



Utilização de Mistura XXX Etanol-Biodiesel e Óleo Diesel em Motores Diesel com Bomba Rotativa

Autores:

Yordanka Reyes Cruz

Prof. Donato A.G. Aranda, D.Sc.,

Prof. Carlos R.P. Belchior, D.Sc.,

belchior@peno.coppe.ufrj.br



HISTÓRICO: Experiências de Uso das Misturas de Álcool e Diesel no Mercado Internacional

- Diferentes países contemplam a mistura do álcool ao diesel criando perspectivas amplamente favoráveis à expansão do mercado internacional:
 - Na Tailândia estudam a alternativa de misturar 10% de álcool no diesel;
 - A Índia começou a usar as misturas em frotas cativas de ônibus, locomotoras e motores estacionários, consumindo o álcool produzido a partir de cana de açúcar e celulose do bagaço;
 - Na Suécia a companhia Sekab pesquisou o desenvolvimento de duas misturas, a primeira denominada Etamix-D, mistura de 15% de álcool com diesel e aditivo emulsificante Etamix-D para garantir a estabilidade. A segunda incluiu o aditivo Beraid, que além de melhorar a estabilidade, aumenta o número de cetano e a viscosidade, melhorando a lubricidade da mistura. Essas misturas já estão sendo usadas na frota de ônibus de Estocolmo;



HISTÓRICO: Experiências de Uso das Misturas de Álcool e Diesel no Mercado Internacional

- Na Austrália, a partir do ano 2001, introduziu-se a mistura 15% de álcool, 84.5% de diesel e 0.5% de emulsificante em frota de ônibus Mercedes Benz. A mesma mistura também tem sido testada no Chile, Tailândia, Alemanha e Estados Unidos;
- O Japão aprovou lei, a ser regulamentada, que permite a mistura do álcool ao diesel;
- f) Os EUA têm sua demanda de etanol em franco crescimento. Lá tem desenvolvido, para o consumo das misturas, a denominada Tecnologia AAE. De forma geral, formulam a mistura com 15% de álcool e um aditivo comercializado pela companhia AAE Technologies Inc. A companhia passou a ser chamada O2Diesel Inc. em julho de 2003, e comercializa a mistura sob a sigla “OTOD”, com experiências em caminhões e ônibus. Sua introdução comercial comprova ser um produto com custo-benefício e um diesel mais limpo, hoje em fase adiantada de utilização na América do Norte, no Brasil e no mundo;



HISTÓRICO: A Experiência Brasileira no Desenvolvimento das Misturas de Álcool e Diesel

- No Brasil retomaram-se os estudos de pesquisa para o desenvolvimento das misturas álcool ao diesel, a partir do ano 1997, com a formação do grupo técnico (GT II) para estudar a viabilidade técnica da mistura álcool - diesel. O grupo, após analisar diversas alternativas, decidiu avaliar duas possibilidades principais para o uso de álcool misturado ao diesel:
 - misturas “otimizadas” para aplicação em frotas cativas, que utilizariam cerca de 10% de etanol na forma de emulsão ou solução, incluindo aditivos. Projeto coordenado pela União da agroindústria canavieira de São Paulo (UNICA);
 - soluções não aditivadas de 3% de AEAC em diesel, para aplicação geral. Projeto coordenado pela Associação dos produtores de álcool e açúcar de Paraná (ALCOPAR).]
 - Outras experiências como a do Grupo Dedini, Usina São Matilde e Iadete/USP/RP são dignos de menção;



OBJETIVOS DA PESQUISA

- O estudo das experiências anteriores permite concluir que a pesquisa a ser desenvolvida deve ter os seguintes objetivos, para ser abrangente:
 - Avaliar a qualidade das matérias primas (diesel e álcool) e das misturas aditivadas através da caracterização físico-química.
 - Determinar a influência do álcool nas propriedades físico – químicas do combustível diesel;
 - Realizar estudos de estabilidade das mistura a diferentes temperaturas. Determinar a concentração de água limite;
 - Estudar a lubricidade do óleo diesel e suas misturas com diferentes teores de álcool. Determinar o efeito da viscosidade nesta propriedade;
 - Desenvolver nova formulação de aditivos que permitam garantir a estabilidade da mistura e cumprir com as exigências de lubricidade do sistema de injeção com bomba rotativa, assim como, a minimização de sua dosagem na mistura. Além de avaliar o efeito do aditivo cubano (BIOMIX-D) no incremento do número de cetano;



OBJETIVOS DA PESQUISA

- Testar a mistura selecionada em bancada dinamométrica, com o correspondente levantamento das curvas de desempenho e consumo de combustível do motor Diesel com ambos sistemas de injeção (em linha e com bomba rotativa). Ensaio de durabilidade do motor e do sistema de injeção com bomba rotativa;
- Realizar medições das emissões de poluentes, que permitam quantificar o efeito da mistura diesel – etanol na poluição atmosférica;

Determinação da Influência do Álcool nas Propriedades Físico-químicas do Óleo Diesel

Comparação das propriedades e características do etanol em relação ao combustível diesel convencional:

Propriedades	Etanol	Diesel
Teor de oxigênio, %	35	0
Solubilidade em água	Infinita	0
Número de cetano	8	45 – 55
Densidade, kg/m ³	790	820 – 870
Ponto de ebulição, °C	78,0	180 – 360
Ponto de fulgor, °C	13	50 – 70
Ponto de névoa, °C	-114,6	-10 a 60
Entalpia de evaporação, kJ/kg	920	210 - 250
Entalpia de combustão, kJ/kg	2674	2715 – 2790
Número de octano (MON)	92	-
Número de octano (RON)	108	-



ASPECTOS AMBIENTAIS

- Do estudo das experiências relatadas no estado da arte, os seguintes aspectos ambientais poderão ser citados:
 - Para misturas com aproximadamente 8% de álcool, tem-se: uma redução de cerca de 3,5% na emissão de carbono;
 - Geraria ainda outros ganhos ambientais pela redução de poluentes atmosféricos como, por exemplo, no mínimo redução de 30% de fuligem, 6% de material particulado e 5% de óxidos de nitrogênio, além da redução de cerca de 8% nas emissões de óxidos de enxofre, gás com efeitos sobre a saúde animal e corrosivo de construções industriais e civis;
 - A estes benefícios somam-se os benefícios advindos da utilização de combustíveis de fontes renováveis, pelo seu desempenho positivo no controle dos gases de efeito estufa, especialmente CO₂ (dióxido de carbono), pois a cultura da cana de açúcar (fonte do álcool) tem características específicas com relação à absorção de CO₂ da atmosfera, já que todo o carbono gerado no cultivo e transformação é reabsorvido por nova safra, representando uma redução efetiva em relação à utilização de combustíveis de fonte fóssil (óleo diesel).

