



PRPG Pró-Reitoria de Pós-Graduação
PIBIC/CNPq/UFPG-2008



ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA OPERANDO DE FORMA DUAL (DIESEL+GÁS NATURAL)

Bruno Ferreira Silva¹, Yoge Jerônimo Ramos da Costa²

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar a performance de um motor do ciclo diesel instalado no laboratório de Termogeração da UFCG, quando o mesmo é submetido a trabalhar na forma dual, utilizando os combustíveis diesel e gás natural simultaneamente, visto que esse tipo de operação pode melhorar o controle de emissões de poluentes em motores deste tipo, além de promover um ganho de eficiência. Assim, foram feitos vários experimentos onde mudava-se a taxa de substituição de diesel por gás natural e a potência do sistema, concluindo-se que houve um aumento de eficiência para taxas de substituição maiores; o nível de SO₂ cai para zero em todos os testes; para operação com taxa de substituição de 80%, ocorre um aumento das emissões de NO; os percentuais de NO₂ são muito pequenos, podendo serem desprezados; as menores percentagens de emissão de CO ocorreram para 80% de substituição, os níveis de CO₂ crescem com o aumento da potência; as concentrações de metano (C_xH_y) diminuem para taxas de 60% e 80% de substituição.

Palavras-chave: motor dual; diesel; gás natural.

ANALYSIS OF ACTING OF A INTERNAL COMBUSTION ENGINE OPERATING IN A DUAL FORM (DIESEL+NATURAL GAS)

ABSTRACT

This study aimed to analyze the performance of a diesel cycle engine installed in the Thermal generation laboratory of the UFCG, when it is put to work in dual form, using diesel fuel and natural gas while, since this type of operation can improve the control of pollutant emissions in engines of this type, besides promoting a gain in efficiency. Thus, several experiments were made which changed is the rate of replacement of diesel by natural gas and power system, concluded that there was an increase in efficiency for higher replacement rates; the level of SO₂ drops to zero in all tests, when the engine operates with a replacement rate of 80%, an increase of emissions of NO; the percentage of NO₂ are very small and can be neglected, the lowest levels of CO are found to operate with 80% substitution, the CO₂ levels increase with increasing power, the concentrations of methane C_xH_y to decrease rates 60% and 80% substitution.

Keywords: dual engine, diesel, natural gas

¹ Aluno de Curso de Engenharia Mecânica, Depto. de Engenharia Mecânica, UFCG, Campina Grande, PB, E-mail: b_ferreira00@hotmail.com

² Engenheiro Químico, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Mecânica, UFCG, Campina Grande, PB, E-mail: yoge@dem.ufcg.edu.br

INTRODUÇÃO

Em plena época que a sociedade começa a enxergar grandes problemas como o esgotamento dos combustíveis fósseis e a preocupação com relação a poluição ambiental, principalmente com a crise do aquecimento global, o desenvolvimento de novas fontes de energia mais limpas e eficientes vem surgindo em todo planeta.

Neste trabalho utilizamos um grupo gerador que trabalha simultaneamente com os combustíveis: diesel e gás natural, onde se analisa a performance do conjunto em termos de desempenho e das emissões de poluentes. Assim, a utilização do gás natural o mais estável da família dos hidrocarbonetos, em motores de combustão interna, possibilita o aproveitamento das características benéficas desse combustível, justificando o seu uso principalmente em motores estacionários, frota de ônibus para transporte coletivo e transporte de cargas. Devido a sua disponibilidade e à algumas características próprias, este tem sido empregado de forma satisfatória tanto em motores do ciclo Otto, onde a substituição do combustível líquido pelo gasoso é total, como em motores do ciclo Diesel onde se utiliza os dois combustíveis ao mesmo tempo.

Em um ciclo Dual (diesel+gás natural) utiliza-se o diesel como chama piloto e o gás natural como combustível principal. Uma mistura de gás natural e ar é admitida e comprimida durante a fase de compressão, uma quantidade de diesel é injetada para iniciar a combustão (piloto). Logo, para se desenvolver uma combustão correta em um motor que utilize esses dois combustíveis é preciso estabelecer uma proporção correta entre eles.

De acordo com a ANP – Agência Nacional do Petróleo, as reservas de gás natural comprovadas no Brasil até o ano de 2000 eram estimadas em aproximadamente 230 bilhões de metros cúbicos de gás. De acordo com a imprensa nacional, durante o ano de 2003 foram descobertas reservas adicionais de gás no litoral do Sudeste Brasileiro, incrementando de forma significativa as reservas desse energético.

