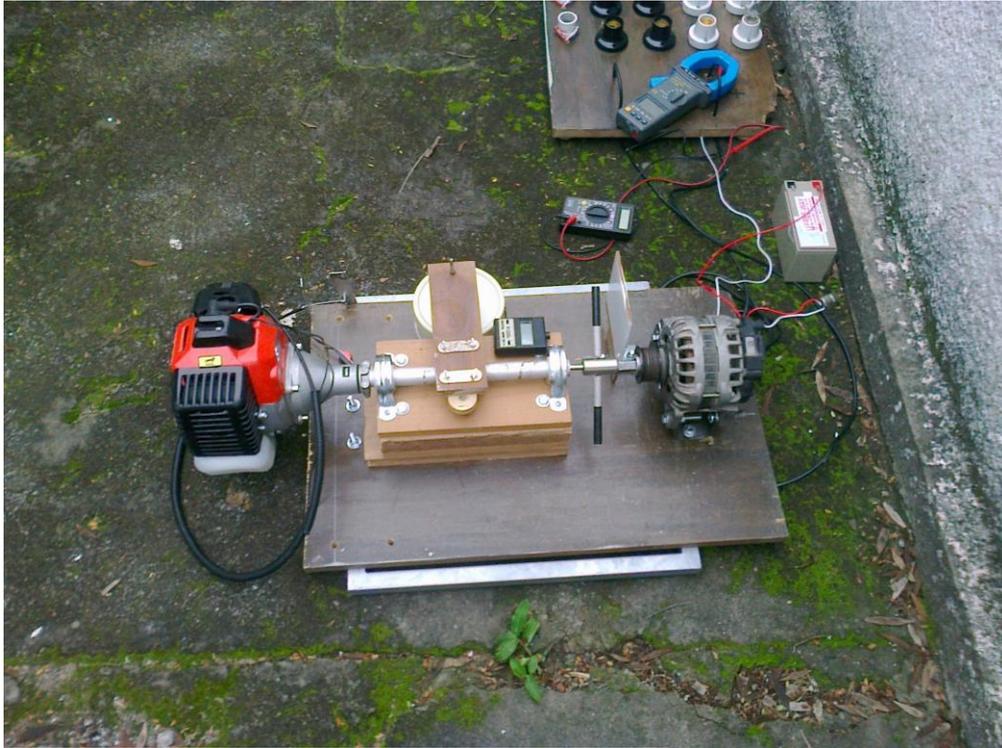


Figura 6.4: Montagem completa.



Figura 6.5: Teste dinâmico

Para as medições usou-se como equipamento um alicate amperimétrico Marca Minipa, modelo ET 3960, com as seguintes características e incertezas nas escalas utilizadas:

Amperímetro CC = 400 A incerteza = 0,1 A

Voltímetro CC = 40 V incerteza = 0,1 V

7 ENSAIOS

Após a construção e montagem explicitadas anteriormente, foram feitos testes dinâmicos para aferição das condições gerais do equipamento, seguindo-se os ensaios propriamente ditos. Para tanto, inicialmente pretendeu-se utilizar a norma NBR ISO 1585. Porém verificou-se que a mesma é voltada para motores automotivos, de maior porte, não sendo diretamente aplicável nestes testes, apenas utilizando conceitos pertinentes a ela, como sejam: criar um ciclo de trabalho constando de diversas etapas, alternando períodos de carga e de marcha em vazio.

Desse modo adotou-se como metodologia realizar um aquecimento prévio do motor em marcha lenta (marcha em vazio) durante 3 minutos, seguido de um ensaio de trinta segundos, retorno a marcha lenta por um minuto, novo ensaio na rotação seguinte e assim sucessivamente até cobrir toda a faixa entre quatro mil e sete mil e setecentas rotações por minuto (RPM), anotando cada valor obtido, repetindo este conjunto de operações outras quatro vezes de modo a poder extrair uma média dos resultados.

Imposta nova carga (acréscimo de mais uma lâmpada) repetiu-se o ciclo acima descrito e assim sucessivamente, até atingir-se a carga máxima absorvível pelo motor sob ensaio.

