

ESTUDO EXPERIMENTAL DA TECNOLOGIA DUAL-FUEL EM MOTORES DE IGNIÇÃO POR COMPRESSÃO UTILIZANDO DIESEL E ETANOL

Ana Júlia Antunes Cintra Rosa¹ (IC), Christian Jeremi Coronado Rodriguez (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá.

Palavras-chave: Combustão. Combustível. Dual-fuel. Diesel. Energia.

Introdução

Estudos focados na obtenção e utilização de combustíveis alternativos visando a diminuição da emissão de poluentes surgem cada vez em maior número, motivados pelo grande aumento de regulamentações governamentais estabelecendo limites para as emissões de gases resultantes da queima de combustíveis fósseis por motores a combustão. Outro fator importante é a preferência do consumidor por combustíveis ou veículos e equipamentos que possuam um menor índice de emissões, tornando interessante economicamente a utilização de combustíveis alternativos.

Ainda que possa se enumerar alguns casos de sucesso no uso de biocombustíveis, como o uso do etanol no Brasil, um dos mais conhecidos casos de sucesso, e também o uso do gás natural veicular, muito utilizado na frota brasileira, ainda há muito o que ser explorado. O uso de biocombustíveis associado a combustíveis tradicionais vem se mostrando promissor na capacidade de reduzir a emissão de poluentes conservando boa eficiência energética.

Assim como os combustíveis fósseis, os biocombustíveis também possuem suas desvantagens, fazendo com que novas tecnologias possam ajudar neste contexto, como é o caso da combustão dual-fuel. A tecnologia dual-fuel se trata de um processo de combustão onde a ignição acontece pela injeção de um segundo combustível mais reativo. Um sistema dual-fuel pode ser desenvolvido a partir da instalação de um sistema de injeção indireta (PFI – Port Fuel Injection) de baixo custo, no qual o segundo combustível é admitido no coletor de admissão através de um bico injetor.

No Brasil onde o transporte de cargas é feito majoritariamente por via terrestre em rodovias o desenvolvimento de uma alternativa para o uso exclusivo de óleo diesel se faz muito interessante, objetivando não apenas a redução nas emissões de poluente, mas uma alternativa ao uso de outros combustíveis, reduzindo a dependência nacional de combustível importado.

Muitos estudos tem sido realizados com essa tecnologia dual-fuel combinando diesel e etanol, os quais mostraram que o as emissões de NOx podem ser reduzidas em até

50% quando comparadas ao modo convencional em função da homogeneidade da mistura ar-etanol (Júnior et al, 2015) além de também permitir maiores valores de eficiência em certas faixas de carga (Pedrozo et al, 2018). Outra observação foi o fato de que maiores temperaturas de entrada na admissão podem aumentar a eficiência da combustão ao mesmo tempo em que se reduz as emissões de NOx, HC e CO. (Liu et al, 2017)

Assim, o presente relatório tem como objetivo apresentar um estudo experimental da tecnologia dual-fuel em motores de ignição por compressão utilizando diesel e etanol, dois importantes combustíveis para a matriz de transportes brasileira, variando as frações energéticas de etanol. Os parâmetros do ensaio foram baseados na ISO 8178, a qual é utilizada no Brasil para processos de homologação de tratores agrícolas e motogeradores. O uso desta tecnologia visa combinar as vantagens dos dois combustíveis envolvidos, aliando baixas emissões com alta eficiência.

Metodologia

A bancada experimental utilizada mostrada na figura 1 foi desenvolvida no LMT – Laboratório de Máquinas Térmicas da Universidade Federal de Itajubá adaptada de Costa (2021).

