

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Guilherme de Almeida Tristão¹, Silvio Sizu Sumiوشي²
^{1,2} Engenharia Mecânica, Centro Universitário FEI
 guilherme.tristao@hotmail.com, silviosu@fei.edu.br

Resumo: A proposta de realização deste trabalho tem como objetivo buscar as técnicas mais avançadas utilizadas no mundo por montadoras e equipes de competição para aperfeiçoar motores de combustão interna com o intuito de extrair o máximo de eficiência energética. O estudo se dará através de simulações numéricas do motor *EcoEngine* [1] no software de simulação de motores *AVL Boost* [2].

mais útil nos motores, que permite comparar motores de tamanhos e cilindradas diferentes. A PME (Pressão Média Efetiva) é definida como a razão entre o trabalho útil no eixo do motor e a cilindrada do motor. Quanto maior for esse valor, significa que uma parcela maior da energia liberada pela queima do combustível está sendo convertida em trabalho, portanto maior será o rendimento total.

1. Introdução

Motores de combustão interna foram concebidos com o intuito de transformar energia química proveniente de uma combustão em energia mecânica. Disseminado para inúmeras utilizações, a mais importante é a propulsão de veículos e grande parte dos meios de transporte. Embora tenha inúmeros aspectos positivos, sempre possuíram baixos rendimentos energéticos e alta emissão de gases de efeito estufa.

No Brasil, para incentivar a pesquisa e desenvolvimento do setor automobilístico voltado para tecnologias que promovam redução das emissões de carbono, foi criado o programa Rota 2030 [3]. Trata-se de um benefício fiscal oferecido às montadoras em troca de um aumento na eficiência energética dos automóveis implicando numa redução do consumo de combustíveis dos novos veículos.

2. Parâmetros relevantes

Existem parâmetros que indicam a eficiência de conversão de energia, ou seja, mostram como a energia da combustão se converte em trabalho.[4]

Podemos mensurá-los através do Rendimento Total (η_T), que pode ser descrito como um produto de outros rendimentos específicos relativos, tais como: Rendimento de combustão (η_C); Rendimento adiabático (η_A); Rendimento Teórico (η_t); Rendimento relativo às propriedades dos fluidos (η_P); Rendimento inerente (η_I); Rendimento mecânico (η_M) e Eficiência de bombeamento (e_B).

$$\eta_T = \eta_C \cdot \eta_A \cdot \eta_t \cdot \eta_P \cdot \eta_I \cdot e_B \cdot \eta_M \quad (1)$$

Outros parâmetros que utilizamos para mensurar a eficiência de um motor são: eficiência volumétrica, consumo específico de combustível e pressões médias efetiva e indicada. A eficiência volumétrica é a relação entre a massa de ar real admitida pelo motor e a massa teórica que poderia ser admitida, que é limitada pela cilindrada. Maior eficiência volumétrica proporciona aumento do trabalho realizado com as mesmas perdas mecânicas. O consumo específico diz respeito sobre a eficiência com que o motor está convertendo o combustível fornecido em trabalho disponível no eixo. A pressão média efetiva é a medida de desempenho relativo

3. Variáveis de operação

Avanço da centelha, composição da mistura e taxa de compressão são três variáveis comumente utilizadas que podemos manipular para encontrar uma ótima condição do motor em termos de desempenho, emissão e eficiência.[5]

Ao variar o avanço da centelha em relação ao Ponto Morto Superior (PMS) obtém-se resultados que afetam o desenvolvimento de pressão no cilindro do motor. Se a combustão começar muito cedo, pode ocorrer a detonação. Se o inverso acontecer, a pressão máxima é reduzida e o trabalho do curso de expansão transferido dos gases para o pistão diminui, reduzindo torque e o trabalho realizado. A meta para controle do avanço de faísca deve iniciar e posicionar a combustão de tal forma que a saída de potência do motor seja maximizada. Um parâmetro que indica a eficiência do avanço da centelha é o princípio da Posição do Pico de Pressão (PPP) introduzida por Hubbard et al (1976) [6]. O diagrama de pressões deve ser obtido experimentalmente com o uso de um sensor de pressão instalado no cabeçote ou integrado a vela de ignição. Eriksson et al (1997), realizou vários testes em laboratório em diferentes condições de operação do motor e chegou à conclusão de que o PPP ideal está na faixa de 14-16° após o PMS. Portanto o avanço da faísca é calibrado para que o PPP apareça dentro deste intervalo do ângulo de virabrequim [7].