O uso de combustíveis gasosos alternativos em motores diesel está aumentando em todo o mundo e deve-se a natureza limpa de sua combustão, comparada aos combustíveis líquidos convencionais, assim como pelo seu aumento de disponibilidade e preços atrativos. O gás natural tem alto número de octanas e, portanto é excelente para motores com alta taxa de compressão. Além disso, ele se mistura uniformemente com o ar, resultando numa combustão eficiente e numa redução substancial dos elementos poluentes.

Os compostos dos gases de exaustão emitidos, tanto por motores à diesel quanto a gasolina ou ainda com combustíveis mistos, podem ser classificados em dois tipos: os que não causam danos à saúde (CO_2 , H_2O , O_2 e N_2), e os que causam danos à saúde, sendo esses subdivididos em compostos cujo emissão está regulamentada (CO , HC , NO_x , SO_2 e material particulado), e aqueles que ainda não estão sob regulamentação (aldeídos, amônia, benzeno, cianetos, tolueno, e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos).

A grande vantagem da utilização do gás natural é a maior possibilidade de preservação e conservação do meio ambiente, reduzindo os níveis de poluição e de acidentes ambientais. Portanto, esta pesquisa possibilita viabilizar técnicas de geração de energia com diminuição de emissões de poluentes, abastecendo a sociedade acadêmica com fatores e resultados que possam solucionar problemas já existentes.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Termogeração da Universidade Federal de Campina Grande, onde trabalham juntos os departamentos de Engenharia Mecânica e Engenharia Elétrica, que dispõe de uma estrutura física, pessoal qualificado e equipamentos, onde se pode destacar um motor de combustão interna (MCI) totalmente instrumentado com termopares, transdutores de pressão; ferramentas; combustíveis e a disponibilidade de vários computadores para atender a coleta de dados e controle de ensaios, gás natural e diesel adquiridos de um posto de combustível vizinho a UFCG, analisador de gases, medidores de vazão de diesel, gás natural e ar atmosférico, além de pessoal para colaborar com o projeto.

Material

Óleo Diesel

O óleo diesel é um combustível derivado do petróleo sendo constituído basicamente de hidrocarbonetos (compostos orgânicos que contém átomos de carbono e de hidrogênio). Outros compostos presentes são o enxofre e o nitrogênio. Normalmente o diesel é um combustível mais pesado que a gasolina e apresenta-se com cadeia carbônica de 6 a 30 átomos. Na sua composição participam hidrocarbonetos parafínicos, olefínicos e aromáticos.

Produzido a partir da refinação do petróleo, o óleo diesel é formulado através da mistura de diversas correntes como gasóleos, nafta pesada, diesel leve e diesel pesado, provenientes das diversas etapas do processamento do petróleo bruto. Sua fórmula molecular varia de acordo com o tipo de diesel, no entanto,

em se tratando da combustão do combustível líquido é conveniente exprimir a composição em termos de um único hidrocarboneto, embora ele seja uma mistura de vários.

As proporções destes componentes são aquelas que permitem enquadrar, o produto final, dentro das especificações previamente definidas e que são necessárias para permitir um bom desempenho do produto, além de minimizar o desgaste nos motores e componentes, e manter a emissão de poluentes gerados na queima do produto, em níveis aceitáveis.

Apresenta ponto de ebulição entre 200 e 360°C, tem poder calorífico médio (PCI) ou (calor de combustão) de aproximadamente 46054,8 kJ/kg (Martinelle Jr., 2005).

Gás Natural

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves, principalmente metano (CH₄). Assim como o petróleo bruto ele é formado a partir da decomposição de matéria orgânica. Além do metano podemos encontrar em sua composição: etano, propano, butano, hexano e pequenas quantidades de compostos parafínicos mais pesados.

Quanto a origem o gás natural é classificado em:

Gás Associado: encontrado dissolvido no petróleo cru e/ou formando uma camada protetora gasosa sobre ele (gás livre). Quanto mais fundo o poço, encontra-se mais gás do que petróleo. No Brasil, cerca de 65% das reservas de GN e 85% de sua produção é de gás associado, e em todo mundo cerca de 40%.

Gás não-associado: encontrado em depósitos subterrâneos, não acompanhados de hidrocarbonetos em sua fase líquida.

