



## Análise do desempenho de um motor via ciclo Otto: teoria e proposta experimental para o ensino de ciências

André Luiz Alves\*; Antônio Carlos Barboza Zancanella\*\*

\* Universidade Federal do Espírito Santo, UFES. Departamento de Ciências Naturais, DCN.

\*\*Instituto Federal do Espírito Santo (IFES/ Campus São Mateus). Coordenadoria do Curso de Engenharia Mecânica.

\*Autor para correspondência e-mail: [andre.alves@ufes.br](mailto:andre.alves@ufes.br)

### Palavras-chave

Multidisciplinaridade  
Ciclo Otto  
Instrumentação  
para o Ensino  
Desempenho de  
um motor

### Keywords

Multidisciplinary  
Otto Cycle  
Instrumentation for  
Teaching  
Engine performance

**Resumo:** Este trabalho tem como foco avaliar grandezas físicas associadas ao desempenho de um motor de bancada via ciclo Otto, alimentado com gasolina proveniente de quatro postos de abastecimento. É um trabalho com característica multidisciplinar envolvendo física, engenharias, questões econômicas e ambientais. O estudante, ao utilizar esse sistema, tem acesso a instrumentos de medição que possibilitam obter parâmetros físicos associados ao desempenho de um motor. O sistema é constituído de um motor da marca Renault com volume da câmara de combustão de 1,6 litros. Registrou-se o consumo de combustível, temperatura, vibração e o teor de álcool em cada gasolina utilizada. Os resultados mostraram que o consumo de combustível foi maior em gasolinas com maior teor de álcool. Observou-se uma variação máxima de 5°C no regime de funcionamento do motor. Conclui-se que o consumo é afetado pelo teor de álcool de cada gasolina e a vibração proveniente do motor se altera conforme o teor de álcool.

### Performance analysis of an Otto cycle engine: theory and experimental proposal for science teaching

**Abstract:** The present work focuses on evaluating physical quantities associated with the performance of an Otto cycle engine, fueled with gasoline from four gas stations. It is a multidisciplinary work involving physics, engineering, economic and environmental issues. The same observes that the knowledge acquired during graduation can be applied in other areas, making physics more practical and closer to their daily lives. The system consists of a Renault engine and has a combustion chamber volume of 1.6 liters. Fuel consumption, temperature, vibration and alcohol content were recorded. The results showed that fuel consumption was higher in gasolines with higher alcohol content. A maximum variation of 5°C was observed in the engine operating regime. It is concluded that consumption is affected by the alcohol content of each gasoline and the vibration from the engine changes according to the alcohol content.

Recebido em: 10/09/2023

Aprovação final em: 10/12/2023



## Introdução

Este trabalho trata sobre fatores que influenciam no desempenho de automóveis associados ao uso de combustível. Aqui demonstra-se como diferentes combustíveis com diferentes teores de álcool, provenientes de diferentes postos, podem afetar o funcionamento de um motor, no que diz respeito ao consumo médio, às vibrações e ao aquecimento. É um tema que trata sobre ciência e a vida cotidiana de uma população, fatores econômicos e ambientais.

Um indivíduo, em sua formação, deve ter a consciência de que ao escolher um produto, este lhe trará o melhor custo benefício possível e que o cuidado com ele não o levará a endividamentos. Em matéria do site do jornal "Hoje em Dia" e repercutido pelo site da "AEF Brasil", 25% da população com nome sujo tem entre 18 e 30 anos (SILVA, 2020), reflexo da falta de se conscientizar os estudantes em educação financeira. Especificamente neste trabalho conscientiza-se o estudante de que abastecer um veículo em qualquer posto de abastecimento, devido a ofertas generosas, não é adequado, visto que o combustível pode vir com adulterações, podendo prejudicar o funcionamento de seu veículo, ocasionando em danos e elevados custos com manutenção.

Portanto, é papel da escola e das universidades contribuir para a formação de cidadãos autônomos, competentes e solidários. Torna-se necessário a conscientização da educação financeira, interagindo com outras áreas de forma interdisciplinar. Neste trabalho essa interação ocorreu com a física e com uma área do ensino técnico em mecânica. O estudante, utilizando-se de instrumentos de medições, conseguiu avaliar como gasolinas de diferentes postos podem afetar no desempenho de um motor de combustão interna, via ciclo Otto. Além de aprender técnicas específicas associadas ao desempenho de um motor o mesmo adquiriu conhecimentos mais aprofundados sobre o funcionamento de um motor a combustão interna, regido pelo ciclo Otto real, que não são abordados em livros de física básica.

Adicionalmente, relacionado às questões ambientais, vive-se hoje um cenário no qual é necessário o uso de energias renováveis e minimização do uso de combustíveis derivados do petróleo (CARVALHO, 2016). Novas tecnologias vêm melhorando o desempenho dos veículos automotores, no entanto, atenta-se para o fato que além de reduzir os níveis de poluentes deve-se promover meios de utilizar o mínimo possível de combustível. Não basta apenas melhorar a eficiência dos motores a combustão, deve-se também melhorar a desempenho dos combustíveis comercializados, para que os mesmos ofereçam uma maior autonomia e menor quantidade poluentes ambientais (CARVALHO, 2016). Levando em consideração este cenário, analisar a qualidade das gasolinas comercializadas é de grande importância para os estudantes e para sociedade, pois impactará diretamente na longevidade do motor do veículo e no custo do transporte. (COUTO et al., 2019). Este trabalho foi desenvolvido por um estudante finalista do curso de Licenciatura em Física e possui características experimentais e de multidisciplinaridade. O trabalho, de cunho experimental, foi desenvolvido em colaboração com o IFES, Campus São Mateus, ES.