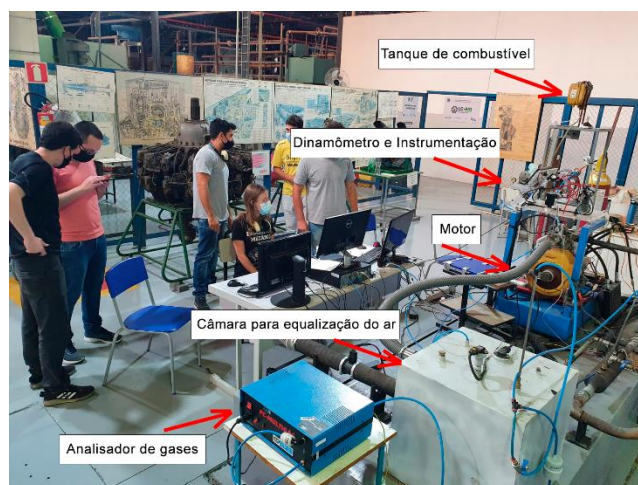


Figura 1 – Bancada de testes no LMT.

Fonte: Autoria própria.

Foi utilizado um motor de ignição por compressão, monocilíndrico, quatro tempos, refrigeração direta e naturalmente aspirado com aplicação voltada à geração de energia em pequena escala, o qual possuía o cabeçote adaptado para receber a instrumentação durante o desenvolvimento da pesquisa realizada por Costa (2017). O coletor de admissão foi equipado com um sistema de injeção indireta de combustível (PFI), acionado por uma bomba mecânica. Para o controle da carga foi utilizado um dinamômetro hidráulico acoplado ao motor.

Buscando a equalização de pressões na admissão do motor e a medição da vazão de ar, foi utilizada uma câmara construída na bancada do laboratório, por onde o ar foi admitido, sendo que nesta câmara foram coletados os dados de umidade e vazão mássica de ar. O sensor de vazão de ar utilizado foi o modelo HFM 5, Bosch. Já para a umidade, foi utilizado um sensor de umidade relativa do ar modelo HPP811B002 do fabricante Humirel, sendo que estes dados foram adquiridos por um módulo Fueltech FT450, assim como os dados do sensor de oxigênio que foi posicionado no sistema de escape.

Os valores de temperatura foram medidos por termopares do tipo PT100, enquanto que para as pressões de admissão e exaustão foram utilizados sensores do tipo piezorresistivo. Para a transdução destes dados utilizou-se um módulo FieldLogger da Novus.

Em relação à instrumentação no motor, foi instalado um sensor de pressão AVL GH14DK para medir a pressão na câmara de combustão. Já para a medição do ângulo do virabrequim foi utilizado um sensor óptico AVL365C.

Para a análise dos gases da combustão foi utilizado um analisador de gases NAPRO, modelo PC-Multigás, certificado e homologado pelo Inmetro, que coleta em tempo real as emissões de dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarbonetos não queimados e óxidos de nitrogênio, fornecendo os dados simultaneamente em seu próprio software. A aferição dos níveis de fumaça emitidos durante o ensaio foi realizada por analisador do tipo opacímetro, modelo Smoke Check 2000.

Os combustíveis utilizados nos ensaios foram diesel convencional S10 e etanol hidratado. Eles foram adquiridos em postos comerciais regulamentados pelos padrões estabelecidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

O diesel foi utilizado como combustível piloto e o etanol foi injetado no coletor de admissão por um bico injetor, sendo misturado previamente com o ar antes de ser admitido no cilindro.

Para cada ensaio foi adotado um procedimento padrão a ser realizado. Primeiramente, o motor foi colocado em funcionamento por um período de tempo aguardando a estabilização das temperaturas e, conseqüentemente, um regime permanente, o que correspondeu a uma

temperatura do óleo de 85°C. Além disso, o ensaio foi realizado em condições padrão de rotação, torque e pressão no escape para a aquisição de dados. A rotação foi mantida em 1800 rpm. Os ensaios foram realizados com 50% da carga máxima do motor, aproximadamente 10 N.m, sendo que estes valores de carga e rotação foram selecionados por representar um ponto da ISO 8178, utilizada no Brasil para processos de homologação de tratores agrícolas e motogeradores. Já a pressão no escape foi mantida em 100±5 mbar visando simular sistemas de pós tratamento, como catalisadores.

A metodologia utilizada para a análise de emissões de poluentes foi baseada na ISO 8178-1, a qual especifica o procedimento de medição para determinar os níveis de emissão de gases e material particulado de motores alternativos de combustão interna para uso não automotivo. A adaptação para o modo dual-fuel foi realizada de acordo com Costa (2021).