MISTURAS DE ÁLCOOL – DIESEL

➤ Características Físico-químicas das misturas:

Característica	Método	Especificação (80)	Diesel Regular	D+3% AEAC	D+5% AEAC	D+8% AEAC	D+10% AEAC	D+14% AEAC
Densidade a 15°C, kg/m³	ASTM D 1298	0,810 - 0,860	0,8530	0,8510	0,85	0,8483	0,8479	0,8475
Corrosividade ao cobre, 3h a 50 °C	ASTM D 130	1 máx.	1 a	1 ^a	1a	1a	1a	1a
Enxofre total, % m/m	ASTM D 1266	0,8 máx.	0,83	0,82	0,82	0,77	0,74	0,71
Enxofre Mercaptans, % m/m	ASTM D 3227	-	0.013	0.0117	0.0105	0.0099	0.0092	0.0091
Índice de acidez, mg KOH/g	ASTM D 974	0,6 máx.	0,13	0,123	0,12	0,112	0,109	0,10
Viscosidade a 40°C, mm² / s	ASTM D 445	1,6 – 5,3	3,10	2,9146	2,7862	2,6630	2,6178	2,5344
Cor ASTM	ASTM D 1500	3,5 máx.	2,0-2,5	2,0 – 2,5	2,0 – 2,5	2,0 – 2,5	2,0 – 2,5	2,0 – 2,5
Ponto de fulgor, °C	ASTM D 93	52 mín.	66	12	12	11	10	10
Água e sedimentos, % v/v	ASTM D 96	0,05 máx.	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
Índice de cetano	ASTM D 4737	43 mín	47,57	47,54	47,27	46,7	45,19	45,13
Capacidade Calorífica, kcal/kg	ASTM D 240	-	10013	9897	9794	9759	9707	9550
Resíduo de carbono, % m/m	ASTM D 189	0,1 máx.	0,059	0,057	0,0560	0,0540	0,0531	0,0507
Cinzas, % m/m	ASTM D 482	0,01 máx.	0,0055	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
Aromáticos totais, % m/m	Ultra- violeta	-	46,88	44,63	42,94	39,98	38,65	37,31
Destilação, °C								
PIE		Anotar	187	79	79	79	79	79
5			205	188	79	79	79	79
10			217	215	208	196	79	79
20			234	226	228	220	221	218
30			249	244	242	240	238	233
40			261	259	259	257	254	253
50		235 – 300	274	271	271	269	269	267
60	ASTM D 86		286	283	284	281	282	281
70			299	298	297	296	294	296
80			317	315	317	317	313	314
90		360	345	344	345	346	340	344
95			374	372	376	374	372	373
PFE		Anotar	381	379	379	379	379	380
% Recobrado			97,99	98,09	97,99	97,99	97,99	98
% Perdida			0,51	0,1	0,51	0,41	0,51	0,5
% Resíduo			1,5	1,81	1,5	1,6	1,5	1,5



MISTURAS DE ÁLCOOL – DIESEL

- Na tabela anterior, se observa uma redução da capacidade calorífica do combustível na medida em que se incrementa a concentração de álcool, chegando a uma redução de 5 % na mistura com 14 % v/v, o que implica uma menor disponibilização de energia durante sua combustão podendo comprometer o rendimento do motor, fazendo com que os mesmos operem com potências menores das anunciadas pelos fabricantes;
- No entanto, se o número de cetano do combustível, aumentasse com a adição de álcool, poderia existir um equilíbrio entre ambas as propriedades fazendo com que até determinada concentração de álcool a perda de potência se minimize;
- No caso da adição de álcool ao diesel, o número de cetano estimado neste estudo através do método de índice de cetano, também diminui, portanto é necessário adicionar um aditivo que melhore este índice e consiga minimizar a perda de potência no motor.

MISTURAS DE ÁLCOOL – DIESEL

➤ Testes de Carga / Desgaste:

Identificação	Carga, kg	Desgaste médio (mm)
Óleo diesel regular	30	Não se observa desgaste
	32	Não se observa desgaste
	34	1.230
Óleo diesel regular + 3% AEAC	30	Não se observa desgaste
	32	Não se observa desgaste
	34	1.260
Óleo diesel regular + 5% AEAC	30	Não se observa desgaste
	32	0.602
	34	1.350
Óleo diesel regular + 8% AEAC	30	0.527
	32	1.300
	34	1.430
Óleo diesel regular + 10% AEAC	30	0.553
	32	1.332
	34	1.451
Óleo diesel regular + 14% AEAC	30	0.594
	32	1.387
	34	1.482



MISTURAS DE ÁLCOOL – DIESEL

- Nos Testes de Carga / Desgaste observou-se que na amostra com 3 % de álcool a película lubrificante é mantida até cargas de 32 kg;
- Sob as mesmas condições de carga, as misturas com teores de álcool superiores provocam um desgaste maior que o combustível diesel, alcançando valores superiores a 0,6 mm;
- Estes resultados alertam sobre a necessidade de realizar testes rigorosos de lubricidade e durabilidade em motores, além de propor aditivos que melhorem esta propriedade.

MISTURAS DE ÁLCOOL – DIESEL

- Características Físico-químicas do Diesel e da Mistura com 8% de Etanol Anidro:

Característica	Método	Especificação (Tabela 2.2)	Óleo diesel S-500	Óleo diesel S-500 + 8% AEAC	Óleo diesel S-500 + 2% Biodiesel	Óleo diesel S-500 + 2% Biodiesel + 8% AEAC
Densidade a 15°C, kg/m³	ASTM D 1298	0,820 – 0,865	0,8576	0,8556	0,8578	0,8563
Corrosividade ao cobre, 3h a 50 °C	ASTM D 130	1 máx.	1 b	1b	1 b	1b
Enxofre total, % m/m	ASTM D 1266	0,05 máx.	0,026	0,022	0,025	0,020
Índice de acidez, mg KOH/g	ASTM D 974	-	0,028	0,0272	0,028	0,0278
Viscosidade a 40°C, mm² / s	ASTM D 445	2,0 – 5,0	4,6737	4,5823	4,7000	4,6241
Cor ASTM	ASTM D 1500	3,0 máx.	1,0	1,0	1,0	1,0
Ponto de fulgor, °C	ASTM D 93	38 mín	87	13	87	13
Água e sedimentos, % v/v	ASTM D 96	0,05 máx.	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
Número de cetano	ASTM D 613	42 mín.	60,5	51,5	59,4	51,5
Poder Calorífico, kcal/kg	ASTM D 240	-	10100	9802	10002	9786
Resíduo de carbono Ramsbottom no resíduo dos 10% finais da destilação, % m/m	ASTM D 189	0,25 máx.	0,04	0,037	0,04	0,035
Cinzas, % m/m	ASTM D 482	0,010 máx.	0,007	0,003	0,005	0,0026
Aromáticos totais, % m/m	Ultra- violeta	-	31,34	29,87	30,26	27,25
Destilação, °C						
PIE			217,0	79,0	2180	79,0
5			241,5	218,0	242,5	220,0
10			253,5	251,5	254,5	252,0
20			267,5	262,5	267,0	263,0
30			277,0	277,0	277,0	278,0
40			286,0	286,0	286,0	286,0
50			295,5	296,0	296,0	295,5
60			306,5	305,5	306,5	305,5
70			319,0	318,0	319,0	318,0
80			335,0	335,0	335,0	335,0
90			362,0	361,0	362,0	362,0
95			385,0	385,0	385,0	385,0
PFE			388,0	387,0	388,0	388,0
% Recobrado			98,0	99,0	99,0	98,5
% Perdida			1,0	0,5	0,5	0,2
% Resíduo			1,0	0,5	0,5	0,3