Um motor a combustão interna é uma máquina térmica que transforma calor de uma reação química em trabalho mecânico. Existem dois ciclos termodinâmicos utilizados em motores: ciclos Otto e Diesel. No ciclo Otto, necessita-se de centelha para iniciar o processo de queima de combustível. No ciclo Diesel, devido à alta compressão da mistura ar-combustível, não é necessária centelha (MEDEIROS, 2018). O foco deste estudo está no desempenho dos motores Otto, de modo que não será abordado o ciclo Diesel.

Em 1876 Nikolaus Otto desenvolveu o primeiro motor a combustão interna, que operava em uma sequência de quatro etapas. No entanto, Otto não utilizou este motor em automóveis, deixando esta tarefa a cargo de Gottlieb Daimler e Carl Benz realizassem os primeiros protótipos (ALBALADEJO, 2013). O ciclo teórico que modela o funcionamento do motor a gasolina e álcool é o ciclo padrão a ar Otto. Neste ciclo considera-se que o fluido de trabalho é apenas o ar. O diagrama Pressão – Volume (PV) está ilustrado na Figura 1.

Inicialmente o ar é comprimido dentro da câmara de combustão, em um processo modelado com adiabático (1 para 2). Essa etapa ocorre rapidamente, de modo que não há tempo para troca de calor. Quanto atinge-se o volume mínimo, denominado de Ponto Morto Superior (PMS), a centelha é pro-



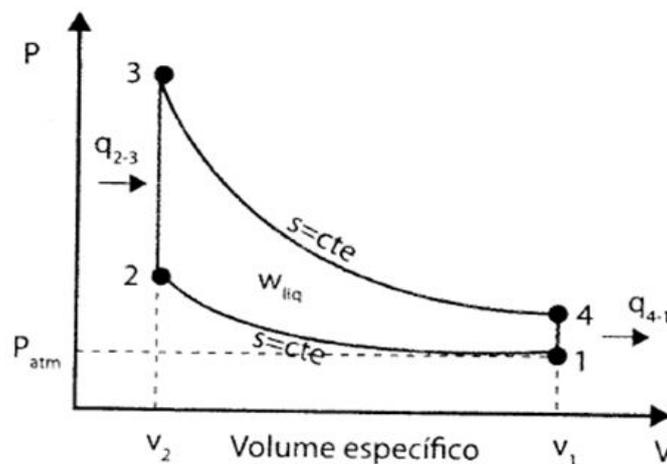
duzida por uma vela que queima o combustível mantendo o volume específico constante (2 para 3). Nesta etapa ocorre um aumento da energia interna do sistema elevando a temperatura e pressão. Devido ao aumento de pressão dentro da câmara de combustão o pistão utilizado no motor move-se rapidamente em uma expansão adiabática (3 para 4) até o Ponto Morto Inferior (PMI), de volume . Por fim os gases provenientes da queima do combustível são expelidos para atmosfera e uma nova mistura de ar-combustível é injetada na câmara de combustão (4 para 1). Essa etapa final é modelada como um processo de rejeição de calor a volume constante (VAN WYLEN et al., p.274, 2006).

Considerando que o calor específico do ar permanece constante durante o processo, a eficiência () do ciclo Otto é função apenas da taxa de compressão do motor, dado pela equação:

$$\eta_V = 1 - \frac{1}{\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1}}, \quad (1)$$

nos quais:  $V_1$  é o volume específico no ponto 1 (PMI), em  $\text{m}^3/\text{kg}$ ;  $V_2$  é o volume específico no ponto 2 (PMS), em  $\text{m}^3/\text{kg}$ ;  $k$  é o quociente entre o calor específico a pressão constante e o calor específico a volume constante para o ar.

Figura 1 - Ciclo teórico de Otto de um motor a combustão.



Fonte: Van Wylen (2006, p.274).

Deve-se atentar para o fato de uma das formas de aumentar o rendimento de um motor a combustão é alterar a chamada taxa de compressão. No entanto, o combustível deve resistir a esse aumento de compressão sem detonar antes da centelha ser produzida (VAN WYLEN et al., p.274, 2006). Com o objetivo de permitir maiores compressões, adiciona-se álcool à gasolina, aumentando assim a eficiência térmica do motor (CARVALHO, 2016).

O ciclo Otto apresentado na Figura 1 é um modelo idealizado, não correspondendo exatamente ao que ocorre na realidade. Primeiramente um ponto importante a ser observado é que, os calores específicos dos gases aumentam com a temperatura, estando diretamente relacionada com a taxa de compressão. A temperatura pode chegar até  $800^\circ\text{C}$  no motor a diesel e no motor a gasolina chega a  $450^\circ\text{C}$  (MEDEIROS et al., 2018). Outros fatores a serem considerados são: (i) quanto maior a compressão maior a temperatura dos gases da combustão, (ii) a queima do combustível pode ser incompleta, (iii) as válvulas de admissão e exaustão do motor consomem trabalho, (iv) para admitir e exaurir os gases existe uma transferência de calor entre as paredes do cilindro (VAN WYLEN et al.,

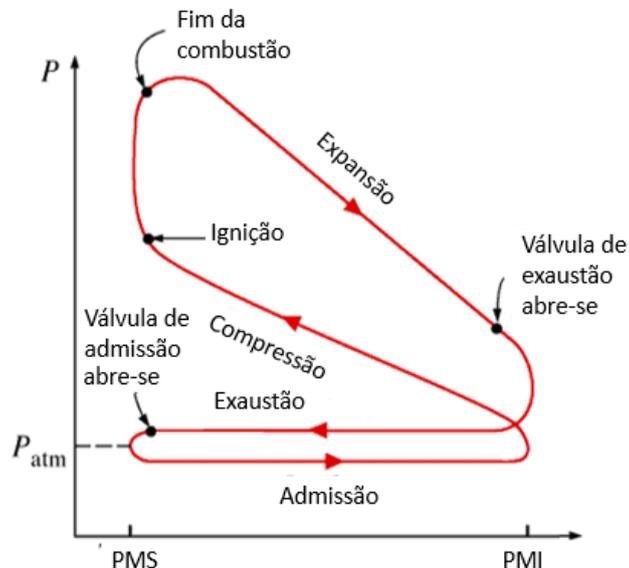


p. 276, 2006).

