

6

Conclusões e Recomendações

O presente trabalho possibilitou avaliar o comportamento de um motor do ciclo Diesel, quando operado no modo original (Diesel puro) e no modo bicomcombustível (Diesel / etanol). O objetivo foi investigar os parâmetros de desempenho obtidos como, rendimento térmico, consumo específico de combustível, taxa de substituição e emissão de poluentes. Foi investigado, também, a liberação de calor na combustão e o calor perdido pelas paredes do cilindro. Esta operação foi realizada em uma rotação fixa de 1800 rpm com etanol a 70 e 93° INPM.

Em ambos os casos de hidratação do álcool foram obtidas diversas taxas de substituição para cargas distintas, a fim de avaliar os parâmetros mencionados anteriormente. O experimento e a posterior modelagem permitiram analisar o início da liberação de calor, conforme discutido no Capítulo 5 em ambos os modos de operação (original e bicomcombustível – 70 e 93° INPM). Foi possível verificar o comportamento do motor no modo bicomcombustível, devido às características físico-químicas do combustível alternativo, através do aumento gradual da injeção de etanol em substituição do óleo Diesel.

O levantamento das curvas de pressões no interior da câmara de combustão possibilitou analisar os picos de pressões. Vale ressaltar que a operação anormal do motor foi um fator limitante, mas não menos importante para discussão dos resultados gerados. Cabe mencionar que, através das curvas mencionadas, foi possível investigar o alto calor latente de vaporização do etanol, em relação à operação bicomcombustível. Fato este que ocorreu devido à diminuição do pico de pressão ao final do processo de compressão. Isto se deve à energia necessária para mudança de fase (líquido - vapor), o que possibilitou um futuro processo da combustão. Ressalta-se também que o diagrama pressão-ângulo do virabrequim foi fundamental para análise de liberação de calor no processo da combustão. Sem esta, o estudo não seria possível.

Investigando o rendimento térmico, verificou-se que, para altas cargas e altas taxas de substituição, houve um sensível aumento quando comparado ao modo original (taxa de substituição zero – Diesel puro). No entanto, o motor em funcionamento para baixas cargas e altas taxas de substituição, teve um considerável decréscimo no rendimento térmico ao substituir óleo Diesel por etanol. A fim de se exemplificar, para a condição de hidratação do álcool a 93° INPM em 100% de carga, o rendimento térmico no modo original foi de 38,8%, enquanto que para maior taxa de substituição foi obtido 41%. Já no modo 70° INPM foi encontrado um rendimento térmico de 40,8% na maior taxa de substituição e 38,7% operando apenas com óleo Diesel. No que tange a cargas inferiores (25% de carga), verificou-se um rendimento térmico de 19,5 e 19,9%, em 93 e 70° INPM respectivamente, para taxas de substituição zero (Diesel puro). Nas maiores taxas de substituição o valor encontrado foi de 12,5 e 12,7%, em 93 e 70° INPM respectivamente. Com isso, conclui-se que em baixas cargas, ao substituir óleo Diesel por etanol, o processo se torna desvantajoso, visto o menor aproveitamento de energia quando há um maior incremento de combustível.

No que diz respeito à taxa de substituição, os maiores valores foram encontrados em baixas cargas, onde para 25% de carga em 93° INPM, obteve-se 69,18% (maior taxa de substituição encontrada). Em altas cargas (100% de carga), a taxa de substituição encontrada foi de 53,25% para 70° INPM. Verificou que, em altas cargas os picos de pressão apresentaram valores mais elevados quando comparado ao modo original (Diesel puro). Este fator limitou a operação normal, devido à tendência de detonação (“batida de pino”), tendo em vista que em altas pressões e subseqüentes temperaturas o etanol é propenso à detonação.

O consumo específico de combustível se manteve constante em altas cargas ao se aumentar a injeção de etanol em substituição ao óleo Diesel em ambos os modos de hidratação (70 e 93° INPM). Em baixas cargas, verificou-se um aumento considerável à medida que a taxa de substituição aumentava. Associou-se a este resultado, o menor aproveitamento de queima do combustível, acarretando em um consumo desvantajoso.