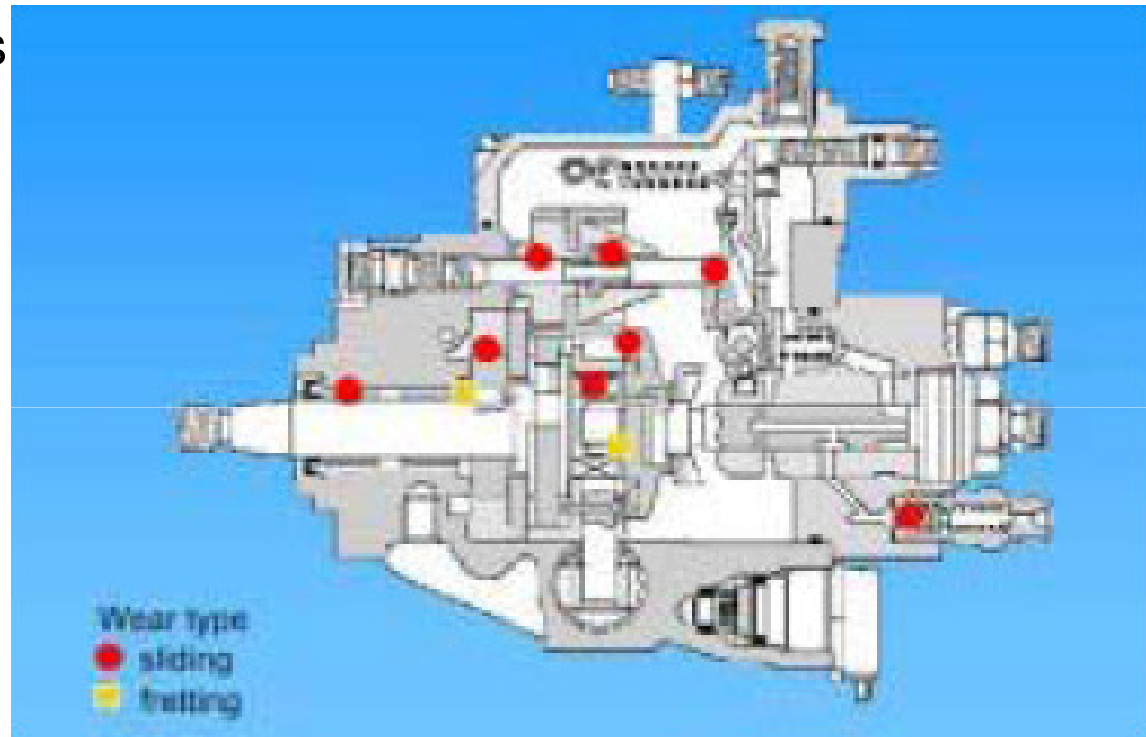


ASPECTOS DE LUBRICIDADE EM MOTORES COM BOMBA ROTATIVA

- O óleo diesel, além das características necessárias para apresentar um bom desempenho como combustível, deve atuar também como lubrificante em determinadas partes dos sistemas de injeção, como acontece nas bombas rotativas e injetores;
- Em alguns casos, apesar do combustível atender às especificações, pode ocorrer redução do tempo normal de vida de bombas e injetores em função do baixo poder de lubrificação do combustível;
- A lubricidade é um termo qualitativo que descreve a habilidade de um combustível em evitar a fricção e o desgaste entre superfícies metálicas em movimento relativo sob carga;
- Quando um combustível não apresenta lubricidade adequada, sua capacidade de diminuir o atrito entre superfícies em contato é prejudicada;

ASPECTOS DE LUBRICIDADE EM MOTORES COM BOMBA ROTATIVA

- Isto é particularmente crítico no caso das bombas rotativas porque seus componentes internos são lubrificados pelo próprio combustível;
- Neste caso, o combustível deve ter lubricidade adequada para conferir ao sistema de injeção a durabilidade requerida, ou seja, evitar desgaste prematuro dos componentes;





DESENVOLVIMENTO DE ADITIVOS PARA A MISTURA DE 8% DE ETANOL ANIDRO

- A revisão bibliográfica e os resultados da pesquisa demonstram que quando se pretende trabalhar com teores de álcool superiores a 3% ou estender o consumo destas misturas a motores diesel equipados com bombas injetoras rotativas é necessário introduzir na formulação um terceiro elemento, denominado “aditivo”;
- Especificamente nas misturas álcool/diesel o aditivo deve garantir a homogeneização perfeita e corrigir lubricidade e número de cetano, propriedades afetadas pela adição do álcool;
- Em casos como este, onde se precisa repor ou melhorar várias propriedades do combustível original é comum utilizar um “pacote de aditivos”;
- Com o objetivo de propor um aditivo para a mistura com 8% de álcool foram estudados e avaliados vários produtos disponíveis no mercado;



DESENVOLVIMENTO DE ADITIVOS PARA A MISTURA DE 8% DE ETANOL ANIDRO

- Aditivo para melhora da solubilidade da mistura:
 - Os ésteres graxos de sorbitan são comercializados por várias empresas sob a marca “SPAN”. Entre os SPANs, o monooleato de sorbitan (SPAN 80) é um dos ésteres proposto como aditivo solubilizante da mistura de combustível diesel com 8% de etanol anidro;
 - Sua concentração na mistura foi minimizada a 0,5 %v/v, garantindo a estabilidade da mistura por 30 dias nas condições brasileiras de armazenagem;



DESENVOLVIMENTO DE ADITIVOS PARA A MISTURA DE 8% DE ETANOL ANIDRO

- Aditivo para melhora da solubilidade da lubricidade:
 - Na proposta do aditivo melhorador de lubricidade, o primeiro candidato foi o mesmo monooleato de sorbitan (SPAN 80), que cumpre com as características exigidas para produtos usados com estes fins;
 - No Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, estudou-se a lubricidade das amostras, utilizando os métodos ASTM D 6079-99 e ISO 12156;
 - O teor de cada um dos componentes nas misturas foi selecionado considerando:
 - 8% etanol anidro, porcentual ideal otimizado;
 - 0,5% SPAN 80, porcentual minimizado;
 - 1,0% SPAN 80, se decidiu duplicar o teor de aditivo na mistura para verificar sua influência na lubricidade.
 - 2% de biodiesel, regulamentado pela ANP a partir do 2006;

DESENVOLVIMENTO DE ADITIVOS PARA A MISTURA DE 8% DE ETANOL ANIDRO

- Resumo dos resultados obtidos nos ensaios de lubricidade:

Nº	Identificação das amostras	Volume do recipiente (ml)	Taxa de renovação do combustível (ml/min)	Desgaste médio ASTM 6079 WSD (mm)	Desgaste médio ISO 12156 WS1,4 (µm)	Coefficiente médio de atrito	Espessura média do filme (%)
1	Óleo diesel –S-500	15	1,2	0,35±0,02	355±3	0,223	59
2	Óleo diesel –S-500 + 8% Etanol Anidro	15	1,4	0,42±0,02	410±2	0,237	11
3	Óleo diesel –S-500 + 8% Etanol Anidro + 0,5% SPAN 80	15	1,4	0,29±0,03	295±3	0,213	54
4	Óleo diesel –S-500 + 8% Etanol Anidro + 1,0% SPAN 80	15	2,0	0,25±0,02	255±3	0,241	48
5	Óleo diesel –S-500 + 8% Etanol Anidro + 2% biodiesel	15	2,1	0,35±0,01	352±3	0,193	43
6	Óleo diesel –S-500 + 8% Etanol Anidro + 2% biodiesel + 0,5% SPAN 80	15	2,0	0,27±0,02	275±2	0,141	52