O ciclo real de combustão Otto está ilustrado na Figura 2. O ciclo inicia-se com a abertura da válvula de admissão. Nesta etapa, o ar e o combustível pulverizado são succionados para câmara de combustão, a uma pressão ligeiramente inferior à atmosférica. A sucção se dá pelo aumento no volume da câmara de combustão desde o volume no PMS, até o volume no PMI. A partir daí, inicia-se então a etapa de compressão da mistura. Neste momento ocorre um aumento da pressão interna do motor. Pouco antes do pistão atingir o curso máximo no PMS, é produzido a centelha pelas velas, momento no qual a queima da mistura é iniciada. Então, a um volume aproximadamente constante, ocorre o processo de combustão, durando cerca de 10 ms (ANDRADE, 2007).

Após o fim da combustão inicia-se a expansão, etapa onde o combustível move o pistão gerando trabalho útil. Pouco antes do fim da expansão, a válvula de exaustão se abre, e neste momento inicia-se o processo de exaustão dos produtos finais da combustão. No processo de exaustão, a câmara inicia-se cheia no PMI e termina vazia no PMS. Ao fim da etapa de exaustão começa novamente a etapa de admissão. No ciclo real tanto a admissão quanto a compressão não são processos adiabáticos, pois ocorre troca de calor com as paredes da câmara de combustão. Gasta-se energia na etapa de admissão e exaustão, o que não é levado em conta no ciclo teórico (ANDRADE, 2007).

Figura 2 - Ciclo Otto real.



Fonte: Andrade (2007).

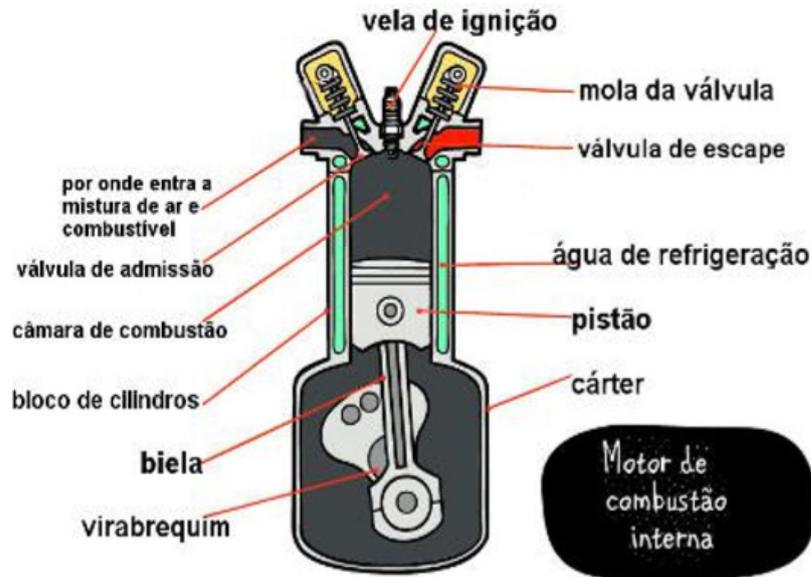
No motor de combustão via ciclo Otto, o funcionamento é baseado na transformação do movimento linear do pistão em movimento rotacional no virabrequim (Figura 3). O virabrequim é um eixo excêntrico que conectado a biela ao pistão movendo-se em rotação de acordo com a quantidade de combustível queimado. As válvulas são responsáveis por admitirem ar e combustível para dentro da câmara de combustão e exaurir aos produtos finais, direcionando esses gases para o sistema de escapamento do veículo.

Os motores a combustão de veículos normalmente operam em quatro etapas distintas (Figura 4), que são finalizadas em dois giros do virabrequim, correspondente a  $720^\circ$  de rotação, sendo que cada etapa gira em  $180^\circ$ . Na primeira etapa ocorre a admissão da mistura ar-combustível e na segunda etapa ocorre a compressão da mistura, modelado no ciclo teórico como sendo uma compressão adiabática devido a rapidez do processo. Na terceira etapa, quando o pistão chega ao PMS, a centelha é gerada através da vela, no qual ocorre a combustão. Nesta etapa tem-se o fornecimento de uma elevada quantidade de energia e, assim, os gases aumentam a pressão e a temperatura drasticamente, movendo o pistão e gerando uma expansão, também modelada como adiabática. A última etapa é a exaustão dos gases para o sistema de escapamento. Devido as quatro etapas



ocorrerem em tempos distintos, esse tipo de motor é conhecido como motor de quatro tempos (MEDEIROS *et al.*, 2018).

Figura 3 - Partes internas do motor a combustão via ciclo de Otto.

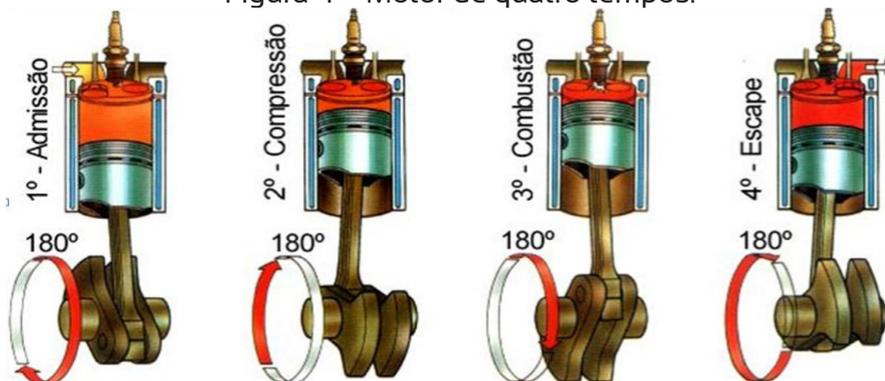


Fonte: Medeiros (2018).