Resultados e discussão

O gráfico da figura 2 mostra uma redução de NOx à medida em que se injeta etanol na mistura, chegando a um total de 20% de redução entre o diesel puro e a fração energética de 44% de etanol. As reduções passam a ser mais significativas a partir de 27% de fração energética, já que a primeira variação não é tão acentuada como as outras. Após esse ponto, o comportamento da emissão de NOx tende a reduzir linearmente.

A ocorrência da redução de NOx se deve ao fato de menores temperaturas na câmara de combustão em função das propriedades da mistura diesel-etanol. Como o etanol tem um menor poder calorífico inferior, isso ocorre, além de que o injetor é instalado no coletor de admissão, colaborando com a refrigeração do sistema e promovendo uma redução de regiões de alta temperatura. A ocorrência da diminuição de NOx condiz com o experimento realizado por Pedrozo *et al.* (2018).

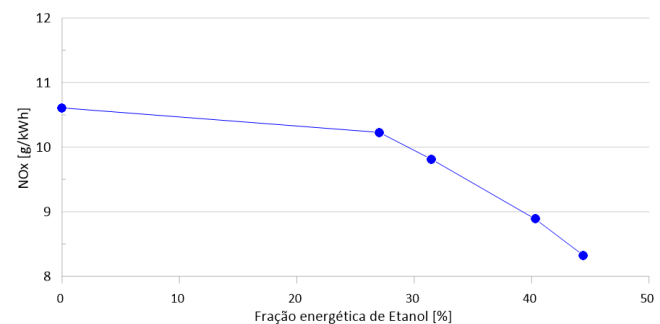


Figura 2 – Emissões de NOx.

Fonte: Autoria própria.

Já o CO aumenta com a adição de etanol à mistura, conforme a figura 3 indica. Isso é consequência da

ocorrência de uma combustão incompleta quando se tem diesel-etanol em modo dual-fuel com maiores frações energéticas de etanol. Um dos fatos que colabora para isso é que o motor não foi totalmente adaptado para essa tecnologia. Como consequência disso, o CO₂ diminui, já que a combustão é mais incompleta, e os hidrocarbonetos aumentam, conforme gráficos das figuras 4 e 5. Como o teste é realizado em baixas cargas, o aumento das emissões pode ser explicado pelo efeito da remoção do calor latente da mistura ar-combustível pelo etanol, fazendo com que seja mais significativo. (JUNIOR *et al.*, 2015)

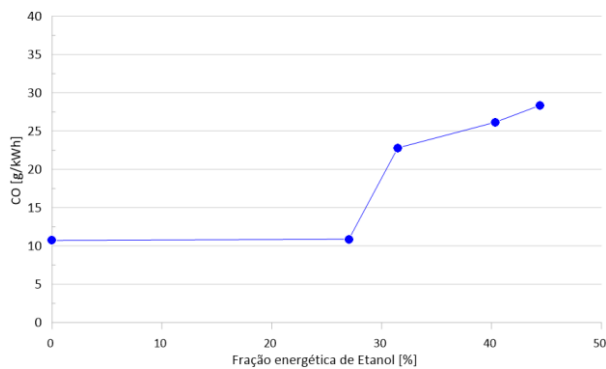


Figura 3 – Emissões de CO.
Fonte: Autoria própria.

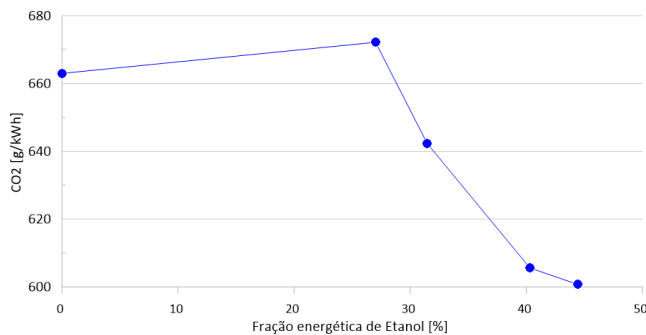


Figura 4 – Emissões de CO₂.
Fonte: Autoria própria.