A composição da mistura ar e combustível é mais crítica, pois determina o desenvolvimento do processo de combustão, que governa as características de operação do motor. O fluxo de combustível pode ser calibrado, porém o fluxo de ar é o resultado da interação de diversos fatores no sistema de admissão. Os efeitos da composição da mistura são discutidos em termos da razão ar/combustível relativa (λ). Para misturas levemente pobres, a eficiência teórica de conversão de combustível aumenta ($\lambda > 1$). Desse modo a fração maior da energia do combustível liberada próximo ao PMS é maior, essa fração é transferida como trabalho para o pistão durante a expansão, e ainda a fração da energia disponível do combustível rejeitada no sistema de exaustão diminui. Para a condição de mistura pobre foi constatado por Lee [8], através de testes, que a eficiência de bombeamento

aumentou devido ao aumento de pressão na admissão para aumentar a taxa de excesso de ar. A eficiência térmica também aumentou, pois o calor específico mais elevado ajudou a reduzir a transferência de calor e as perdas de exaustão. É considerável salientar que a razão de ar-combustível também é um importante parâmetro para controle das emissões dos motores. Ao tornar a mistura rica os níveis de HC e CO são altos, pois não tem oxigênio suficiente para acontecer a oxidação completa do combustível. As emissões de HC diminuem à medida que o λ vai se tornando unitário, ou com a mistura sendo levemente empobrecida.

Em um motor real, outros processos que influenciam o desempenho e a eficiência do motor variam com as mudanças na taxa de compressão: a taxa de estabilidade da combustão, transferência de calor e atrito. A capacidade de aumentar a taxa de compressão é limitada pela qualidade de octanagem dos combustíveis e pelo fenômeno de detonação (*knock*). Heywood [5] apresentou dados que confirmam que o aumento na taxa de compressão depende em um grau significativo dos detalhes de operação do motor. Para a faixa de taxa de compressão de 9 a 11, a melhoria relativa de eficiência está entre 1 e 3% por unidade de aumento da taxa de compressão.

4. Metodologia

A primeira parte deste estudo se deu realizando uma pesquisa aprofundada de modo a desenvolver a compreensão dos assuntos circundantes que influenciam a eficiência energética de um motor de combustão interna 4 tempos com ignição comandada. Também foi realizado um *Benchmarking* entre as equipes que participam das competições *Shell Eco Marathon* América, Europa e Brasil para obter informações sobre o motor, como: torque, potência, cilindrada, consumo específico e peso do motor.

5. Conclusões

Até este momento, podemos observar que a eficiência de um motor de combustão interna é composta por vários fatores envolvidos. Que o rendimento total pode ser descrito por vários outros rendimentos específicos. Que pode ser mensurado e avaliado através do consumo específico de combustível e pelas pressões médias indicada e efetiva. E que existem três variáveis operacionais que ao ser manipuladas o resultado reflete na eficiência energética dos motores, sendo elas: avanço da ignição, composição da mistura e taxa de compressão.

A continuação deste trabalho se dará nos seguintes passos: (1) simular numericamente o modelo do motor *EcoEngine* para servir de base para comparações posteriores. (2) será feito uma reunião das pesquisas referentes às técnicas disponíveis e será realizado uma matriz de decisão para selecionar a melhor e mais viável técnica para implementar no modelo do motor *EcoEngine*; (3) será simulado o modelo com as implementações selecionadas. (4) por fim será comparado e analisado os resultados.

6. Referências

- [1] SILVA, João Paulo et al. **ECOENGINE: Desenvolvimento de um motor movido a etanol de alta eficiência energética**. 2017. Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo, Brasil.
- [2] **AVL BOOST**. Disponível em: <<http://www.avl.com/boost>>. Acessado em 20 set 2020.
- [3] **Rota 2030 – Mobilidade e logística**. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/index.php/competitividade-industrial/setor-automotivo/rota2030>> acessado em: 06 jun. 2019.
- [4] MARTINS, Jorge. *Motores de Combustão Interna*. 4ªed. rev. Porto: Publindústria,2013
- [5] HEYWOOD, John B. **Internal combustion engine fundamentals**. New York: McGraw-Hill, p.843, 1988.
- [6] Hubbard, M. et al. **Closed loop control of spark advance using cylinder pressure sensor**. *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control* (1976), pp. 414 - 420
- [7] Eriksson, Lars et al. **Increasing the efficiency of SI engines by Spark-advance control and water injection**. Linköping University. 1998, pp 209-210.
- [8] Lee, Jeongwoo et al. **Effect of different excess air ratio values and spark advance timing on combustion and emission characteristics of hydrogen-fueled spark ignition engine**. *International journal of hydrogen energy*. Vol 44, pp 2503-2508. 2019.

Agradecimentos

À instituição Centro Universitário FEI pelo PBIC, disponibilização da infraestrutura e softwares da AVL.

¹ Aluno de IC do Centro Universitário FEI (ou FAPESP, CNPq ou outra). Projeto com vigência de 03/2020 a 02/2021.