Ao se abordar emissão de poluentes verificaram-se comportamentos distintos ao percorrer as diversas taxas de substituição, em ambos os modos de hidratação. Para o NO_x presenciou-se um aumento gradual de sua emissão pelo aumento da taxa de substituição. Porém, o comportamento contrário foi

observado, para baixas cargas, onde houve um decréscimo da emissão de NO_x , ao substituir etanol por óleo Diesel. A emissão de HC aumentou consideravelmente em todas as cargas impostas ao motor, ao se aumentar a taxa de substituição, em ambos os modos de hidratação (70 e 93° INPM). Por fim, a emissão de MP diminuiu ao se injetar uma maior quantidade de etanol, em substituição do óleo Diesel para todas as cargas testadas.

Avaliando a liberação de calor para a fase fechada do ciclo constataram-se alguns resultados. Ao final do processo de compressão, observou-se a presença de uma energia necessária (calor perdido - correspondente à quantidade negativa verificada no gráfico) para a mistura vaporizar-se e formar as condições mínimas para iniciar processo de queima. Vale ressaltar que, em altas cargas e altas taxas de substituição a combustão teve seu início adiantado no modo bicomcombustível em comparação com o modo original. Entretanto, se observou o contrário em baixas cargas e altas taxas de substituição, onde a combustão no modo bicomcombustível foi atrasada em relação ao modo Diesel puro (taxa de substituição zero).

Já para o calor perdido pelas paredes do cilindro verificou-se uma maior energia liberada no processo de combustão em 100% de carga para quase todos os pontos medidos. Ao se diminuir a carga, ou seja, menor quantidade de energia e subsequente menor temperatura, o calor perdido foi menor em altas taxas de substituição em relação ao modo original.

Ao substituir de forma parcial o óleo Diesel pelo combustível alternativo, nos dois modos de hidratação, conforme visto anteriormente, conclui-se que a validade do projeto é satisfatória com algumas ressalvas:

- Visto que a técnica de medição de pressão consistiu apenas para o cilindro um, para trabalhos futuros, recomenda-se investigar o comportamento da pressão para todos os cilindros. Entender e obter um maior controle sobre operações bicomcombustíveis é fundamental a fim de preservar o motor;
- Para utilização no modo bicomcombustível, mudanças nos materiais dos componentes do motor necessitarão ser efetuadas, com o objetivo de se evitar a corrosão, devido à presença de água no etanol;
- Do ponto de vista de modelagem, o método zero dimensional de uma zona proposto avaliou de forma simples e satisfatória o calor

liberado pela queima dos combustíveis. Tal avaliação investigou a transformação da energia desde o momento de fechamento da válvula de admissão até o começo da abertura da válvula de escape. Todavia, vale mencionar que simplificações foram adotadas para permitir uma análise com um custo-benefício viável. Ressalta-se para trabalhos futuros, a utilização de modelos multidimensionais, a partir de softwares robustos. Assim, seria possível prever a massa queimada e não queimada, a calor perdido pelo método de multizonas, entre outros fatores. O intuito é mapear o processo do motor como um todo, podendo se tornar uma ferramenta suporte bastante satisfatória em conjunto com os ensaios experimentais;

- Verificou-se que em altas cargas o etanol está propenso à detonação. Fenômeno este que, se não controlado, pode haver danificação do conjunto cilindro-pistão ou até mesmo perda total do motor. No entanto, em cargas médias e com uma rotação fixa, a utilização torna-se viável, tendo em vista um rendimento térmico quase que inalterado para altas taxas de substituição. Salienta-se que em altas cargas, o consumo específico de combustível foi praticamente constante.
- Pelo aspecto socioeconômico, vale destacar que o Brasil é detentor da tecnologia de produção de etanol, destacando também, o vasto território nacional.