



XXVI CREEM

Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica

ILHÉUS/ITABUNA - BAHIA



XXVI Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica,
CREEM 2019
19 a 23 de agosto de 2019, Ilhéus, BA, Brasil

BANCADA DIDÁTICA DE MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA

Joás Gonçalves dos Santos, lopes7406@gmail.com¹

Hugo Thalles Francisco Vieira, hugothalles02@hotmail.com¹

Paulo Fernando Figueiredo Maciel, paulo.figueiredo@funorte.edu.br²

¹Faculdades Integradas do Norte de Minas - Funorte

²Faculdades Integradas do Norte de Minas - Funorte

Resumo. *o artigo proposto apresenta o funcionamento de um motor à combustão interna e seus principais componentes. Que podem ser visualizados a partir do corte do bloco do motor. A bancada de estudo com elementos em corte é uma excelente ferramenta didática para aulas, permitindo a junção do conhecimento teórico e prático deixando as aulas mais didáticas e atraentes. O objetivo geral deste trabalho foi o desenvolvimento de uma bancada didática de estudo de motores a combustão interna do Ciclo Otto. O motor abordado na criação da bancada didática, trata-se de um Chevrolet Opala modelo de motor 151, à gasolina, 4 tempos e com 4 cilindros em linha. O trabalho apresentado é de tipologia descritiva e prática, baseado em levantamento de dados e experiência laborativa, desmistificando o funcionamento de motor à combustão interna através de cortes que expõem seus componentes interno. As aulas práticas possibilitam fazer com que os alunos vivenciem situações onde há possibilidade de tomar decisões e de aplicar a teoria nestas ações. O trabalho faz uma abordagem de vários conceitos aprendidos nas disciplinas de Máquinas Térmicas I e II. A bancada servirá de complemento às aulas, pesquisas e estudos ligados a motores, de maneira geral, e disciplinas correlatas.*

Palavras chave: *Bancada. Combustão. Motores.*

1.INTRODUÇÃO

As máquinas térmicas são dispositivos que transformam energia térmica em trabalho, através da queima de uma mistura ar-combustível podendo ser etanol, gasolina, diesel, GLV etc (BRUNETTI, 2018). Elas realizam trabalho ao converter a energia química do combustível em mecânica. A expansão térmica que as máquinas realizam as tornam capazes de movimentar outros dispositivos, porém todo processo de conversão nunca será totalmente eficaz. Toda máquina térmica real de acordo com os princípios estudados na 2ª lei da termodinâmica são acompanhados de perdas causadas pelas irreversibilidades presentes no processo.

Na segunda lei da termodinâmica temos os enunciados de Clausius e Kelvin Plank. O primeiro diz que é impossível um sistema operar de modo que o resultado seja apenas transferência de trabalho de uma fonte fria para uma fonte quente, o segundo diz que é impossível que qualquer sistema opere em um ciclo fechado e forneça trabalho líquido para sua vizinhança trocando energia na forma de calor com um único reservatório térmico. A violação de um implica na do outro. Em suma é impossível que uma máquina térmica operando em ciclos seja capaz de transformar integralmente o calor recebido em trabalho útil sem que haja perda, pode-se reduzir tais perdas diminuindo o atrito entre as partes (MORAN e SHAPIRO, 2008; BOCAFOLI, 2018).

As Irreversibilidades são aceitas em vários níveis em todos os processos. Muitas vezes os custos atrelados as suas reduções às inviabilizam. Embora a melhoria da eficiência termodinâmica possa estar vinculada na redução das irreversibilidades, o fator custo deve sempre ser levado em conta. Portanto cabe aos engenheiros a perspicácia para identificar as irreversibilidades, avaliando seus impactos e desenvolvendo formas adequadas para sua redução (PEREIRA, 2019).

O Ensino de Ciências Exatas geram muitas dificuldades aos acadêmicos. Os conceitos e teorias muitas vezes ficam vagos, e por esse motivo deve haver instrumentos que auxiliam melhor a compreensão. A bancada de estudo com elementos em corte é um complemento ideal para aulas, unindo conhecimentos teóricos as práticas, dando suporte às disciplinas de Metrologia, Mecânica dos Fluidos, Máquina de Fluxo, Conformação Mecânica, Elementos de Máquinas, Sistemas Térmicos, deixando as aulas mais didáticas e atraentes aos futuros engenheiros. Trata-se de um verdadeiro exemplo de uso de uma metodologia ativa.