A Tabela 1 abaixo apresenta a composição do gás natural utilizado nos experimentos e a Tabela 2, revela as suas propriedades médias mais importantes que são o poder calorífico superior, a densidade relativa ao ar e a densidade média do combustível

Tabela 1. Composição do gás natural. Fonte: PBGÁS (2009)

Composição média do gás natural	% em Volume
Metano	90,09
Etano	6,84
Dióxido de carbono	1,56
Nitrogênio	1,35
Propano	0,16

Tabela 2. Propriedades do gás natural. Fonte: PBGÁS (2009)

Propriedade (valores médios)	Valor
Poder calorífico superior ($kCal/m^3$)	9,100
Densidade relativa ao ar	0,614
Massa específica (Kg/m^3)	0,737

O gás natural é inodoro, incolor e inflamável, por isso no processo de distribuição, por medida de segurança é adicionado compostos à base de enxofre, em concentrações necessárias a caracterização de um cheiro marcante, porém sem características corrosivas. O processo é conhecido como odorização

Sistema eletro-mecânico (motor-gerador)

O sistema motor-gerador é dotado de um motor da marca CUMMINS 6CTA8.3, com capacidade máxima de 188kW de potência à 1800 rpm, além de um gerador da marca Onan Genset de 150 kW, todos instalados e prontos para testes experimentais com os combustíveis diesel e gás natural. A unidade está totalmente instrumentada com medidores de vazão de ar, gás e diesel, além de sensores de pressão e temperatura em vários pontos do sistema e sonda para análise de gases.

A Figura 1 apresenta o sistema eletro-mecânico composto pelo motor diesel de seis cilindros em linha, enquanto a Figura 2 mostra o medidor de vazão de gás que está instalado na linha de alimentação que vem do redutor de pressão, mostrado na Figura 3, passando pelo kit gás até o motor.



Figura 1 – Conjunto motor-gerador



Figura 2 – Medidor de vazão de gás



Figura 3 – Sistema de redução de pressão

Sistema de análise dos gases de escape

O sistema de análise de gases do escape tem como objetivo avaliar a emissão de poluentes do motor em condições previamente estabelecidas. É composto por um analisador de gases fabricado por Kane International Limited, modelo KM 9106, juntamente com uma sonda e, com a unidade de análise de gases de combustão e unidade de programação e controle, mostrados nas Figuras 4 e 5 respectivamente.



Figura 4 – Analisador de gases



Figura 5 – Unidade de controle do analisador

Na Figura 6, vê-se a sonda do analisador de gases instalada no escapamento do motor, onde os gases são captados para análise.



Figura 6 – Sonda do analisador de gases

Sistema de aquisição de dados

A Figura 7 apresenta o sistema de aquisição de dados, o qual é composto por uma unidade de leitura e tratamento de sinal, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Elétrica (DEE/UFMG), e um micro computador, mostrado na Figura 8, que tem como função processar e armazenar todas as informações coletadas em tempo real.

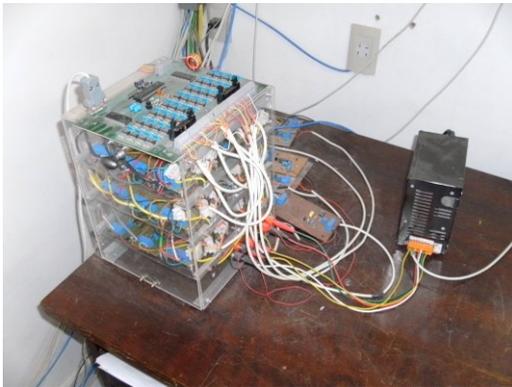


Figura 7 – Sistema de aquisição de dados



Figura 8 – Micro computador

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Procedimento experimental

Antes do início dos experimentos, foi realizada uma aferição dos termopares, fazendo-se a imersão dos mesmos em gelo (0°C) e em água fervendo (100°C). Os transdutores de pressão e os medidores de vazão possuem certificados de aferição.

Para obtenção dos resultados foram realizados testes na parte da manhã e da tarde, e em horários diferentes. Antes de cada teste foi preciso ligar um pouco mais cedo o analisador de gases para que ele pudesse calibrar-se automaticamente. Estando calibrado o analisador, o sistema de aquisição é ligado e em seguida liga-se o sistema motor-gerador. Feito isso, espera-se que o próprio motor alcance a temperatura de trabalho, que é a temperatura da água na saída, em torno de 80°C . Antes dos ensaios com gás natural é feito um teste usando somente diesel para as cargas de 50, 75, 100 e 125kW. Na realização dos testes onde substituímos diesel por gás natural utilizamos primeiro a carga de 50kW para as taxas de substituição de 40%, 60% e 80%, em seguida se faz o mesmo para as cargas de 75kW, 100kW e 125kW.