No motor com quatro tempos, o ciclo térmico é finalizado quando o eixo de manivelas gira  $720^\circ$ , neste caso o pistão sobe duas vezes e desce duas vezes. O motor de ciclo Otto também pode operar na forma de dois tempos, nesse caso, o ciclo completo se processa quando o eixo de manivelas gira em  $360^\circ$ , ou seja, o pistão executa apenas um movimento para cima e outro para baixo (ANDRADE, 2007).

O funcionamento de um motor a combustão interna depende do aumento da pressão interna durante a etapa de compressão. Para que isso ocorra, é necessário comburente (oxigênio aspirado do ar), combustível (gasolina, álcool ou gás natural veicular) e calor (proveniente da centelha gerada nas velas). A proporção de combustível e comburente (ar-combustível) deve ser adequada para que não ocorra queima incompleta de combustível ou excesso de comburente. Só para se ter ideia, a reação interna de queima do combustível em uma rotação de 3000 RPM ocorre em cerca de 10 ms em cada ciclo (ALBALADEJO, 2013).

Figura 4 – Motor de quatro tempos.

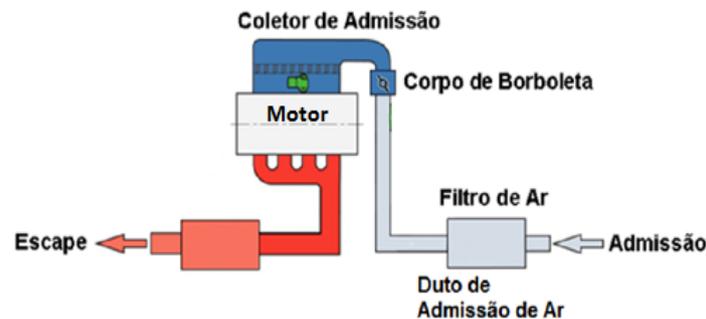


Fonte: Medeiros (2018).



Para o correto funcionamento o ar deve ser admitido no duto de admissão, sendo posteriormente filtrado para eliminação de impurezas que possam prejudicar o funcionamento do motor (Figura 5). Após passar pelo filtro de ar, o ar é dosado por um corpo de borboletas e segue para o coletor de admissão. Nos motores antigos a dosagem de ar e combustível era controlada pelo carburador. Atualmente utiliza-se o sistema de injeção eletrônica que garante uma melhor relação estequiométrica entre ar e combustível. Como já discutido anteriormente, estes são aspirado pelas válvulas de admissão e queimados na câmara de combustão. Terminado o processo de combustão, os produtos finais da queima são exauridos pelas válvulas de exaustão e seguem para o escape (ALBALADEJO, 2013).

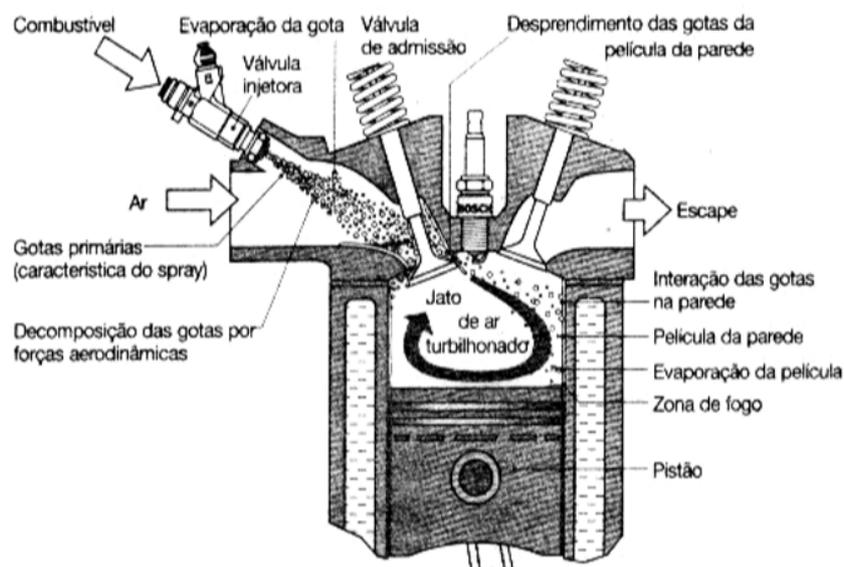
Figura 5 - Sistema de admissão de ar de um automóvel.



Fonte: Volkswagen (2009).

O combustível é dosado no motor através das chamadas válvulas injetoras (Figura 6). Nela é controlado a quantidade correta de combustível fornecida para câmara de combustão. O combustível é aspergido na forma de gotas (*spray*) e mistura-se com o ar proveniente do coletor de admissão. Deve-se observar que quanto mais turbulento for a mistura, maior será a eficiência da queima. A mistura ar-combustível segue para câmara de combustão onde ocorre a queima. Após a reação de combustão, os gases seguem para o escape (ANDRADE, 2007).

Figura 6 - Sistema de alimentação de um motor de combustão interna.



Fonte: Andrade (2006).



As velas fazem o papel de iniciar o processo de combustão. A posição e o tempo onde a vela inicia a centelha é fundamental para o desempenho de um motor de combustão interna. Se a centelha for produzida antes do pistão chegar no ponto morto superior ocorrerá uma pressão contrária ao movimento, gerando assim um trabalho negativo. Caso a centelha seja produzida depois do ponto morto superior, ocorre um aumento na transferência de calor para o bloco do motor e para o sistema de escape, pois ainda estará ocorrendo queima quando as válvulas de escapamentos estiverem abertas (CHAO et. al., 2003).