O primeiro motor a combustão externa ou a vapor surgiu durante o século XVIII, sendo usado como combustível a lenha devido a sua abundância e o seu baixo custo. Somente em meados do século XIX surgiu o motor de combustão

interna trazendo com ele vantagens de grande importância entre elas se destacavam a melhor eficiência e versatilidade (SOUSA, 2017).

Nikolaus August Otto construiu um mecanismo baseado no conjunto mecânico de pedal e manivela muito utilizado em serviços braçais e nas bicicletas, onde a partir de uma mistura de ar e combustível gerava uma explosão que produzia força e movimento. Esse elemento foi projetado e construído para trabalhar em um ciclo de quatro tempos e ficou conhecido como motor de combustão interna ciclo Otto (ROCHA, 2009a).

Segundo BRUNETTI (2016) as máquinas térmicas são dispositivos que permitem transformar calor em trabalho. A combustão é um processo químico exotérmico (libera energia na forma de calor), de oxidação de um combustível que reage com um comburente (material gasoso que contém o oxigênio O₂) como o ar.

Há dois tipos de ignição; por faísca ou Otto, onde é necessária uma centelha e motores de ignição espontânea ou diesel, onde o pistão comprime o ar, até elevar em uma alta temperatura, chamada de temperatura de autoignição, consequentemente inflamando-o (BRUNETTI, 2018).

No Ciclo Otto para início da reação se faz necessário o uso da ignição que é o processo que provoca o início da combustão (ROCHA, 2009b).

Nesse motor, a mistura ar-combustível é formada no interior dos cilindros quando há injeção direta de combustível (GDI) Gasoline Direct Injection e inflamada por uma faísca que ocorre entre os eletrodos da vela (BRUNETTI, 2016).

O combustível é misturado ao ar e é admitido no pistão para ser comprimido, dentro da câmara de combustão iniciasse uma queima, que provoca uma força de expansão dos gases queimados, empurrando o pistão e transmitindo o movimento para a biela fixadas por meio de pino, consequentemente passando esse movimento para a árvore de manivelas e então o motor entra em movimento. O pistão percorre quatro cursos correspondentes a duas voltas do virabrequim do motor para que complete um ciclo constituído por quatro tempos (MARTINS, 2013).

No tempo de admissão o pistão desloca do seu ponto morto superior (PMS) para o ponto morto inferior (PMI), gerando uma baixa pressão, arrastando o ar e o combustível que vem pelo carburador, nesse tempo a válvula de admissão permanece aberta permitindo a entrada da mistura na câmara de combustão. Na compressão, fecha-se a válvula de admissão e o pistão desloca do ponto morto inferior (PMI) para superior (PMS) comprimindo a mistura e gerando uma alta pressão e temperatura dentro da câmara de combustão. Na expansão, com as válvulas de admissão e escape fechadas a vela provoca a ignição dessa mistura ar combustível que está comprimida gerando o tempo produtivo do motor fazendo um aumento enorme na pressão interna da câmara de combustão permitindo empurrar o pistão do ponto morto superior para o inferior. No 4º tempo de escape, o pistão desloca do ponto morto inferior para o superior empurrando os gases queimados para fora da câmara de combustão e preparando para reiniciar um novo ciclo pelo tempo de admissão (BRUNETTI, 2018).

No sistema de alimentação de combustível os motores ciclo Otto são alimentados por combustível por meio de um carburador ou sistema de injeção eletrônica (BRUNETTI, 2016).

O arrefecimento pode ser realizado com ar ou água. Atualmente os mais utilizados são motores refrigerados por água por possuírem vantagens como redução do ruído do motor. A alimentação de ar pode ser realizada por meio de turbo compressor, utilizando os gases do escapamento para gerar trabalho em uma turbina pressurizando o ar para dentro do motor ganhando assim maior rendimento. Outra forma de alimentação é a mecânica, na qual o compressor é acionado mecanicamente pelo motor, comprimindo o ar no coletor de admissão e no interior da câmara de combustão durante a admissão (BRUNETTI, 2016).