A intervalos de 2 segundos são coletados dados da temperatura no sistema de escapamento do motor, do ar de admissão, do óleo lubrificante, do ar ambiente, da água na entrada e saída, do ar após a passagem pelo compressor, da pressão ambiente e após o compressor, da pressão do óleo lubrificante e de vazões para o ar, o gás e o óleo diesel na entrada do motor, bem como dados de emissão de CO , CO_2 , NO , NO_2 , C_xH_y (metano), O_2 , eficiência da combustão e de excesso de ar.

Apesar de os resultados serem compatíveis em todas as baterias de testes, foram feitas planilhas no Excel, Figura 9, com os valores médios desses resultados tanto da eficiência do motor, quanto das taxas de

emissões de CO, CO₂, NO, NO₂ e C_xH_y. Por fim, foi necessário a utilização do programa computacional Grapher 2.0, apresentado na Figura 10, para a plotagem dos gráficos correspondentes.

Potência	Peso inicial	Peso final	Consumo instantâneo	Tempo em segundos	Consumo horário	Taxa de substituição 40-60-80	LEITURA	DATA	Umidade relativa	Vazão de gás	período	CO
50,00	47,20	47,00	0,20	86,00	8,37	39,68	37,00	4-nov-06	4,60	manhã	1513	
50,00	46,35	46,15	0,20	127,40	5,65	59,28	26,00	4-nov-06	11,10	manhã	1508	
50,00	45,50	45,30	0,20	255,90	2,81	78,73	38,00	4-nov-06	19,40	manhã	1492	
75,00	42,30	42,10	0,20	61,10	11,78	40,03	71,00	4-nov-06	8,20	manhã	1393	
75,00	43,25	43,05	0,20	93,90	7,67	60,98	66,00	4-nov-06	14,10	manhã	1605	
75,00	44,50	44,30	0,20	194,00	3,91	89,09	55,00	4-nov-06	23,00	manhã	976	
100,00	48,50	48,30	0,20	48,10	14,97	39,18	79,00	4-nov-06	10,80	manhã	1344	
100,00	39,35	39,15	0,20	73,40	9,81	60,14	65,00	4-nov-06	20,20	manhã	1584	
100,00	38,40	38,20	0,20	143,30	5,00	78,57	84,00	4-nov-06	29,20	manhã	1063	
125,00	35,10	34,90	0,20	39,20	18,37	39,08	112,00	4-nov-06	11,20	manhã	1186	
125,00	37,10	36,90	0,20	58,50	12,21	59,18	105,00	4-nov-06	20,30	manhã	1214	
125,00	37,60	37,40	0,20	119,90	6,61	80,08	101,00	4-nov-06	29,30	manhã	1083	

Figura 9 – Planilha Excel de dados

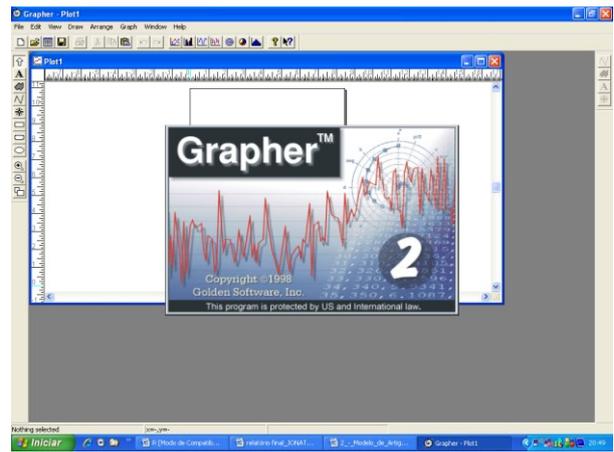


Figura 10 – Grapher 2.0

Eficiência do motor diesel

Analisando o gráfico da Figura 11, observa-se que para a condição diesel puro, este apresenta um valores em torno de 72 %. Destaca-se que esta condição é superada para todos os valores de potencia ensaiados, quando o motor opera com taxa de substituição de 80%. Para as taxas de 40% e 60%, observa-se que a partir da carga de 100 kW, estas condições de operação também superam a condição diesel puro.