DESENVOLVIMENTO DE ADITIVOS PARA A MISTURA DE 8% DE ETANOL ANIDRO

- Aditivo para elevar o número de cetano da mistura:
 - A adição de álcool ao óleo diesel também resulta na redução do número de cetano, podendo exigir outro aditivo que confira à mistura melhor qualidade de ignição, conforme a natureza do óleo diesel a ser usado;
 - Partindo destas análises, pretende-se avaliar o aditivo Biomix-D como melhorador da qualidade de ignição da mistura de combustível diesel com 8% de etanol anidro, redefinindo sua concentração;
 - O Biomix-D, foi patenteado em Cuba para ser adicionado ao diesel em uma concentração de 0,1%;
 - Os melhores resultados em relação ao aumento do número de cetano se obtiveram na amostra aditivada com 0,1% de Biomix-D.

DESENVOLVIMENTO DE ADITIVOS PARA A MISTURA DE 8% DE ETANOL ANIDRO


- Número de cetano nas amostras estudadas:

Identificação	Número de cetano ASTM D 613
Óleo diesel interior	47,4±2
Biodiesel (Agropalma)	64,0±2
Óleo diesel interior + 2% Biodiesel	47,5±3
Óleo diesel interior + 0,5% SPAN 80	47,8±2
Óleo diesel interior + 0,1% Biomix-D	47,8±2
Óleo diesel interior + 2% Biodiesel + 8% AEAC	42,0±2
Óleo diesel interior + 2% Biodiesel + 8% AEAC + 0,5% SPAN 80	42,8±3
Óleo diesel interior + 2% Biodiesel + 8% AEAC + 0,5% SPAN 80 + 0,1% Biomix-D	43,5±2
Óleo diesel interior + 2% Biodiesel + 8% AEAC + 0,5% SPAN 80 + 0,3% Biomix-D	43,2±2
Óleo diesel interior + 2% Biodiesel + 8% AEAC + 0,5% SPAN 80 + 0,5% Biomix-D	43,3±2



DESENVOLVIMENTO DE ADITIVOS PARA A MISTURA DE 8% DE ETANOL ANIDRO

- Aditivo para elevar o número de cetano da mistura:
 - Os melhores resultados em relação ao aumento do número de cetano se obtiveram na amostra aditivada com 0,1% de Biomix-D;
 - Este aditivo será denominado como DIOLEFECT e formulado a partir da mistura de 0,5% de SPAN 80 com 0,1% de BIOMIX-D;

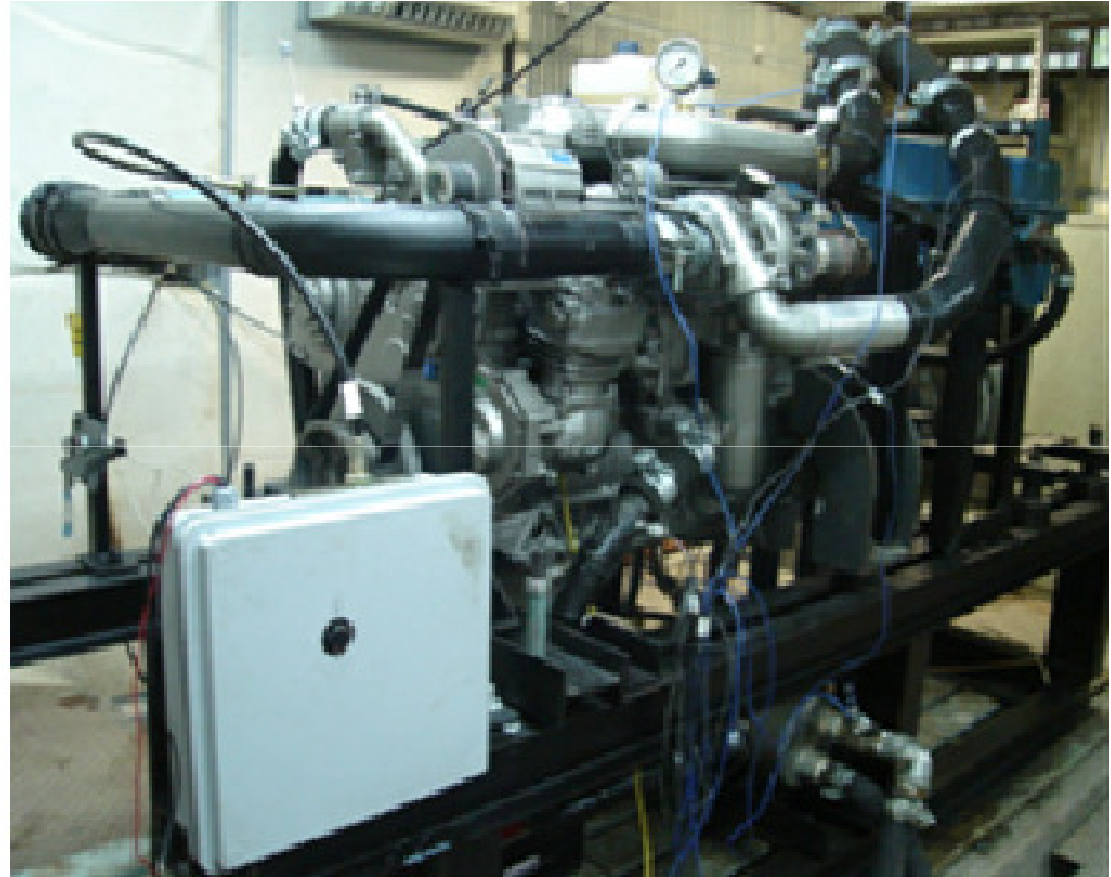


DESEMPENHO E CONSUMO – MOTOR DIESEL COM BOMBA INJETORA ROTATIVA

- Os ensaios de desempenho e consumo de combustível realizaram-se, tomando como base a Norma brasileira NBR ISO 1585 no LMT / COPPE / UFRJ;
- Utilizou-se um motor MWM Série 10 modelo 4.10 TCA acoplado a um dinamômetro hidráulico marca Motor Power modelo MP-800, por meio de uma transmissão Vulkan modelo CN-50, injetora rotativa e consumindo as seguintes qualidades de combustíveis:
 - Combustível diesel S-500 (com 2% biodiesel);
 - Mistura de combustível diesel S-500 (com 2% biodiesel) + 8% de etanol anidro + aditivo DIOLEFECT (0,5% SPAN 80 + 0,1% Biomix-D);