Uma variável importante no estudo do desempenho do motor a combustão interna é a eficiência volumétrica ( $\eta_v$ ), que pode ser definida como a razão entre a vazão mássica de ar no conduto de admissão dividido pelo produto entre a densidade da mistura, o volume deslocado pelo pistão e a rotação:

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_i}{\rho_i V_d N'} \quad (2)$$

nos quais  $\dot{m}_i$  é a vazão mássica no conduto de admissão da mistura (em kg/s);  $\rho_i$  é a densidade da mistura (em kg/m<sup>3</sup>);  $V_d$  é o volume deslocado pelo pistão entre o PMI e o PMS (em m<sup>3</sup>);  $N'$  é a rotação do motor em rotações por segundo (em RPS). A potência desenvolvida pelo motor depende principalmente da quantidade de ar admitida. Maior massa de ar significa maior possibilidade de injetar mais combustível, conseqüentemente maior energia na combustão. Outra forma de aumentar a eficiência volumétrica é através da redução da densidade do ar da admissão. Para este fim utiliza-se um trocador de calor chamado de intercooler, que possui o objetivo de resfriar o ar que entra na câmara de combustão, possibilitando um aumento da vazão mássica,  $\dot{m}_i$ , na Equação (2) (SILVA, 2018).

### Materiais e Métodos

Para análise dos combustíveis foram selecionadas gasolinas provenientes de quatro postos de abastecimento, localizados no município de São Mateus, ES. No estudo, o estudante utilizou apenas a gasolina. Os combustíveis foram avaliados utilizando-se o motor de bancada disponível no Instituto Federal do Espírito Santo, IFES – São Mateus. O motor utilizado, da marca Renault, está apresentado na Figura 7. Este possui volume da câmara de combustão de 1,6 litros, podendo ser abastecido com álcool ou gasolina, com sistema de injeção eletrônica.

Para medição do consumo foi utilizado a balança analítica da marca Ramuza DPR300, com uma incerteza de 10g, disponível no laboratório de Metalografia e Química do IFES. Inicialmente o tanque de combustível da bancada foi colocado sobre a balança e realizou-se o procedimento de tarar a balança. Após tarada a balança, foi despejada a amostra de combustível no recipiente e registrou-se a massa inicial do combustível (Figura 8). Uma vez em funcionamento, o motor começou a consumir o combustível do tanque, assim, registrou-se a perda de massa a cada 1 minuto durante 20 minutos para cada amostra. Para registro do tempo, utilizou-se um cronometro com incerteza de 1 segundo.

No processo de medição da temperatura, utilizou-se a câmera termográfica da marca Testo 880 com a incerteza de 1°C na medição de temperatura. A temperatura foi monitorada no bloco do motor (onde movem-se os pistões) (Figura 9) e, para isto, precisou-se da emissividade do ferro fundido, que de acordo com a literatura, é de 0,44 (CENGEL, 2009). A mesma foi monitorada no início e no fim de cada avaliação de combustível. Tomou-se como início da medição de consumo o momento em que o eletro-ventilador do radiador do motor foi acionado. Neste momento registrou-se para cada combustível a temperatura de início dos testes. As medições foram realizadas apenas para a rotação do motor fixada em 1500 RPM.



Figura 7 - Motor de bancada Renault Clio 1.6 total flex.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Figura 8 - Balança analítica Ramuza DPR300.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).



**Figura 9** – Estudante realizando o monitoramento da temperatura do bloco do motor.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

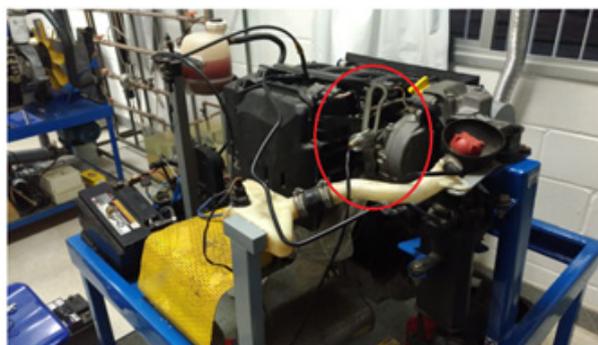
Para análise de vibração, utilizou-se o equipamento TEKNIKAO SDAV, disponível no laboratório de manutenção mecânica do IFES. O Sensor foi instalado sobre o coxim do motor para captação da vibração vertical e sobre o suporte do alternador para captação da vibração longitudinal (Figura 10).

**Figura 10** – (a) Sensor instalado sobre o coxim do motor para captação da vibração vertical e (b) sensor instalado sobre o suporte do alternador para captação da vibração longitudinal.

(a)



(b)



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Para medição da quantidade de álcool nas gasolinas utilizou-se como instrumento de medição de volume uma proveta da marca DIOGOLAB, cuja a menor divisão da escala é de 5 ml. Utilizou-se cerca de 100 ml de combustível na proveta. Posteriormente adicionou-se água na gasolina, fazendo com que ocorresse uma separação de fases, conforme procedimento descrito por Ferreira (2010). A mistura heterogênea resultante, proveniente da gasolina, formou uma fase álcool e água (mais densa) e uma fase gasolina sem álcool. Mediu-se o volume inicial da gasolina (gasolina mais álcool) e o volume final da gasolina (após retirada do álcool), desta maneira calculou-se a quantidade de álcool presente na mistura.



## Resultados e Discussões

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados das medições da quantidade de álcool nos quatro postos onde coletou-se as amostras. As medições foram repetidas três vezes, para a obtenção da incerteza. Nesta etapa o estudante coloca em prática aprendizados adquiridos em disciplinas de física experimental. Através de medições, observou-se que as maiores porcentagens em volume de álcool são dos postos B, C e D.