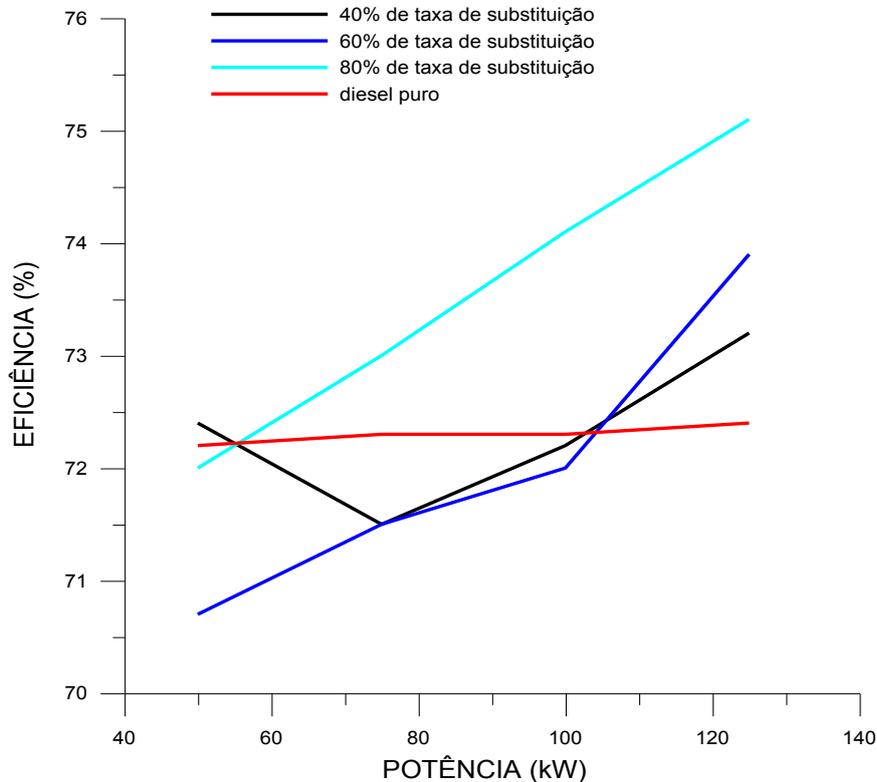


Figura 11 – Gráfico da eficiência em função da carga.

Análise das emissões de poluentes

Analisando o comportamento do NO no gráfico abaixo, Figura 12, percebermos um aumento de sua emissão principalmente quando o motor trabalha com taxa de substituição de 80%, isso ocorre devido ao aumento da quantidade de gás natural no processo de combustão. No entanto esta variação é muito pequena e os valores medido são muito baixos.