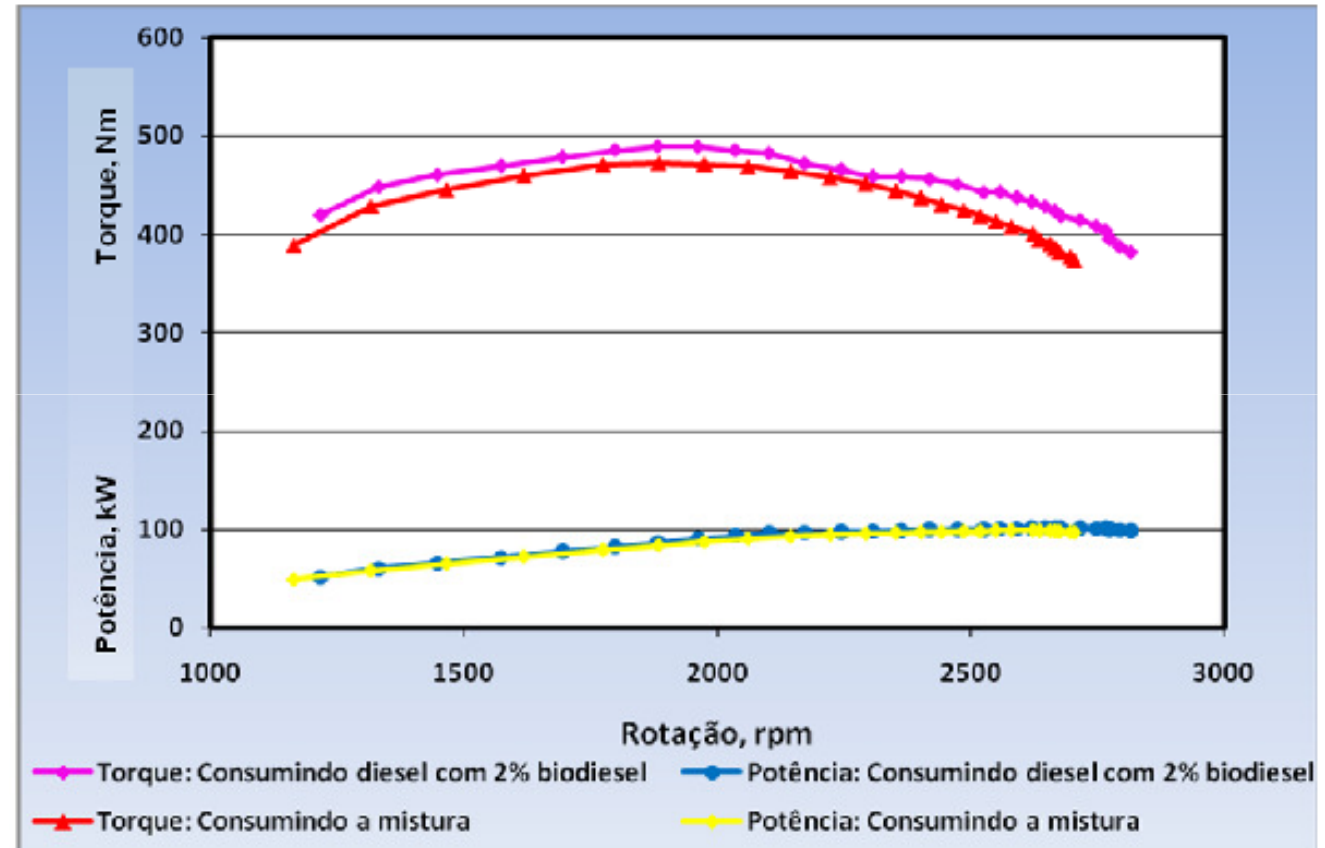
DESEMPENHO E CONSUMO – MOTOR DIESEL COM BOMBA INJETORA ROTATIVA

- A avaliação do desempenho do motor se realizou mediante o correspondente levantamento das curvas características (Torque (Nm) e Potência (KW)) do Motor MWM, ao lado;



DESEMPENHO E CONSUMO – MOTOR DIESEL COM BOMBA INJETORA ROTATIVA: TORQUE E POTÊNCIA

- Curvas características do motor MWM Modelo 4.10TCA: Torque e Potência;



DESEMPENHO E CONSUMO – MOTOR DIESEL COM BOMBA INJETORA ROTATIVA: CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTÍVEL

- Foram medidas também durante os testes em bancada, o consumo específico de combustível;

Rotação rpm	Consumo Especifico Combustível Diesel g/kw h	Consumo Especifico da Mistura g/kw h
1000	295	318
1200	248	259
1400	247	250
1600	258	263
1800	268	273
2000	274	279
2200	290	294
2400	314	318
Média	274,2	282
Aumento médio de consumo específico, %	2,8	

DESEMPENHO E CONSUMO – MOTOR DIESEL COM BOMBA INJETORA ROTATIVA: CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTÍVEL

- As curvas de consumo específico se caracterizam por serem diretamente proporcionais ao rendimento do motor em função das condições de operação e dos combustíveis que estão sendo testados:

Rotação rpm	Consumo específico de combustível – 1 ^{ra} corrida g/kWh		Consumo específico de combustível – 2 ^{da} corrida g/kWh		Consumo específico de combustível – 3 ^{ra} corrida g/kWh		Consumo específico médio de combustível g/kWh	
	Combustível Diesel	Mistura	Combustível Diesel	Mistura	Combustível Diesel	Mistura	Combustível Diesel	Mistura
1798	265	274	266	266	266	267	265,67	269,00
1882	252	256	256	262	256	266	254,67	261,33
2035	266	265	255	261	255	256	258,67	260,67
2307	246	250	235	239	235	241	238,67	243,33
2557	240	252	234	242	234	240	236,00	244,67
2620	245	244	236	244	236	244	239,00	244,00
2665	253	257	236	239	236	237	241,67	244,33
2677	257	257	237	243	237	240	243,67	246,67
2715	248	251	234	238	234	242	238,67	243,67
Média	252,44	256,22	243,22	248,22	243,22	248,11	246,30	250,85
Aumento médio de consumo específico, %							1,85	



DESEMPENHO E CONSUMO – MOTOR DIESEL COM BOMBA INJETORA ROTATIVA: **ENSAIOS DE EMISSÕES**

- Determinou-se a composição dos gases de escapamento (O₂, CO, CO₂, NO_x e hidrocarbonetos) consumindo as seguintes qualidades de combustível:
 - Combustível diesel S-500 (com 2% biodiesel);
 - Mistura de combustível diesel S-500 (com 2% biodiesel) + 8% de etanol anidro + aditivo DIOLEFECT (0,5% SPAN 80 + 0,1% Biomix-D);

DESEMPENHO E CONSUMO – MOTOR DIESEL COM BOMBA INJETORA ROTATIVA: ENSAIOS DE EMISSÕES

- Composição dos gases de emissão do motor estudado consumindo Óleo diesel S-500 + 2% Biodiesel:

Rotação rpm	O₂ %	CO %	CO₂ %	Hidrocarbonetos ppm	NO_x ppm
1798	0,013	4,93	14,23	4,00	347,33
1882	0,013	4,90	14,30	6,33	349,33
2035	0,013	4,87	14,27	5,33	354,67
2307	0,010	5,80	12,97	2,67	558,33
2557	0,010	5,80	12,97	1,67	578,00
2620	0,010	5,80	12,97	3,00	574,67
2665	0,010	7,77	10,30	4,00	751,33
2677	0,010	7,67	10,30	4,00	742,67
2715	0,010	7,67	10,37	5,00	730,67
Média	0,011	6,13	12,52	4,00	554,11