Nesta perspectiva o presente trabalho teve o intuito de desenvolver uma bancada didática de estudo de motores à combustão interna para alunos de engenharia mecânica. A bancada deve atender as normas regulamentadoras, proporcionando a maior segurança possível para os futuros engenheiros. Além disso, deve conter um manual de auxílio, especificando os principais componentes do motor, o torque recomendado e a sequência de aperto de cada parafuso, ajudando na orientação das aulas e ao professor. Com utilização do arduíno e sensores será possível visualizar através de um display os quatro tempos do motor que são admissão, compressão, explosão e escape.

2.METODOLOGIA

O motor abordado na criação da bancada didática, trata-se de um motor 151, modelo Chevrolet Opala com combustível gasolina, 4 tempo e com 4 cilindros em linha, ciclo Otto. O trabalho proposto é de tipologia descritiva e prática, baseado em levantamento de dados e experiências laborativas, desmistificando o funcionamento do motor à combustão interna através de cortes que expõem seus componentes internos, foi utilizado também um microcontrolador (arduíno) que irá mostrar o tempo de funcionamento do motor em tempo real através de um display.

O Arduíno é uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware que se programa para processar entradas e saídas entre dispositivo e os componentes externos conectados a ele. É uma plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e programas (MCROBERTS, 2011).

O microcontrolador (arduíno) tem acoplado a ele sensores ultrassônicos que emitem ondas de alta frequência que irá fazer a contagem dos 4 tempos do motor, sendo que a cada fase do funcionamento os leds RGB conectados no protoboard vão acender e no display também é possível visualizar cada momento. As cores dos leds indicaram os tempos do motor sendo que roxo será admissão, azul compressão, vermelha combustão e amarelo escape.

Para a confecção da bancada foi necessário à utilização de vários materiais, alguns novos, como o microcontrolador, porém outros foram reaproveitados como o bloco do motor. Para a confecção da bancada foi necessário à realização de reparos, polimento, brunimento e usinagem. A figura 1 demonstra o processo de retífica das camisas do motor, onde foi feito o ajustamento do mesmo, para medida do pistão. Assim corrigindo qualquer tipo de avaria.

Figura 1. Brunimento das camisas (Autores, 2019)



O pistão ao descer do ponto morto superior para o inferior varre um volume que representa um cilindro cuja base é a sua secção e a altura é o caminho do pistão, denominado como volume varrido ou cilindrada. À soma dos volumes varridos de todos os cilindros dá-se o nome de cilindrada do motor. Se um motor tiver um número n de cilindros com um diâmetro d e curso C , a sua cilindrada pode ser obtida através da seguinte equação (MARTINS, 2013).

(1)

$$V = \frac{n.C.\pi.d^2}{4}$$

Se dividirmos o volume total por cima da cabeça do pistão quando este está em PMI pelo valor quando está em PMS, obtemos a taxa de compressão do motor (MARTINS, 2013). Como demonstrado na equação abaixo.

(2)

$$\xi = \frac{VP_{mi}}{VP_{ms}} = \frac{V_{varrido} + V_{cc}}{V_{cc}}$$

Onde:

V_{cc} = Volume da câmara de combustão;

$V_{p_{mi}}$ = Volume ponto morto inferior;

$V_{p_{ms}}$ = Volume ponto morto superior.

As partes de movimentação dos fluídos do motor foram pintadas com as seguintes cores vermelho, azul, amarelo e verde. O vermelho representa o resultado da queima do combustível, azul admissão do ar com combustível, amarelo circulação de óleo lubrificante e verde a movimentação de líquido arrefecedor.

A bancada didática será utilizada como material de estudo, para proporcionar maior visibilidade das partes internas do motor. Foram realizados cortes parciais (figura 2) em alguns elementos, buscando assim uma maior visibilidade para os alunos que iram utilizá-la. Através dos cortes foi possível visualizar e entender o funcionamento dos elementos que trabalham expostos e os que ficam acondicionados internamente.