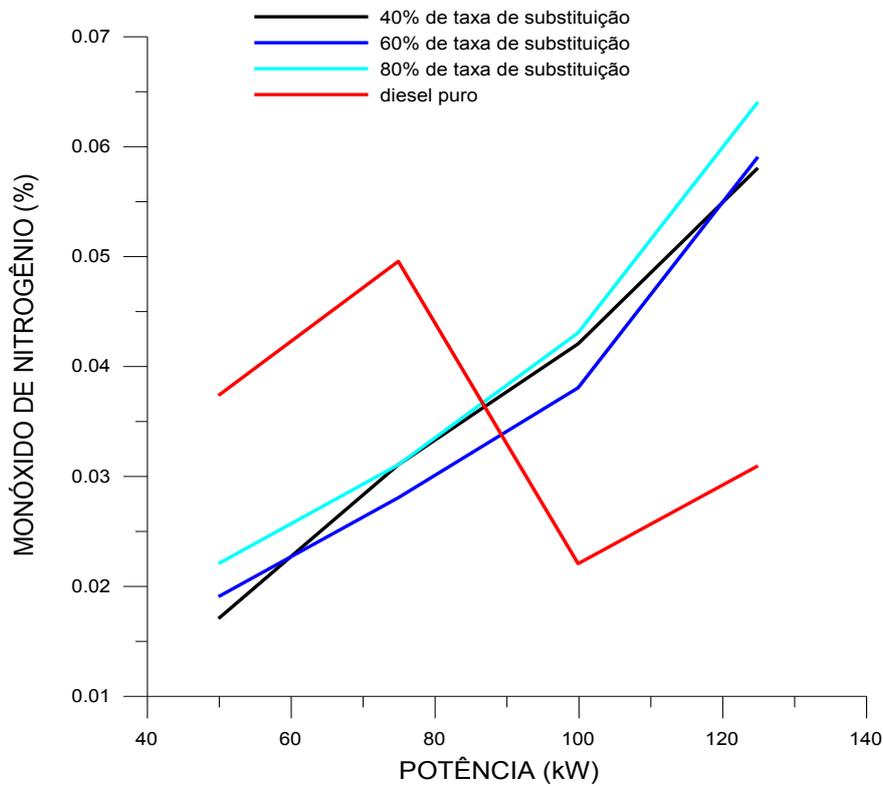


Figura 12 – Gráfico da percentagem de NO em função da carga

As taxas de emissão de NO₂ mostradas no gráfico da Figura 13, apresentam uma ligeira queda para todas as taxas de substituição quando a carga é de 75kW, voltando a aumentar com o aumento da potência, no entanto, seus valores ficam acima quando o motor trabalha unicamente com diesel.

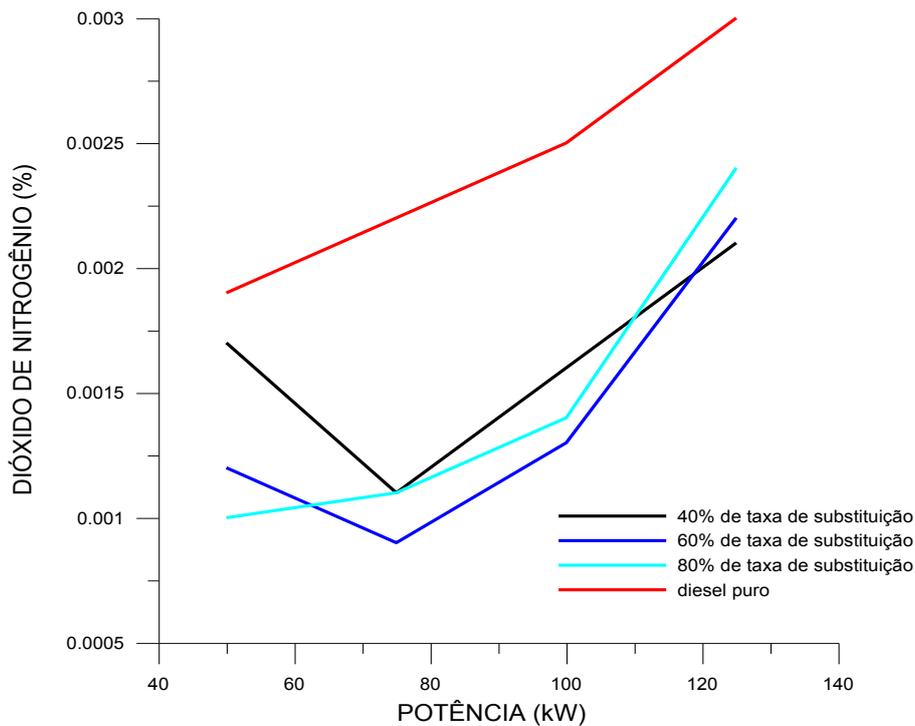


Figura 13 – Gráfico da percentagem de NO₂ em função da potência

Analisando agora o comportamento do monóxido de carbono na Figura 14, notamos um aumento da emissão de CO se comparado ao motor trabalhando unicamente com diesel