DESEMPENHO E CONSUMO – MOTOR DIESEL COM BOMBA INJETORA ROTATIVA: ENSAIOS DE EMISSÕES

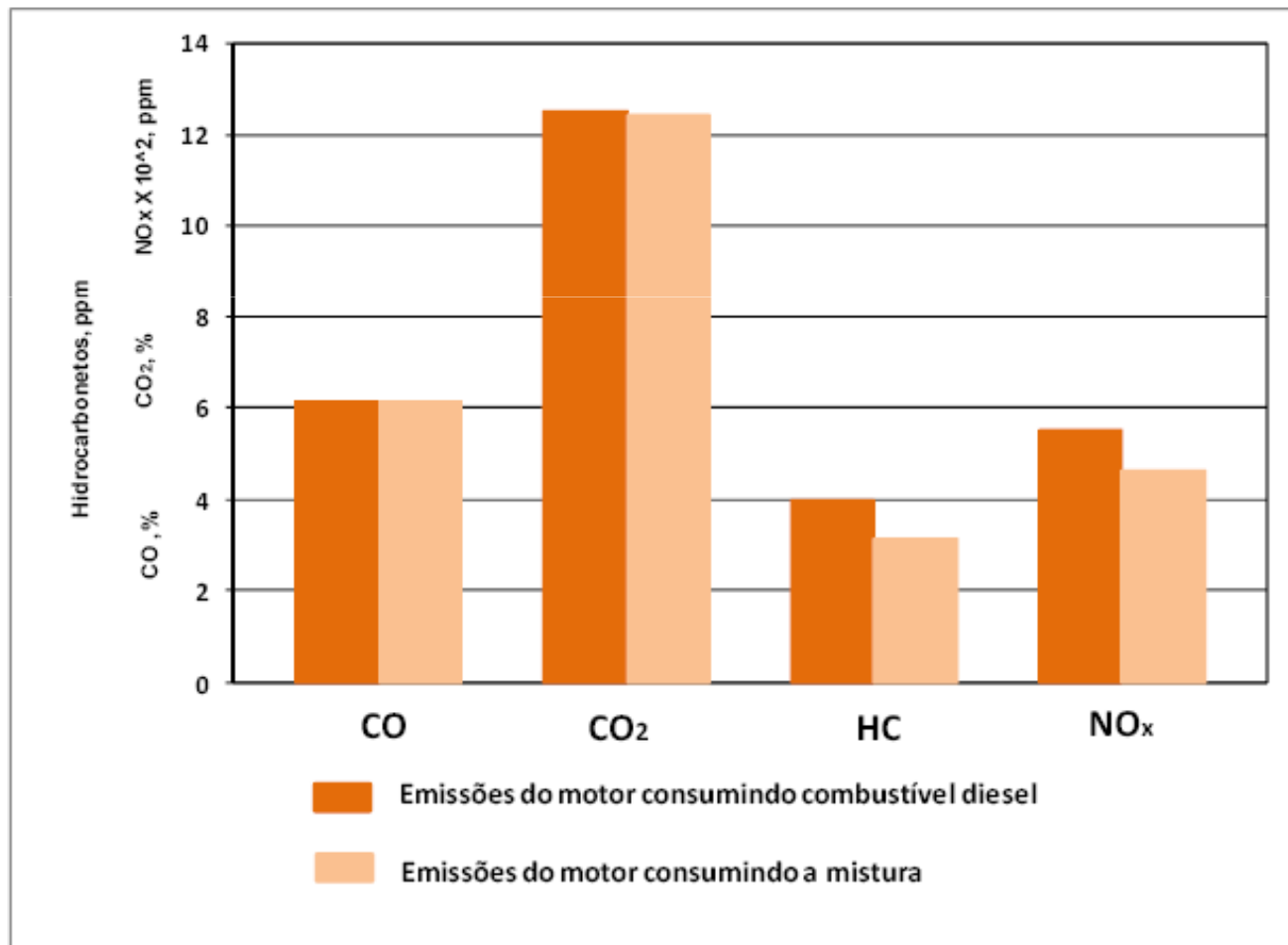
- Composição dos gases de emissão do motor estudado consumindo a Mistura (Óleo diesel –S-500 + 2% Biodiesel + 8% AEAC + aditivo DIOLEFECT (0,5% SPAN 80 + 0,1% Biomix-D)):

Rotação rpm	O ₂ %	CO %	CO ₂ %	Hidrocarbonetos ppm	NO _x ppm
1798	0,013	4,80	14,27	4,33	326,67
1882	0,013	4,70	14,43	4,33	316,33
2035	0,013	4,83	14,20	4,00	326,33
2307	0,003	5,67	13,07	2,67	453,67
2557	0,003	5,73	13,00	3,00	463,00
2620	0,003	5,67	12,90	2,33	468,33
2665	0,010	8,00	9,97	3,33	611,33
2677	0,013	7,90	10,00	2,67	607,00
2715	0,010	7,97	9,87	1,67	598,00
Média	0,009	6,14	12,41	3,15	463,41

- As emissões médias NO_x e hidrocarbonetos reduziram-se 16,36% e 21,3%, respectivamente;

DESEMPENHO E CONSUMO – MOTOR DIESEL COM BOMBA INJETORA ROTATIVA: ENSAIOS DE EMISSÕES

- Média das emissões expelidas na descarga do motor MWM Modelo 4.10TCA:



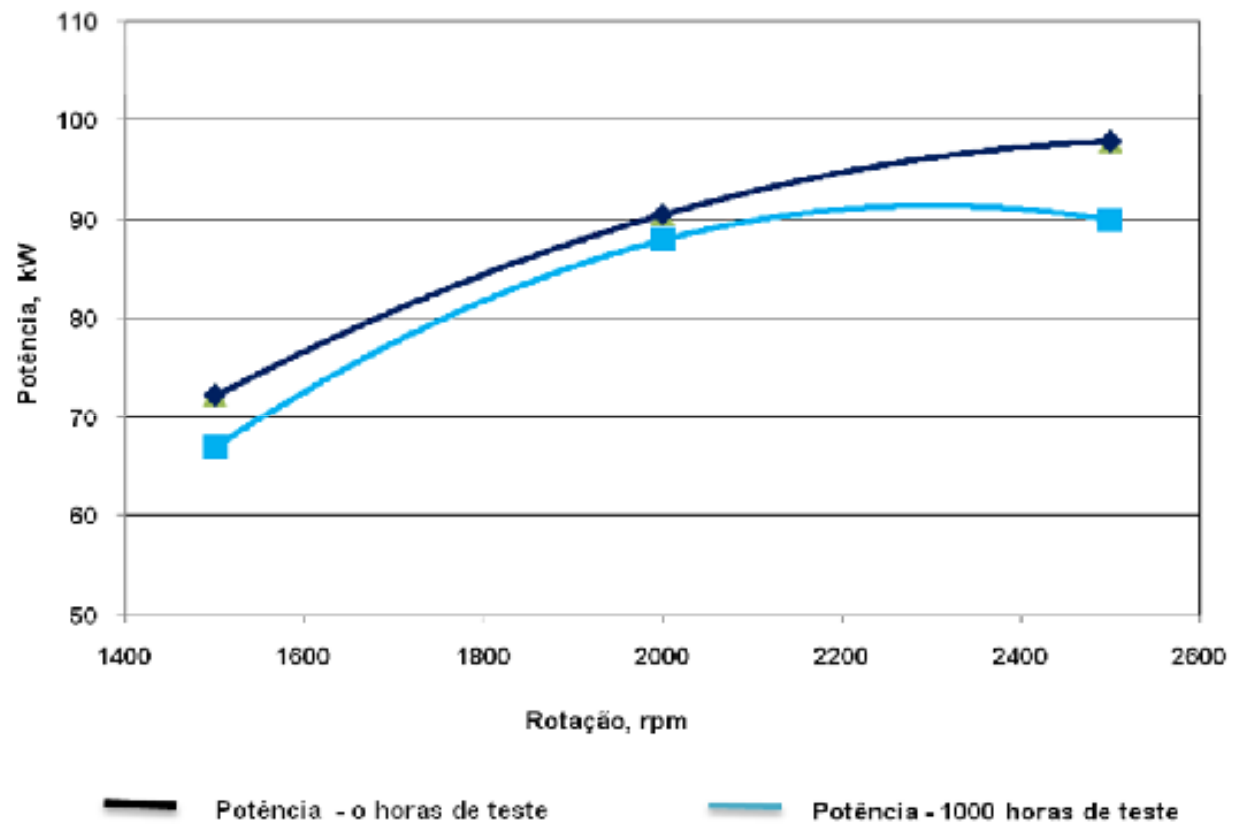
DESEMPENHO E CONSUMO – MOTOR DIESEL COM BOMBA INJETORA ROTATIVA: **ENSAIOS DE DURABILIDADE**