Com esse conjunto de medições e a equação 6.1 para cálculo da potência e a equação 4.5 para cálculo do torque, foi obtido os resultados mostrados na tabela 7.1, os quais permitiram gerar as curvas características do motor. Desse conjunto de medições foi obtido os resultados mostrados na tabela 7.1, os quais permitiram gerar as curvas características do motor. Nesta tabela a corrente elétrica, I , no alternador é dada em unidade de Amperes. A tensão, V , em Volts e a potência, P , em Watts. Note que, os valores de potência foram corrigidos por um fator relacionado à eficiência do alternador. A rotação do motor testado é apresentada em rotações por minuto, RPM. O torque, T , em unidade de Nm, foi calculado a partir da potência e da rotação do motor.

Tabela 7.1: Resultados obtidos nos ensaios.

RPM	I (A)	U (V)	P (W)	T (Nm)
4000	8,7	14,3	250,2	0,59
4300	11,0	14,3	316,2	0,70
5000	11,8	14,3	339,2	0,64
5500	17,5	14,3	503,2	0,87
6000	19,8	14,3	570,2	0,90
6500	23,1	14,3	664,2	0,97
7100	20,6	14,3	592,4	0,79
7700	15,0	14,3	431,4	0,53

Baseado na tabela 7.1, foi possível obter o gráfico da curva de potência do motor, mostrado na Figura 7.1 e o gráfico da curva de torque do motor, mostrado na Figura 7.2.

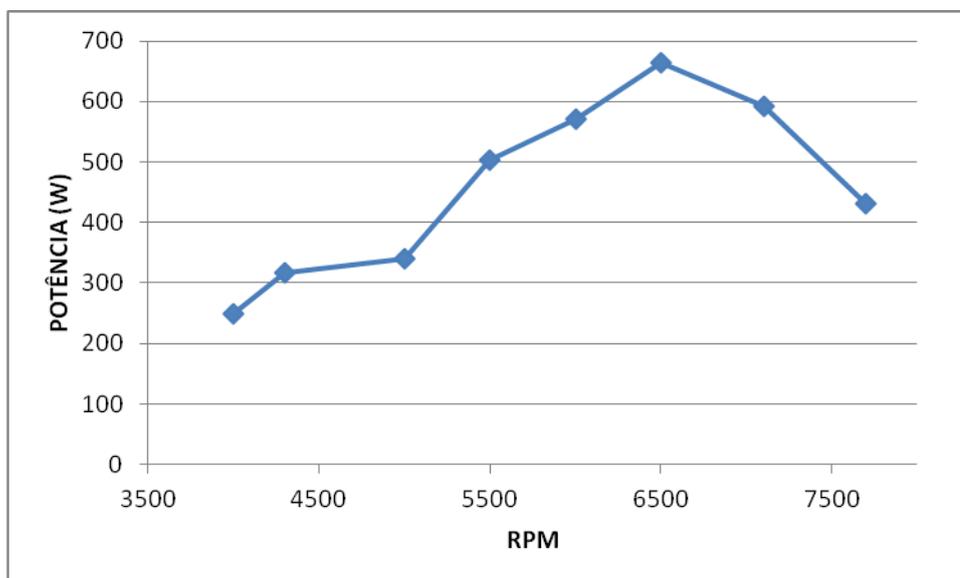


Figura 7.1 Curva de potência do motor (medida).