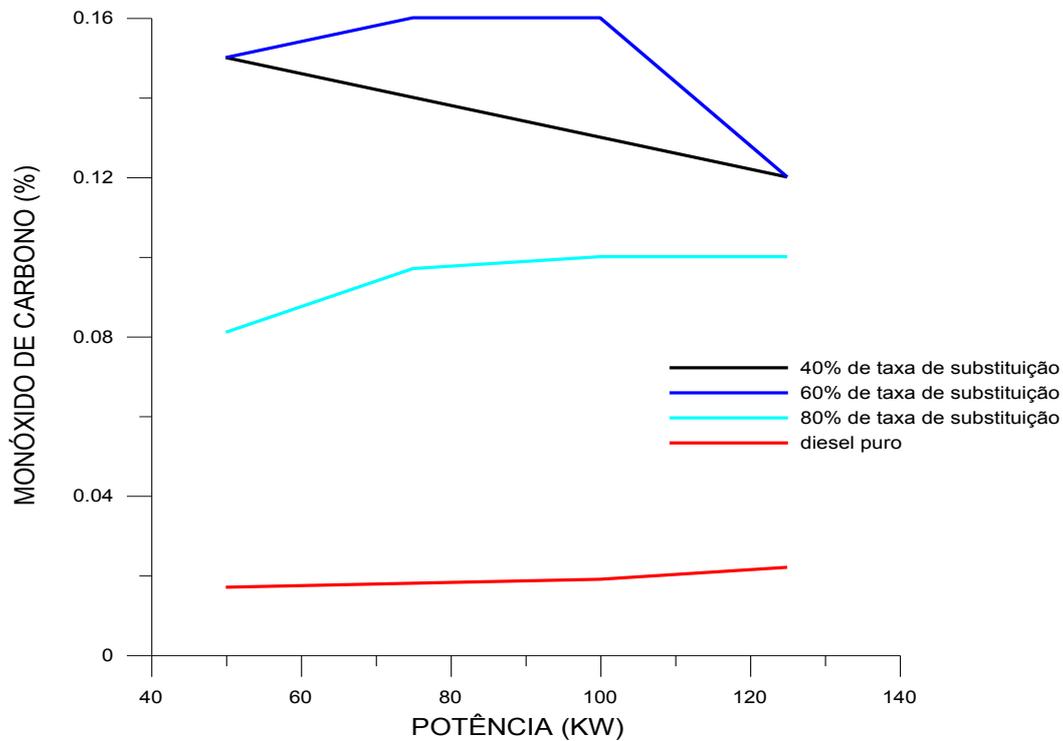


Figura 14 – Gráfico da porcentagem de CO em função da potência

O gráfico da Figura 15, apresenta o comportamento do dióxido de carbono que aumenta com o aumento da potência do motor, este resultado mostra que a reação de combustão ocorreu de forma desejada, pois há uma maior eficiência quando se tem um aumento dos níveis de CO_2 .

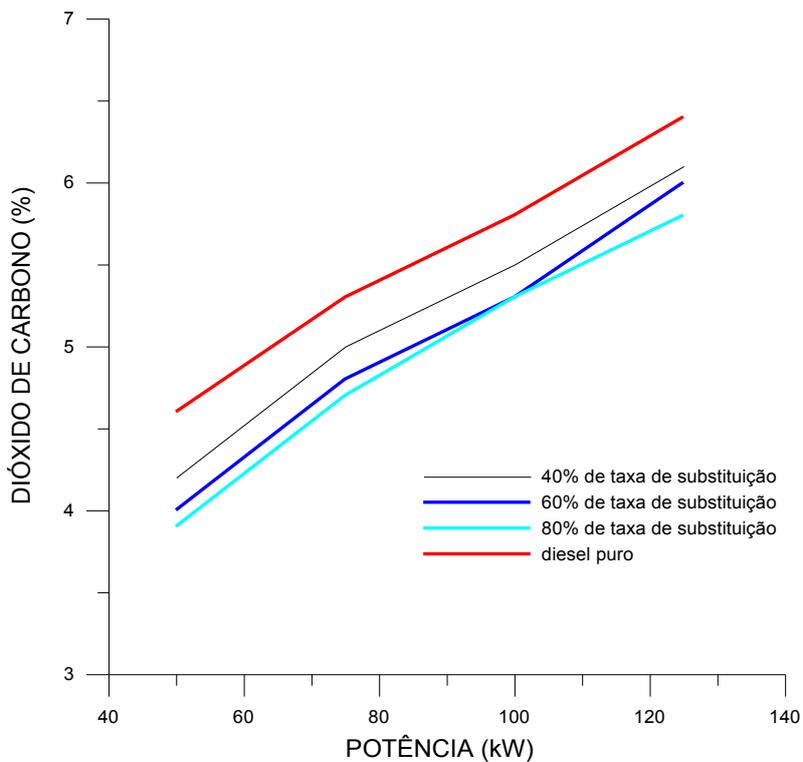


Figura 15 – Gráfico da porcentagem de CO_2 em função da carga

Observando-se agora o comportamento do gás metano no gráfico da Figura 16, vemos que há uma diminuição das taxas deste poluente quando se trabalha com mistura diesel e gás natural