Figura 2. Bloco do motor cortado (Autores, 2019)



O bloco do motor é de ferro fundido, sendo um material que possui facilidade de se moldar com temperaturas acima do seu ponto de fusão. Os cortes dos componentes do motor foram realizados com o auxílio de uma lixadeira angular elétrica, durante todo processo houve a preocupação de ter uma superfície lisa e bem polida. Um dos motivos da utilização desse equipamento foi à possibilidade de efetuar cortes de grandes distâncias, possibilitando serrar o bloco por inteiro, e promovendo uma igualdade de medidas em todos os cilindros. A figura 3 mostra o momento de corte do bloco do motor.

Figura 3. Corte parcial do bloco do motor (Autores, 2019)



A árvore de manivelas representada na figura 4 é uma peça fabricada por fundição ou por forjamento e está sujeita a grandes esforços, principalmente de torção e flexão. Sua principal função é gerar e enviar torque, força e rotação ao sistema de transmissão (MARTINS, 2013).

Figura 4. Árvore de manivelas (Autores, 2019)



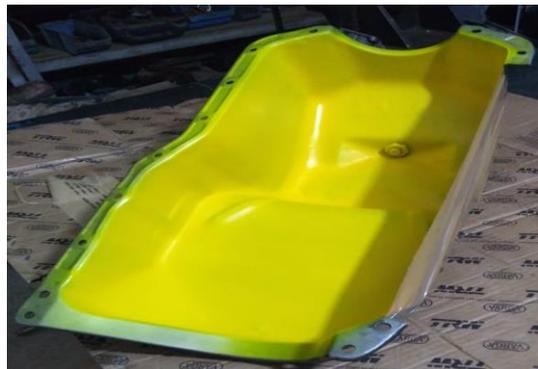
O cabeçote do motor é formado por ferro fundido, sendo este um material de alta resistência a intempéries como calor e devido tais característica o corte dessa parte foi feito através de uma esmerilhadeira angular elétrica proporcionando um corte regular e dando melhor acabamento, demonstrando na figura 5.

Figura 5. Cabeçote do motor cortado (Autores, 2019)



O Cárter (figura 6) é a parte inferior do motor que armazena óleo lubrificante, consiste numa tampa estampada em aço, resistente ao choque. Foi cortado sem preocupação com as suas medidas, utilizando-se uma esmerilhadeira angular. A bancada funciona a partir de um motor elétrico, portanto, não terá necessidade de fluido lubrificante.

Figura 6. Cárter (Autores, 2019)



O motor utilizado tem acoplado um turbocompressor em cortes parciais onde é possível visualizar os elementos do conjunto, a sobrealimentação é capaz de aumentar o rendimento do motor gerando mais torque e potencia. Na figura 7 abaixo é apresentada a bancada onde o mesmo será colocado. A bancada possui peso de 110 kg e as respectivas dimensões 125 cm x 135 cm x 62 cm.

Figura 7. Bancada do motor (Autores, 2019)



3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tabela 1 abaixo representa as especificações do motor utilizado na confecção da bancada e a partir desses dados vamos obter os valores de cilindrada e taxa de compressão.

Tabela 1. Especificação do motor (MAHLE, 2016)

Motor	Chevrolet Opala/ gasolina
Pistão MH	E-14410
Pistão ML	P-1273
Quantidade de cilindros	4
Ø dos cilindros, mm	101,60
Curso, mm	76,20
Folga pistão/ Cilindros, mm	0,03 a 0,05

A partir da fórmula abaixo é possível obter a sua cilindrada:

$$V = \frac{n.C.\pi.d^2}{4} \quad (1)$$

$$V = \frac{4 \times 76,20 \times \pi \times 101,60^2}{4} = 2471,11 \text{ cm}^3$$

A taxa de compressão é dada pela seguinte fórmula:

$$\varepsilon = \frac{VP_{mi}}{VP_{ms}} = \frac{V_{varrido} + V_{cc}}{V_{cc}} \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{617,77}{88,12} = 7,01:1$$

De acordo com as classificações descritas anteriormente no trabalho, concluímos que o motor utilizado na bancada, tem as seguintes classificações:

Quanto à ignição: O motor utilizado na bancada é classificado como de ignição por faísca ou Otto, a mistura ar-combustível é admitida no interior dos cilindros e inflamada através de uma faísca que ocorre entre os eletrodos de uma vela, porém o motor terá uso didático, com auxílio de um motor elétrico ligado a um redutor para dar partida ao seu movimento.