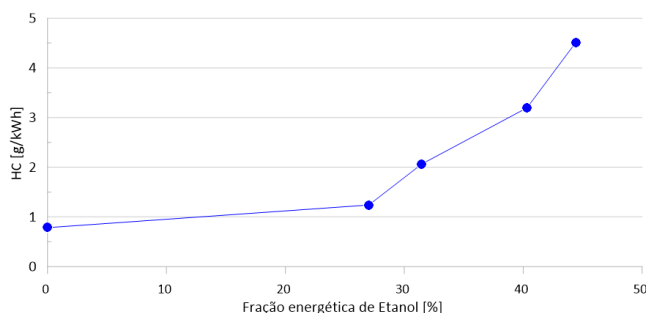


Figura 5 – Emissões de HC.
Fonte: Autoria própria.

de material particulado mostrada na figura 6 com a adição de etanol à mistura, o que está de acordo com a composição do combustível. Isso condiz com a pesquisa realizada por Junior *et al.* (2015) conforme citado no referencial teórico.

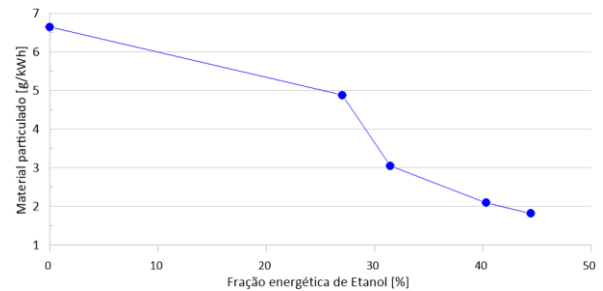


Figura 6 – Emissões de material particulado.
Fonte: Autoria própria.

Pela análise dos gráficos de substituição energética do diesel por etanol pode-se observar, em um primeiro momento, uma queda na eficiência energética em substituição de até 30% de etanol, prosseguida por um leve aumento, conforme a figura 7. De maneira geral, como o motor não é totalmente adaptado a esta combustão, ocorre uma redução na eficiência energética. Já a eficiência de combustão, figura 8, apresenta uma melhora até a fração energética de 30%, o que pode indicar um ponto de inflexão para o uso da tecnologia dual-fuel com diesel, ou indicar que para substituições em porcentagens maiores fosse necessária uma maior adaptação do motor a esta tecnologia. Para substituições energéticas acima de 30% se observa, de modo geral, uma redução nas eficiências energética e de combustão, o que explica a diminuição da emissão de CO₂ e o aumento da emissão de CO, indicando a presença de combustão incompleta.

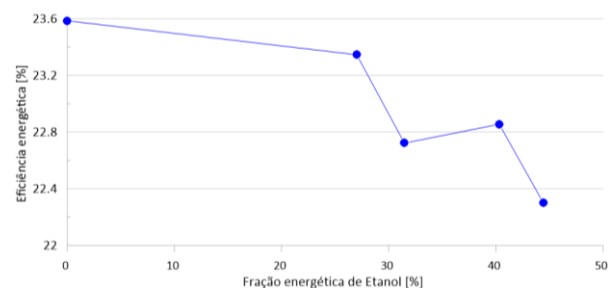


Figura 7 – Eficiência energética.
Fonte: Autoria própria.

Por fim, tem-se uma diminuição expressiva na emissão

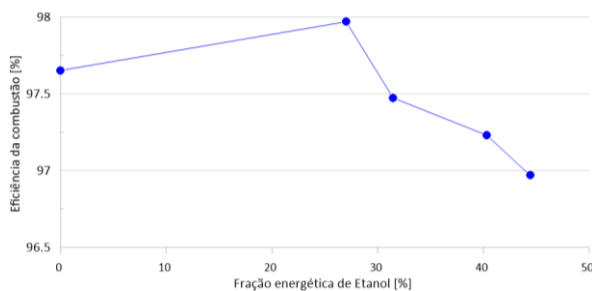


Figura 8 – Eficiência de combustão.

Fonte: Autoria própria.