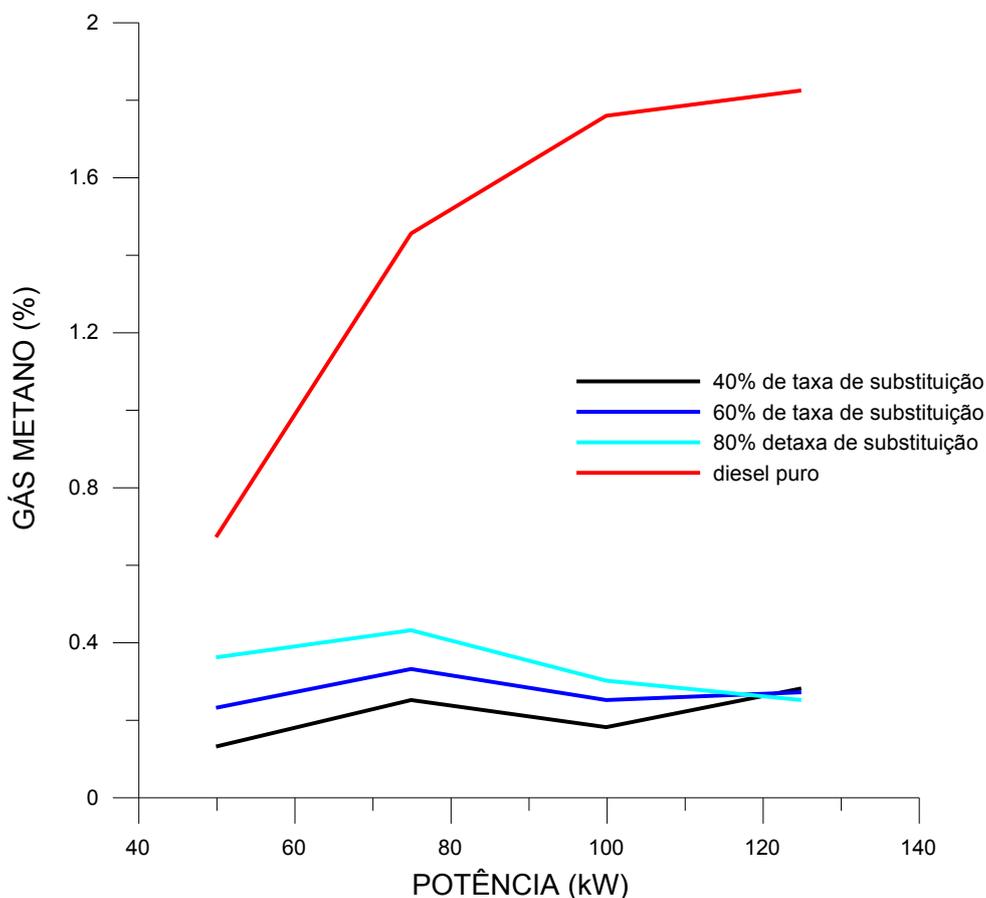


Figura 16 – Gráfico da porcentagem de C_xH_y em função da carga

CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos nesta pesquisa experimental, onde se analisou a performance de um motor funcionando de forma dual, diesel e gás natural, concluiu-se que:

- Houve um aumento da eficiência do motor quando este trabalhou na condição de 80% de taxa de substituição de diesel por gás natural para todas as condições de carga aplicada;
- Observou-se um aumento do nível de monóxido de nitrogênio quando se aumenta a taxa de substituição, para todas as condições de potência impostas;
- Apesar da taxa de NO₂ apresentar certo aumento em todas as taxas de substituição, podemos desprezar seus valores;
- Houve um aumento na emissão de CO quando se passou a usar uma mistura diesel e gás natural;
- Pode-se notar uma melhor qualidade da combustão devido ao aumento do dióxido de carbono;
- Observou-se uma redução na emissão hidrocarbonetos na forma (C_xH_y) para todas as taxas de substituição de diesel por gás natural.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica e ao Prof. Doutor Yoge Jerônimo Ramos da Costa.

REFERÊNCIAS

ANP. **Agência Nacional de Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis**. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br> >. Acesso em: 20 jun. 2009.

COSTA, Yoge Jerônimo Ramos. **Análise Energética e Exergética de um Motor de Combustão Interna Operando com Mistura de Diesel e Gás**. Tese de Doutorado. 182 p. PPGE/CCT/UFMG, Campina Grande. 2007.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M., **Energia e Meio Ambiente**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. 545p.

MARTINELLI, Jr. L. C.; **Motores de combustão interna: conceitos básicos**; Panambi, RS; Editora da Unijuí, Campus Panambi; 2005.

PBGÁS. **Companhia Paraibana de Gás Natural**. Disponível em < <http://www.pbgas.pb.gov.br> >. Acesso em: 20 jul. 2009.