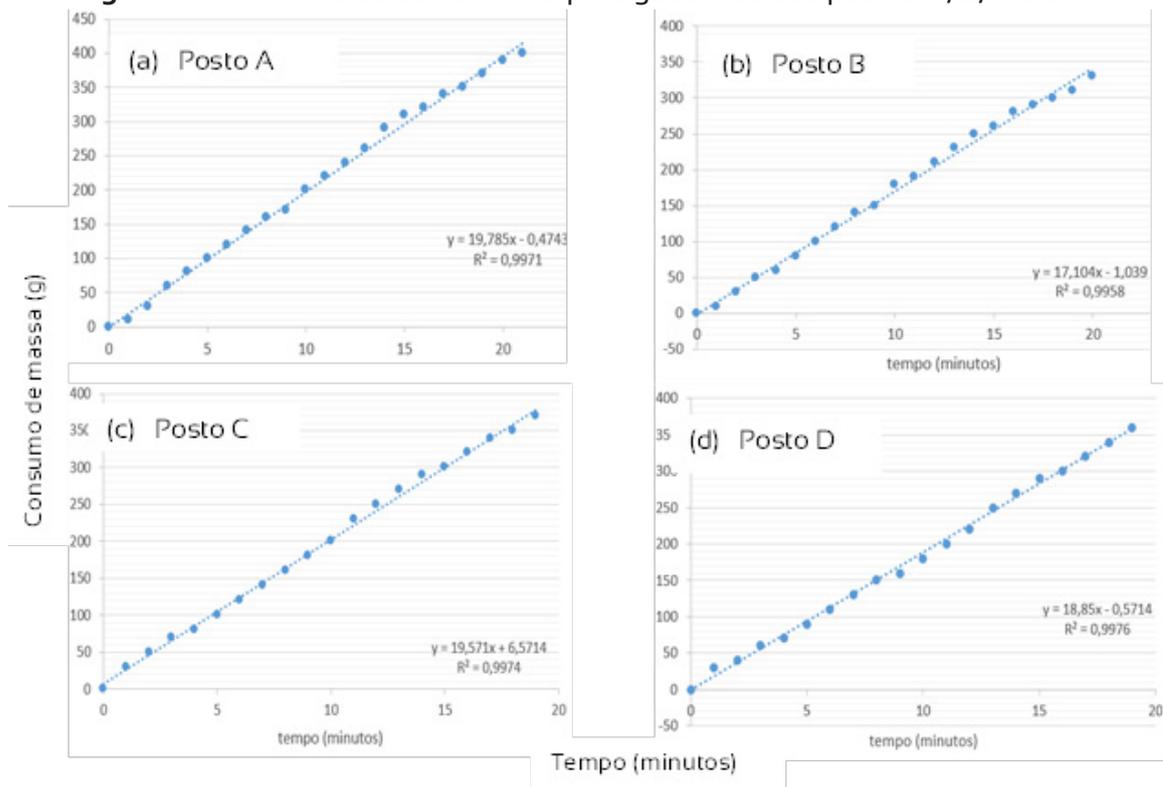
**Tabela 1 - Porcentagem de álcool na gasolina.**

Posto de coleta	Porcentagem em volume de álcool
A	$(20 \pm 2) \%$
B	$(23 \pm 2) \%$
C	$(23 \pm 2) \%$
D	$(23 \pm 2) \%$

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

As medidas de consumo, registradas em função do tempo, estão apresentadas na Figura 11(a) - (d) para as gasolinas coletadas nos diferentes postos. A relação do consumo com o tempo possui uma tendência tipo linear, cuja inclinação representa o consumo médio. Os resultados obtidos do ajuste linear, bem como a faixa de temperatura onde se iniciou e terminou as medidas, estão apresentados na Tabela 2.

**Figura 11 – Consumo de combustível para gasolinas dos postos A, B, C e D**



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).



**Tabela 2** - Valores obtidos de consumo médio por unidade de tempo, para gasolinas coletadas nos postos A, B, C e D.

Posto de coleta	A	B	C	D
Consumo médio (g/min)	17 ± 2	20 ± 2	20 ± 2	19 ± 2
Faixa de temperatura (°C)	163 – 167	166 - 167	163 – 168	163 – 165

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Observou-se que todas as amostras de gasolina coletadas estão conforme a legislação vigente, a Lei 10.203/01, que estabelece que a gasolina aditivada, assim como a comum, deve receber entre 20% e 24% de álcool etílico anidro combustível. O menor valor de consumo foi fornecido pelo posto A, já os maiores consumos foram fornecidos pelos demais postos. Ao longo das medições, observou-se que o bloco do motor se manteve e média entre (163 a 168) °C. A medida que a temperatura ultrapassava os 160°C o eletroventilador do motor era acionado, resfriando assim o motor durante a operação.