- A bomba injetora e os respectivos bicos injetores foram testados e regulados para início do teste de durabilidade em bancada BOSCH na empresa FADIESEL;



DESEMPENHO E CONSUMO – MOTOR DIESEL COM BOMBA INJETORA ROTATIVA: ENSAIOS DE DURABILIDADE

- Curvas de Potência do Motor MWM - Teste de durabilidade (0 hora) x (1000 horas);



DESEMPENHO E CONSUMO – MOTOR DIESEL COM BOMBA INJETORA ROTATIVA: ENSAIOS DE DURABILIDADE

- Potência produzida pelo motor MWM no Teste de durabilidade:

Potência do motor MWM	1500 rpm	2000 rpm	2500 rpm
No início do teste consumindo a mistura combustível (0 hora), kW	72,30	90,54	97,92
Após 1000 h consumindo a mistura combustível, kW	67,00	88,00	90,00
Variação da potência do motor MWM (1000 horas) x (0 hora), %	7,30	2,80	8,09

- Os testes realizados sugerem que a perda de potência do motor MWM, após 1000 h de trabalho, chegou até aproximadamente 8% em 2500 rpm;
- Este elevado valor estima-se que possa estar relacionado com uma deficiente pulverização ou deficiente alcance do jato de combustível na câmara de combustão devido à formação de lacas nos bicos injetores.

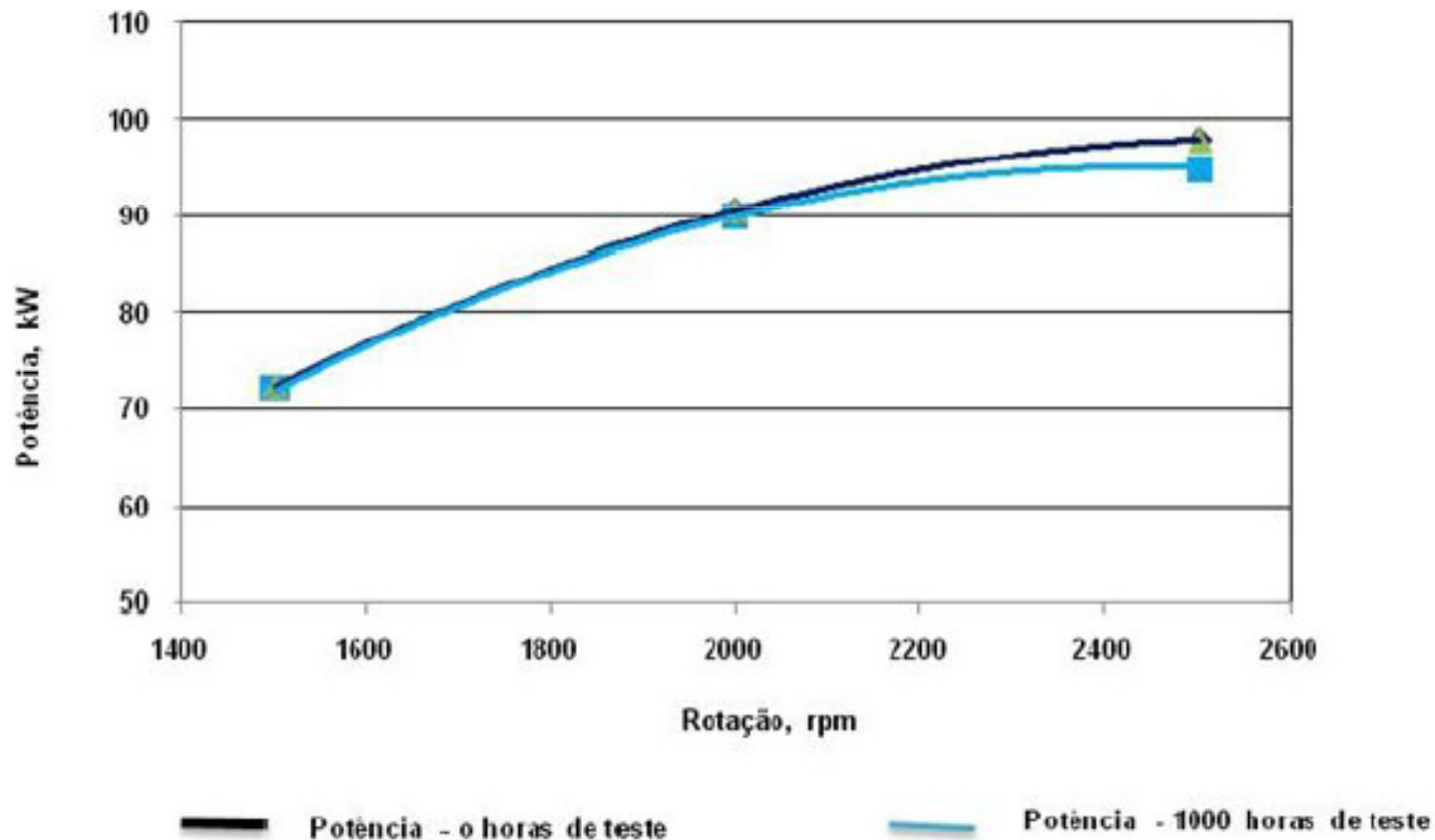
DESEMPENHO E CONSUMO – MOTOR DIESEL COM BOMBA INJETORA ROTATIVA: **ENSAIOS DE DURABILIDADE**

- Observe-se na figura ao lado, a mudança na cor dos bicos injetores ao término do teste de durabilidade;