Sistema de alimentação de combustível: O motor da bancada é alimentado por meio de um sistema de injeção mecânica de combustível, porém o motor terá uso didático, com uso de um motor elétrico ligado a um redutor para dar partida ao seu movimento.

Disposição dos órgãos internos: Quanto à geometria, o motor usado na bancada é em linha, com a vantagem de ter baixo custo, simplicidade de construção e montagem, proporcionando um melhor aprendizado aos futuros engenheiros.

A figura 8 representa todo o motor à combustão, com o corte longitudinal, detalhando-o internamente, o que proporciona melhor visibilidade dos elementos internos e melhor entendimento de como funciona um motor a combustão interna.

Figura 8. Motor com cortes parciais (Autores, 2019)



4. CONCLUSÃO

Ao fim desse estudo podemos concluir que os objetivos propostos foram cumpridos e apresentados através da pesquisa prática, baseado em levantamento de dados e experiência laborativa, o funcionamento de um motor à combustão interna, a partir do desenvolvimento de uma bancada de estudos, servindo como auxílio a professores na apresentação de teorias nas práticas e melhorando o aprendizado dos alunos.

Foi apresentada através de cálculos, a cilindrada do motor conforme equação (1) e sua taxa de compressão, conforme equação (2). Verificou-se também após a produção do protótipo, que a aplicação de uma bancada de estudos em aulas teóricas pode ser de grande utilidade, tornando as aulas mais rentáveis e prazerosas para os alunos.

Conclui-se que a bancada poderá exercer um papel fundamental na aprendizagem dos discentes uma vez que a mesma permite e aprimora a capacidade de visualizar conceitos aprendidos na teoria de forma prática.

5. REFERÊNCIAS

BOCAFOLI, Francisco. **Segunda lei da termodinâmica**. 2018. Disponível em: <<http://fisicaevestibular.com.br/novo/fisica-termica/termodinamica/segunda-lei-da-termodinamica/>>. Acesso em 21 de nov. 2018.

BRUNETTI, Franco et al. **Motores de combustão interna**. 2. ed. vol 1. São Paulo: Blucher, 2018.

BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2016.

CARUP, serviços automotivos. **A história de motores de combustão interna**. 2017. Disponível em: <<https://autocarup.com.br/historia-motor-a-combustao/>>. Acesso 02 out.2018.

MAHLE. 2016. Disponível em:< <https://catalog.mahleaftermarket.com/br/modules/motorComponent/index.xhtml?jsessionid=9D983AB7669A2AF6D2535C687A89445D>>. Acesso em 20 de Maio de 2019.

MARTINS, Jorge. **Motores de Combustão Interna**. 4. ed. São Paulo: Publindústria, 2013.

MORAN, Michael J; SHAPIRO, Howard N. Princípios de termodinâmica para engenharia. LTC editora, 2008.

MCROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. São Paulo: Novatec, 2011.

PEREIRA, José Tomaz Vieira. **Apostila de Termodinâmica I**. 2019. FEM, Unicamp. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/textos/apostila5.htm>. Acesso em 21 de maio de 2019.

ROCHA, Gionei da. **História do Motor a Combustão Interna ciclo “Otto”**. 2009a Disponível em: <<http://www.infomotor.com.br/site/2009/01/historia-do-motor-a-combustao-interna-ciclo-otto/>>. Acesso 02 out.2018.

ROCHA, Gionei da. **Princípio de Funcionamento do Motor a Combustão Interna Ciclo Otto**. 2009b Disponível em: <<http://www.infomotor.com.br/site/2009/03/principio-defuncionamento-do-motor-a-combustao-interna-ciclo-otto/>>. Acesso 2 out.2018.

SOUZA, Felipe Rossato de. **Bancada didática de máquina a vapor**. Pato Branco, 2017. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/922/1/PB_DAMEC_2017_2_10.pdf>. Acesso 02 de out. 2018.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.