

6. Conclusões e recomendações

É importante lembrar que o funcionamento do motor de um grupo gerador, para uma revolução de 1800 RPM, sempre irá atingir o seu melhor desempenho, pois é fabricado para operar nestas condições. A operação Diesel original foi comparada com a operação Diesel-Gás, onde se obtiveram, em altas cargas, rendimentos térmicos maiores no modo Diesel-Gás. Em baixas cargas, não acontece o mesmo, já que o rendimento térmico cai com o aumento da taxa de substituição.

O grupo gerador não respondeu bem com razões de equivalência menores que 0,3, nem maiores de 0,8. Portanto, trabalhou sempre dentro desses limites, sendo os maiores número adotados para o processo de restrição de ar em altas cargas, e os menores em baixas cargas, no modo Diesel.

As eficiências volumétricas, para o funcionando no modo Diesel, foram ligeiramente superiores no modo Diesel-Gás. Isto poderia ser explicado a partir da substituição de ar por gás natural no processo de admissão, já que a mistura ar-gás nem sempre é homogênea, tendo parte do volume da câmara de combustão ocupado por gás natural puro, ou seja, sem a presença de ar. Isso poderia também justificar o porquê da combustão do gás ser tão ruim em baixas cargas, pois não há uma mescla ar-gás completamente misturada e homogênea.

As temperaturas aumentam à medida que restringimos o ar. Isso acontece pois, ao restringir, ocorre uma queda de pressão e uma variação no rendimento do turbo compressor, que está diretamente ligado aos gases de escape. Com a restrição, aumenta-se também o rendimento térmico. Ao aumentar a temperatura dos gases de escape também se aumenta as emissões de NO, que para o presente trabalho não foi medido. Porém, conta-se com a medição de NO₂, que tem a tendência de aumentar suas emissões com o aumento da temperatura de saída. O mesmo ocorreu em todas as referências bibliográficas consultadas em relação às emissões de NO_x.

Neste trabalho, foi utilizado, pela primeira vez, com um sistema de injeção eletrônica de gás natural. As pesquisas realizadas anteriormente no LEV (Laboratório de Engenharia Veicular) eram ministradas com injeção manual de

gás. Com a injeção eletrônica, foi possível obter dados mais precisos, já que a vazão pôde ser adequada de acordo com cada situação requerida.

As variáveis da injeção eletrônica são o tempo de abertura e fechamento dos bicos (*duty cycle*), e a pressão de entrada do gás. Uma pesquisa anterior mostrou que usando uma pressão constante na entrada do *rail* dos bicos, e aumentando o *duty cycle*, aumenta-se também a vazão mássica de forma linear.

Nos ensaios não se contou com um regulador de pressão na saída do abastecedor, e como os testes foram feitos de forma dinâmica, ou seja, um em seguida do outro, não havia tempo de regular a pressão. A explicação para isso se dá devido a não existência de reguladores auto controlados no laboratório, mas sim, manuais. Portanto, não era possível manter sempre a mesma pressão de entrada.

Utilizou-se nos testes uma pressão de entrada de 2,7 bar, fornecida pelo sistema de compressão de gás natural. Esta pressão sofre uma queda à medida que é aumentado o *duty cycle*, afinal, são fornecidas maiores quantidades de gás, para diversas taxas de substituição.

Foi utilizada uma carga resistiva para o sistema de dissipação de carga elétrica. Sua capacidade de aquecimento era tanta, que a salmoura chegava ao ponto de fervura. Neste momento, a temperatura se mantinha constante, e não era necessário o aumento da “área molhada” para aumentar a carga de dissipação elétrica. Porém, no processo de ebulição, a salmoura chegava a atingir as áreas “não molhadas” da carga resistiva. Por tal motivo, em cargas elevadas, a medição da amperagem foi incerta, tendo variações de $\pm 3A$.

Na operação de restrição de ar, nota-se a necessidade de mais combustível diesel para atingir às necessidades do motor. Pela restrição do ar, o governador reage a um possível afogamento do motor, injetando uma maior quantidade de combustível, enriquecendo assim a mistura. Por consequência, a taxa de substituição também cai, pois o consumo do diesel, para essas condições, se mantém constante.

Quando se eleva a injeção de gás natural, ocorre o fenômeno de afogamento do motor. O motivo também são as altas cargas, onde a injeção é controlada pelo governador. No caso do grupo gerador testado, não foi possível alcançar taxas de substituição maiores que 60%, pois respondia sempre com batidas de pino e um afogamento audível do motor.