DESEMPENHO E CONSUMO – MOTOR DIESEL COM BOMBA INJETORA ROTATIVA: ENSAIOS DE DURABILIDADE

- Curvas de potência do Motor MWM no Teste de durabilidade (0 hora) x (1000 horas) x (1000 horas com limpeza e regulagem de conjunto porta injetor):



DESEMPENHO E CONSUMO – MOTOR DIESEL COM BOMBA INJETORA ROTATIVA: ENSAIOS DE DURABILIDADE

- Potência do motor MWM consumindo a Mistura – Com limpeza e regulagem de conjunto porta injetor:

Potência do motor MWM	1500 rpm	2000 rpm	2500 rpm
No início do teste consumindo a mistura combustível (0 hora), kW	72,30	90,54	97,92
Após 1000 h consumindo a mistura combustível, kW	67,00	88,00	90,00
Após 1000 h consumindo a mistura combustível com regulagem de conjunto porta injetor, kW	72,00	90,00	95,00
Variação da potência do motor MWM (1000 horas com regulagem do conjunto porta injetor) x (0 hora), %	0,41	0,59	2,98

- A perda de potência do motor, após limpeza e regulagem de conjunto porta injetor usado nos testes de durabilidade, foi de aproximadamente 2,98% em 2500 rpm, valor que está dentro da incerteza desse tipo de teste em motores que pode ser até $\pm 3\%$;

DESEMPENHO E CONSUMO – MOTOR DIESEL COM BOMBA INJETORA ROTATIVA: ENSAIOS DE DURABILIDADE

- Consumo específico de combustível com cargas variáveis:

Consumo específico de combustível	1500 rpm/150 Nm	2000 rpm/250 Nm	2500 rpm/350 Nm
No início do teste consumindo a mistura combustível (0 hora), g/kWh	265	241	243
Após 1000 h consumindo a mistura combustível, g/kWh	294	246	249
Aumento de consumo específico do motor MWM (1000 horas) x (0 hora), %	10,94	2,07	2,47

DESEMPENHO E CONSUMO – MOTOR DIESEL COM BOMBA INJETORA ROTATIVA: ENSAIOS DE DURABILIDADE

- Consumo específico de combustível com cargas variáveis, após limpeza e regulagem de conjunto porta injetor:

Consumo específico de combustível	1500 rpm/150 Nm	2000 rpm/250 Nm	2500 rpm/350 Nm
No início do teste consumindo a mistura combustível (0 hora), g/kWh	265	241	243
Após 1000 h consumindo a mistura combustível, g/kWh	294	246	249
Após 1000 h consumindo a mistura combustível com regulagem de conjunto porta injetor, g/kWh	267	243	243
Aumento de consumo específico do motor MWM (1000 horas com regulagem do conjunto porta injetor) x (0 hora), %	0,75	0,83	0,00



CONCLUSÕES

- A adição de etanol anidro ao óleo diesel, resulta na alteração das propriedades físico – químicas do combustível final;
- Características Positivas
 - Diminui o teor de enxofre mercaptans e total (atenua o efeito corrosivo)
 - Baixa a acidez (atenua o efeito corrosivo);
 - Diminui o teor de hidrocarbonetos aromáticos (menor contaminação);
 - Aumenta o teor de oxigênio no combustível (combustão mais completa);
- Características Negativas
 - Ponto inicial de ebulição (baixa para 79 °C);
 - Diminui o ponto de fulgor (se incrementam os riscos envolvidos no manuseio, armazenamento e transporte do combustível);
 - Reduz o número de cetano (diminui a qualidade de ignição do combustível);
 - Diminui a viscosidade (se incrementa o desgaste das partes móveis do motor e dos componentes internos das bombas de injeção rotativas, além de afetar-se o grau de atomização do combustível);
 - Diminui o poder calorífico (incrementa o consumo em massa);



CONCLUSÕES

- Quando se pretende trabalhar com teores de álcool superiores a 3% ou estender o consumo destas misturas a motores diesel equipados com bombas injetoras rotativas, é necessário introduzir na formulação um terceiro elemento, denominado “aditivo”;
- O biodiesel e o SPAN 80 mostraram-se como aditivos melhoradores de lubricidade;
- A perda média de potência do motor MWM Modelo 4.10TCA foi de $2,55 \pm 2\%$, consumindo a mistura proposta (com aditivo melhorador da combustão) em relação a seu desempenho consumindo o combustível diesel de referência;
- Este valor é inferior ao resultado obtido com a mistura sem aditivar ($8,6\% \pm 2\%$), demonstrando-se a efetividade do aditivo utilizado para melhorar a qualidade de ignição na mistura;



CONCLUSÕES

- No motor MWM Modelo 4.10TCA as emissões médias de óxidos de nitrogênio (NOx) e hidrocarbonetos reduziram-se 16,36% e 21,3%, respectivamente;
- Aditivando a mistura com um produto como o Biomix-D para melhorar a qualidade de combustão do combustível é possível reduzir as emissões de hidrocarbonetos não queimados e monóxido de carbono que, conforme o modelo do motor, podem alcançar valores inferiores aos obtidos com o combustível diesel;
- A bomba injetora rotativa, após 1000 horas de trabalho do motor consumindo a mistura proposta, praticamente mantém as mesmas características determinadas no início dos testes;
- Demonstrou-se a efetividade do aditivo proposto para melhorar a lubricidade da mistura combustível;



CONCLUSÕES

- A perda de potência do motor MWM Modelo 4.10TCA, após limpeza e regulagem de conjunto porta injetor usado nos testes de durabilidade, foi de aproximadamente 2,98% a 2500 rpm;
- Este resultado confirma que o motor, após 1000 h de teste consumindo a mistura proposta, está em ótimas condições e que a perda de potência do motor está relacionada com uma insuficiente nebulização do combustível na câmara de combustão devido à deposição de lacas nos bicos injetores;
- O consumo específico de combustível do motor MWM Modelo 4.10TCA, após 1000 h de teste de durabilidade, aumentou aproximadamente 10% em baixas rotações (1500 rpm), mas diminuiu para aproximadamente 2% nas rotações de 2000 e 2500 rpm;



SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- Dão sustentação agora à fase de testes operacionais em veículos;
- Nessa fase recomenda-se controlar a qualidade do óleo lubrificante. Isso poderia ajudar na seleção de uma qualidade de óleo lubrificante com maior correspondência com a qualidade da mistura combustível proposta;
- Sugere-se a necessidade de uma avaliação econômica aprofundada para definir a viabilidade do uso da mistura combustível proposta.



ALGUMAS REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Anuário Estatístico**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 17 Fevereiro 2009;
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 6079-99 “High Frequency Reciprocating Rig” (HFRR)**. West Conshohocken, PA, USA; 2003;
- **8 Annual Book of ASTM Standards: Petroleum products, Lubricants and Fossil Fuels**. Section 5, vol 1, 2, 3 and 4, Easton, USA, 2000;
- MARTINS H. **Procedimentos para Preparação e Uso de Misturas Álcool-Diesel**. Centro de tecnologia canavieira (CTC). Relatório nº 4, PP. 1-10, Julho de 2005;
- OLIVEIRA H. **Metodologia de avaliação da lubricidade do óleo diesel**. ENQUALAB-2005-Encontro para a qualidade de Laboratórios Rede Metrológica do Estado de São Paulo-REMESP. 07– 09 de Junho de 2005, São Paulo, Brasil.