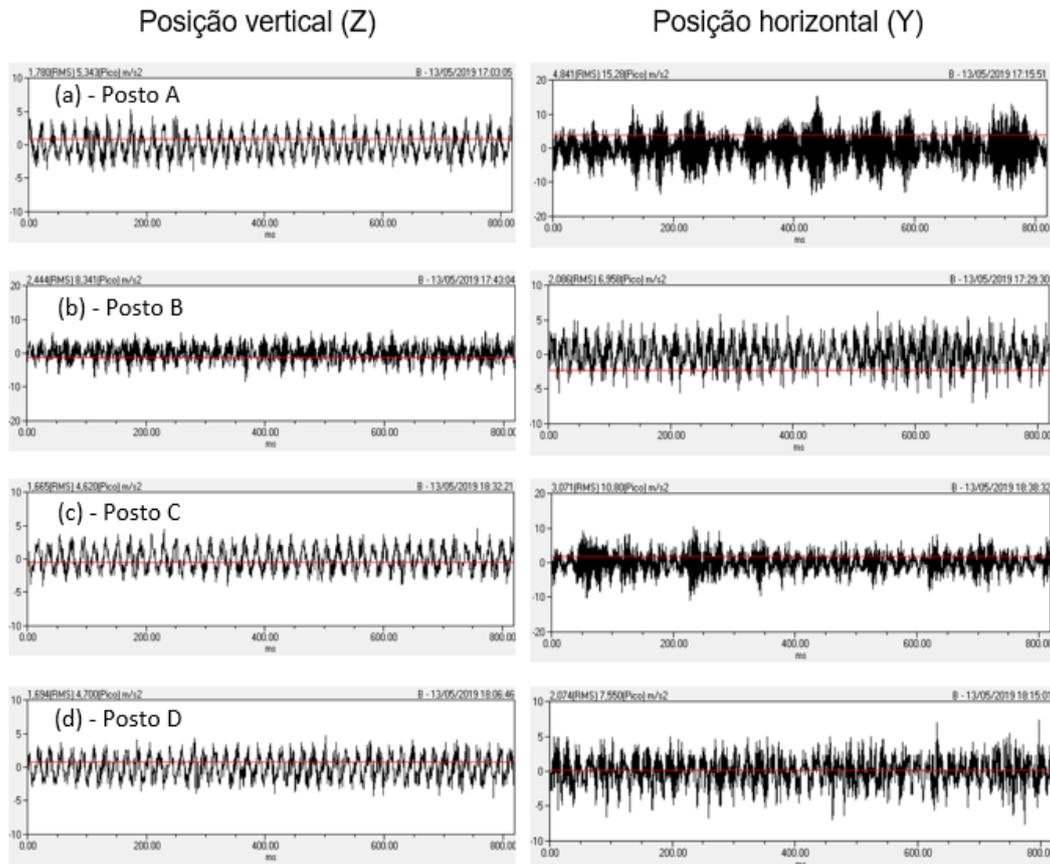
Observou-se que as gasolinas com maiores teores de álcool, apresentaram um maior consumo de massa por minuto. Este resultado está de acordo com os resultados obtidos por Carvalho (2016) e Klein (1996). O primeiro autor avaliou o desempenho de um motor a combustão interna de ciclo Otto utilizando gasolinas com 25% de álcool, gasolina com 50% de álcool, gasolina com 75% de álcool, Álcool Etílico Anidro Combustível e Álcool Etílico Hidratado Combustível. Para avaliação foi utilizado um motor de bancada do fabricante Chevrolet de 1.4 litros, um dinamômetro automotivo e uma balança analítica para medição do consumo. Analisou-se primeiramente o torque do motor em diferentes rotações para os diferentes combustíveis. O autor observou que, em média, maiores teores de álcool ocasionam em um aumento de torque disponível no motor. Posteriormente, estudou-se a relação entre potência e a rotação do motor para os combustíveis supracitados. Foi possível concluir que, em média, maiores teores de álcool na mistura acarretaram em um aumento na potência disponível do motor e conseqüentemente maior consumo de combustível.

Já o segundo autor avaliou o desempenho, utilizando como combustível álcool com diferentes teores de água destilada. Foi utilizado um motor de combustão interna de 1,6 litros, com uma taxa de compressão de 12:1 e alimentação de combustível via carburador de corpo duplo. Utilizou-se as porcentagens em massa de álcool de 94,8%, 89,0% e 84,0%. O autor observou que o torque disponível no motor reduz a medida que o teor de álcool diminui. Quanto ao consumo específico, observou-se que o combustível com 88,5% de álcool resultou em um menor consumo do que o teor de 94,8%. Klein atribuiu este fenômeno ao aumento da densidade do combustível com a adição de água destilada, o que causou maior dificuldade de o combustível escoar pelos dutos do carburador, resultando assim em um menor consumo específico.

Os gráficos de vibração (em unidades de  $m/s^2$ ) para o sensor posicionado na direção vertical (Z) e horizontal (Y) estão indicados na Figura 12(a) - (d) para as gasolinas coletadas nos postos A, B, C e D, respectivamente. As faixas de aceleração estão entre  $-5 m/s^2$  a  $+5 m/s^2$  e na faixa de tempo entre 0 ms e 800,00 ms. Na Tabela 3, está resumido os valores obtidos destas análises. Observou-se que o acelerômetro registrou valores maiores de aceleração no sentido de Y. Este fato é explicado devido a conservação do momento angular, pois o eixo virabrequim gira no sentido oposto ao da vibração. Observa-se também que a gasolina com menor teor de álcool (posto A) apresentou um maior valor de vibração no eixo Y.



Figura 12 - Resultados obtidos nos acelerômetros nas posições vertical e horizontal.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Tabela 3 – Acelerações média e máxima nas posições Z e Y.

Posição do acelerômetro	Acelerações (m/s <sup>2</sup> )	A	B	C	D
Posição Z	média	1,78	2,09	1,69	1,67
	máxima	5,34	6,96	4,70	4,62
Posição Y	média	4,84	2,44	2,07	2,07
	máxima	15,28	8,34	7,55	7,55

Fonte: Elaborada pelos autores (2023)

Este resultado difere do observado por Gutiérrez (2017). O autor analisou a vibração em um motor de combustão interna via ciclo Otto operando com gasolina aditivada. Em sua pesquisa, Gutiérrez utilizou gasolina aditivada com 11,6% e 10,7 de álcool. Observou-se que a gasolina de menor teor de álcool apresentou menores valores de vibração, comparando a quantidade de álcool com o presente trabalho (Posto A com 20% de álcool). A gasolina aqui analisada apresenta maiores valores de álcool, além disso a octanagem e qualidade da gasolina pode ter influenciado nos resultados aqui observados.