Conclusões

O presente trabalho de iniciação científica conseguiu atingir seus objetivos. Os testes com diesel puro e diesel-etanol em modo dual-fuel foram realizados e possibilitaram a coleta dos resultados desejados. Estes testes possibilitaram compreender como o uso desta tecnologia dual-fuel pode beneficiar na diminuição da emissão de poluentes mantendo boa eficiência energética do motor. Pode-se observar uma redução expressiva na emissão de NO_x, hidrocarbonetos não queimados e material particulado, à medida que se manteve boas eficiências energéticas e de combustão. Os resultados obtidos foram comparados ao referencial teórico e apresentaram um comportamento condizentes aos estudos já realizados.

Para a melhoria do trabalho, os pontos de ensaio podem ser analisados de forma isolada ou podem ser feitos testes em diferentes frações energéticas com outros combustíveis.

Cabe ressaltar que este estudo de Iniciação Científica faz parte do projeto institucional da UNIFEI vinculado ao programa Rota2030 do Brasil intitulado “Estudo experimental da tecnologia dual-fuel em motores de ignição por compressão utilizando diesel renovável (HVO/farnesano) com etanol, hidrogênio ou biogás “. O projeto contou com o financiamento da FUNDEP e com a parceria da empresa FPT Industrial vinculado ao Grupo IVECO do Brasil. O projeto iniciou em janeiro de 2021 e encerra no final do mês de setembro 2022. Este trabalho de IC contribuiu para conseguir atingir os objetivos finais deste P&D.

Agradecimento

Registro aqui os agradecimentos à Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa – FUNDEP Rota 2030, que proporcionou suporte financeiro à realização desta pesquisa.

Agradeço à empresa FPT Industrial pela parceria nesta

pesquisa, aos colegas integrantes do Projeto Rota 2030, ao professor Dr. Christian Jeremi Coronado Rodriguez pela orientação e à Universidade Federal de Itajubá pela oportunidade de participar deste Programa Institucional Voluntário de Iniciação Científica.

Referências

ANP. RESOLUÇÃO ANP Nº 842, DE 14 DE MAIO DE 2021. Publicado em: 17/05/2021. Edição: 91, Seção: 1, Página: 65. Órgão: Ministério de Minas e Energia/Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: . Acesso em 01.03.2022.

AVL. AVL Indicom Mobile 2013 for Indimicro and Flexifem Indi - User's Guide. v2.5. Graz - Austria. AVL List GmbH, 2012.

BRUNETTI, Franco. Motores de Combustão Interna. Volume 1. São Paulo: Blucher, 2012

COSTA, Roberto B. R. VALLE, R. M. HERNÁNDEZ, J. J. MALAQUIAS, A. C. T.

CORONADO, C. J. R. PUJJATI, F. J. P. Experimental investigation on the potential of biogas/ethanol dual-fuel spark-ignition engine for power generation: Combustion, performance and pollutant emission analysis. Applied Energy 2020;261. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114438>. Março de 2020

COSTA, Roberto B. R. Estudo experimental de um motor de ignição por compressão utilizando diesel renovável da cana-de-açúcar (farnesano) e biodiesel de óleo residual de cozinha (WCO). 2021. Tese de Doutorado. Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá. Julho de 2021.

GARCÍA, Antônio et al. Potential of e-Fischer Tropsch diesel and oxymethyl-ether (OMeX) as fuels for the dual-mode dual-fuel concept. Applied Energy, 2019.

HEYWOOD, J. B. Internal Combustion Engine Fundamentals. Second ed. Cambridge, Massachusetts: McGraw-Hill Education, 2018.

JÚNIOR, R.F. Britto. MARTINS, C. A. Emission analysis of a Diesel Engine Operating in Diesel–Ethanol Dual-Fuel mode. Fuel, 2015

LIU, Haifeng et al. Effects of Port Injection of Hydrous Ethanol on Combustion and Emission Characteristics in Dual-fuel Reactivity Controlled Compression Ignition (RCCI) Mode. Energy, 2017.

PEDROZO, Vinícius B. et al. High efficiency ethanol-diesel dual-fuel combustion: A comparison against conventional diesel combustion from low to full engine load. Fuel. 2018.