Emissões de NO₂

Nas medições do NO₂, foi observada a diminuição da concentração, de acordo com o aumento do fornecimento de gás natural. A mistura de gás natural com o ar tem um calor sensível, que diminui a temperatura da câmara de combustão na fase de admissão. Por isso há queda na medida de NO₂. Ao aumentar a taxa de substituição, de maneira análoga, e, aumentando a restrição de ar, aumenta-se a temperatura do gás de escape, aumentando, portanto, as emissões de NO e de NO₂. Neste presente trabalho, as medidas das emissões desses gases, especificamente, foram apresentadas somente para questões tendenciais, pois por problemas técnicos, não foi possível medir as concentrações de NO_x. Porém, pode-se afirmar que as medidas de NO₂ e NO são suficientes, já que a soma de ambas resulta no valor total do NO_x, sendo a relação de saída entre NO₂ e NO é equivalente a 1 ppm de NO₂ para cada 9 ppm de NO. É importante ressaltar que grande parte de NO na saída do coletor de escape se oxida formando-se NO₂.

Emissões de CO e HC

As diminuições de CO e HC com o método da restrição foram significativas. Comparando com o método diesel convencional, à medida que a taxa de substituição aumenta, observa-se um aumento das emissões, e em cargas elevadas, uma diminuição.

Quando se opera com Diesel-Gás, a restrição de ar causa um enriquecimento da mistura, tendo uma notável diminuição de emissões HC e CO, e um aumento no rendimento térmico. Até mesmo em baixas cargas, ocorre uma diminuição considerável com máxima restrição de ar e máxima taxa de substituição.

As máximas concentrações de CO e HC, no modo Diesel-Gás, ocorrem em baixas cargas, com máximas taxas de substituição, onde a razão de equivalência é igual a 0,36. As emissões de CO diminuem acentuadamente quando a razão de equivalência está próxima a 0,60. O mesmo ocorre com as emissões de HC, porém quando a razão é próxima a 0,58. Em máximas cargas, as emissões de CO e HC diminuem com as restrições de ar, quando estão com 70% a 80% de vazão mássica. Sendo assim, observou-se que os valores de CO, em cargas parciais, são semelhantes aos obtidos no modo diesel, porém, em altas cargas.

A redução excessiva de ar em cargas elevadas, no grupo gerador, ocasiona um afogamento, e problemas de ruído audível. Além disso, foi limitado o uso de altas taxas de substituição, pelos mesmos problemas já mencionados. É recomendado, para trabalhos futuros, evitar reduções excessivas de ar em altas cargas, assim como a limitação da taxa de substituição.

Incertezas

Todas as medições foram obtidas através de tomadas diretas, como: consumo de ar, ar seco e gás natural; Cálculo da taxa de substituição, da razão de equivalência, e das emissões específicas. Na medição dos fluxos usam-se bocais padrão tipo ASME, que são os mesmos, que atualmente não estão sendo utilizados, foram adquiridos pelo laboratório; São os medidores de fluxo laminares, que contam com uma maior precisão.

Os cálculos da taxa de substituição e a razão de equivalência foram obtidos a partir de um cálculo secundário das medições dos fluxos mássicos (ar, gás natural e óleo combustível). As emissões específicas foram obtidas baseadas na norma NBR 14489 da ABNT. Também foi usado um medidor de emissões TESTO 350XL calibrado, e com incertezas especificadas no manual.

Todas as incertezas já calculadas e com os regimes de carga próprios, estão especificados no Anexo B, e apresentam um erro de 4% em algumas medições, não superando esse limite.

O presente trabalho apresenta uma base no desenvolvimento de um kit eletrônico de conversão de diesel para Diesel- Gás, onde foram avaliadas as variações de vazão de gás, em função dos tempos de abertura e fechamento (*duty cycle*) no *rail* de bicos de injeção, junto com a pressão de entrada do gás. Um melhor mapeamento, de acordo com as necessidades do grupo gerador ou motor avaliado (não são todos os motores que têm as mesmas necessidades de carga ou funcionamento). Além da regulagem, para manter a pressão constante na entrada do gás, onde a função seria apenas fazer com que a vazão atingida de gás natural fosse diretamente controlada pelo *duty cycle* dos bicos de injetores.

Recomenda-se continuar com estudos relacionados às emissões, avaliando os métodos de EGR, avanço de injeção de diesel em cargas baixas, assim como

estudos do comportamento da combustão no modo bicomcombustível Diesel-Gás. Atualmente, no Laboratório de Engenharia Veicular da PUC-Rio estão sendo realizados estudos e pesquisas no modo Diesel-Gás em uma máquina de combustão rápida. Apesar de estarem em fase de desenvolvimento, é possível avaliar avanços em tempos de injeção, acompanhado de uma análise visual da frente de chama da combustão Diesel-Gás.