Enfim, para a informação dos leitores, o que é mais viável sobre o uso de combustíveis? Sabe-se da literatura que quanto à finalidade de economia e autonomia, o combustível tipo gás natural é indicado, entretanto a potência disponível pelo motor é menor, reduzindo assim a performance do veículo. O álcool proporciona uma maior potência e performance, no entanto uma menor autonomia de combustível. Economicamente a gasolina é uma opção atrativa, visto que apresenta



um desempenho intermediário entre GNV e álcool e um consumo de combustível menor que o álcool (GADELHA, 2016).

### Conclusão

O trabalho aqui apresentado é relevante para o estudante, pois ele coloca em prática diversas teorias aprendidas na graduação, como interpretação do ciclo Otto real, realização de medições e interpretação de gráficos e estudo de um sistema que envolve o desempenho de uma máquina térmica e relações com gastos.

De acordo com a literatura, a porcentagem obrigatória de álcool que deve ser adicionado na gasolina é em torno de 25%. Isso é feito porque o etanol funciona como um antidetonante da gasolina nessas proporções, ou seja, ele aumenta o seu índice de octanagem, resistindo a maiores compressões. Isso se deve ao fato de o poder calorífico do etanol ser menor. Além disso, a gasolina com etanol libera menos monóxido de carbono para o meio ambiente. No entanto, a adição de etanol à gasolina acima do limite traz danos ao veículo, por exemplo, o carro começa a falhar, sendo preciso dar a partida várias vezes para voltar a funcionar; as peças do sistema de injeção eletrônica são corroídas, além dos outros problemas mostrados no texto que foi mencionado acima.

Neste trabalho, as quatro gasolinas analisadas apresentaram consumos distintos: a gasolina com menor teor de álcool (posto A, com 20% em volume de álcool) atingiu um consumo de 17 g/min, já os postos com maior teor de álcool resultaram em um consumo médio em torno de 20 g/min.

A temperatura de operação do motor a combustão interna permaneceu estável ao longo da operação, não sendo observado desvios significativos de temperaturas com a mudança de combustível. Isso é devido ao teor de gasolina estar dentro do limite estabelecido. A vibração média da gasolina com menor teor de álcool é comparável com as demais. Entretanto, a vibração vertical é maior. Isso se deve ao maior poder calorífico da gasolina, que aumenta as pressões nas partes internas do motor. Além disto observou-se destes estudos que o uso da gasolina, com teores de álcool dentro dos padrões, aumenta a eficiência do motor.

### Agradecimentos

Agradecemos a FAPES e a Prograd/UFES pelo financiamento desse trabalho e concessão de bolsa de estudo.

### Referências

ALBALADEJO, F. S. **Desenvolvimento de uma unidade de gerenciamento eletrônico para motores de combustão interna do ciclo Otto**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ANDRADE, G. S. **Avaliação experimental da duração de combustão para diferentes combustíveis, em um motor padrão Ciclo Otto ASTM-CFR**. 2007.

CARVALHO, M. A. S. **Avaliação de um motor de combustão interna ciclo Otto utilizando diferentes tipos de combustíveis**. Dissertação, UFBA, 2016.

CENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de Calor e Massa**. Amgh Editora, 2009.

CHAO, F. D.; GUOMING, G. Z.; WINKELMAN, J. **Inaudible Knock and Burn Detection Using in Cylinder Ionization Signal**, Visteon Corporation. SAE 013149, 2003.

COUTO, M. M.; DELLA CORTE, F.; ARAUJO, E. E. L. Estudo sobre a poluição atmosférica na cidade de João Monlevade, Minas gerais. **Anais do Seminário Científico da FACIG**, n. 4, 2019.

FERREIRA, L. H.; HARTWIG, D. R.; OLIVEIRA, R. C. Ensino experimental de química: uma abordagem



investigativa contextualizada. **Química Nova na Escola**, v. 32, n. 2, p. 101-106, 2010.

GADELHA, N. F.; DANTAS, F. C.; LIMA, R. S. **Análise da eficiência técnica-econômica dos combustíveis em motores de ciclo Otto**. *Revista Ciência e Tecnologia*, v. 19, n. 35, 2016.

GOLDEMBERG, J. Energia e desenvolvimento. **Estudos Avançados**, v. 12, n. 33, p. 7-15, 1998.

GUTIÉRREZ, M.; PUENTE, E.; IZQUIERDO, J. Fernando I. Análisis de las vibraciones de un motor ciclo Otto con una mezcla combustible a base de gasolina y de etanol. **INNOVA Research Journal**, v. 2, n. 10, p. 138-146, 2017.

KLEIN, E. A.; MELLO, P. B. **Desempenho de um motor alimentado a álcool altamente hidratado**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas (6.: 1996: Florianópolis). Proceedings. Rio de Janeiro: ABCM, 1996.

MEDEIROS, J. L. *et al.* **Motor TIER III e suas vantagens para funcionamento em veículos automotivos à diesel**. *Revista Pesquisa e Ação*, v. 4, n. 1, p. 226-231, 2018.

ROPPA, B. F. **Evolução do consumo de gasolina no Brasil e suas elasticidades: 1973 a 2003**. Monografia Instituto de Economia UFRJ, 2005.

SILVA, M. L. B., COELHO, C. A., SILVA, L. P. **Preparação de motores: Parte I: Teoria e procedimentos para dimensionar sistemas de admissão de ar, ignição e escapamentos**. Editora Gráfica Digital DMZ, 2018.

SILVA, P. C.; SANTOS, J. J. Da Economia Global às Finanças Domésticas: Trabalhando a Educação Financeira na Escola Cidadã Integral Izaura Falcão de Carvalho. **Revista Ensino de Geografia**, v. 3, n. 2, p. 161 – 179, 2020.

VAN WYLEN, G. J.; SONNTAG, R. E.; BORGNAKKE, C. **Fundamentos da termodinâmica clássica**. Edgard Blucher, 2006.