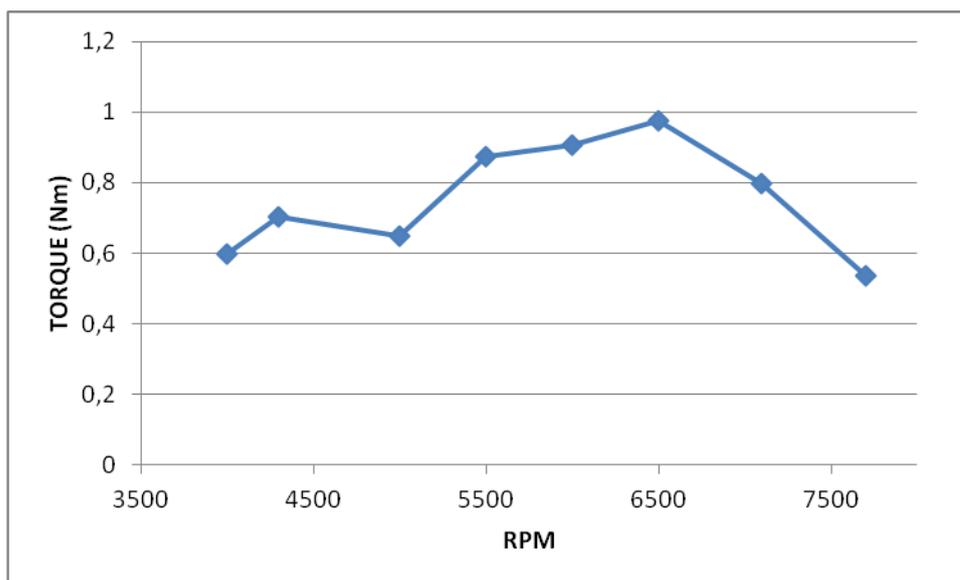


Figura 7.2 Curva de torque do motor (calculada).

8 CÁLCULO DA INCERTEZA DE MEDIÇÕES

Utilizando-se o critério de Kline e McKlinton segundo apostila de Schneider (2007), através da seguinte equação:

$$U_r = \left(\left(\frac{\partial V}{\partial x_1} u_1 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial V}{\partial x_n} u_n \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7.1)$$

Onde U_r é a incerteza propagada, V é a função em análise, x as variáveis dependentes e u a incerteza de cada variável independente.

Para o caso da potência máxima obtida, 332,18 W, com as incertezas apresentadas pelo alicate amperimétrico utilizado, o resultado encontrado foi o seguinte:

23,10 A

14,38 V

Aplicando a equação (7.1) tem-se:

$$((23,10 \times 0,1)^2 + (14,38 \times 0,1)^2)^{1/2} = 2,72 \text{ W}$$

Assim, a potência máxima obtida pode ser expressa como:

$$P(\max) = 332,18 \text{ W} \pm 2,72 \text{ W}$$

Este valor de incerteza, 2,72W, é maior do que o maior desvio encontrado nas cinco medições realizadas, pois o maior valor destas não atingiu dois Watts. Assim, esse resultado se configura plenamente satisfatório, garantindo a consistência dos dados obtidos.

Para o caso do torque máximo obtido, 0,49 Nm, com as incertezas apresentadas pelo alicate amperimétrico utilizado, o resultado encontrado foi $\pm 0,004\text{Nm}$.

Visto que o torque foi calculado a partir da potência, extrapola-se que as colocações pertinentes à esta se mantêm válidas.

9 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com os resultados obtidos chegando próximo aos valores fornecidos pelo fabricante, concluí-se que é possível construir uma bancada dinamométrica de baixo custo para teste de motores de pequeno porte.

Com a pesquisa bibliográfica e os ensaios realizados, foi aprofundado o conhecimento a respeito dos motores 2 tempos e suas curvas características.

A existência de uma embreagem centrífuga internamente à estrutura do motor, não permitiu que se realizasse ensaios em rotações reduzidas, posto que não foi possível ajustar os parâmetros de acionamento da mesma. Assim fica a sugestão para que em um futuro trabalho se realize a desconexão da mesma.

Além da questão da embreagem centrífuga, outro ponto a ser aperfeiçoado refere-se ao próprio dinamômetro, no qual pode ser incluída uma célula de carga e conecta-la diretamente a um multímetro ou a um computador, aumentando a precisão, rapidez e volume de dados a respeito do comportamento dinâmico do motor em estudo.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cardoso, Rafael de Sousa. **Construção dos Mapas de Injeção de Combustível e Avanço de Ignição em um Gerenciador Reprogramável e Comparação com um Gerenciador Original.** Porto Alegre: UFRGS, 2007. Monografia.

Duschitz, Alexandre; Kinopp, Carlo; Dillenburg, Daniel; Andrade, Luís Gustavo. **Medição de Potência de um motor utilizando um Dinamômetro composto de um Dínamo DC.** Porto Alegre: UFRGS, 2007. Monografia.

Giacosa, Dante. **Motores Endotérmicos.** Barcelona: Dossat. 1986.

Heywood, John B. **Internal Combustion Engine Fundamentals** , Mcgraw-Hill, 1988

Schneider, Paulo. **Incertezas de Medição e Ajuste de Dados.** Porto Alegre: UFRGS. 2007. Apostila