

AVALIAÇÃO DA EMISSÃO DE CO, NO E NO_x NA EXAUSTÃO DE MOTOR DIESEL ABASTECIDO COM COMBUSTÍVEL ADITIVADO

Gilson Rodrigo de Miranda ^{1*}, Henrique de Melo Lisboa ¹, Edson Bazzo ², Eduardo Morel Hartmann ², Gilson Maia ²

¹Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 88040-900, Florianópolis, Brasil.

²Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 88040-900, Florianópolis, Brasil.

*E-mail: gilson@qmc.ufsc.br

Recebido em 20 de junho de 2011

Aceito em 30 de junho de 2011

RESUMO

A poluição atmosférica tem emergido como um dos maiores problemas globais. Na última década, o desenvolvimento de novos motores, o uso de diferentes formas de tratamento dos gases na exaustão e o aumento na qualidade dos combustíveis foram medidas utilizadas na redução de poluentes (regulamentados ou não). Entre os vários desenvolvimentos para reduzir as emissões, a aplicação de aditivos oxigenados e parafínicos ao óleo diesel é uma medida que vem se mostrando efetiva e rápida para a redução dos poluentes emitidos. Neste trabalho estudou-se a influência de compostos oxigenados (Dietil Eter (DEE), 1-Dodecanol (DOD), Acetato de 2-Metoxietila (MEA) e Terc-butanol (TERC)) e parafínicos (Heptano (HEPT) e n-Hexadecano (CET)) adicionados ao óleo diesel com o intuito de melhorar a qualidade das emissões de CO, NO e NO_x na exaustão de motor diesel, monocilíndrico. Os combustíveis utilizados nos estudos são formulações do óleo diesel de referência, nomeado aqui S10, que contém baixo teor de enxofre (<10ppm). As formulações MEA1 (1% v/v), MEA5 (5% v/v), MEA15 (15% v/v), TERC1, TERC5, TERC15, DEE1, DEE2, DEE5, HEPT5, HEPT15, DOD5, CET2, CET5, CET15, CET30 e CET50 foram utilizadas nos testes. Os resultados demonstram que as formulações contendo o aditivo CET apresentaram menor consumo específico e menor emissão de CO, sem alterar significativamente as emissões de NO e NO_x.

Palavras-chave: Óleo diesel, Aditivos, CO, NO e NO_x.

1 Introdução

Existe uma grande urgência em encontrar alternativas para aumentar a economia dos motores de veículos e atender aos padrões, cada vez mais severos, de emissões. Os motores diesel tem uma grande vantagem com relação à economia de combustível, baixa emissão de hidrocarbonetos e CO. Entretanto, motores diesel emitem uma elevada quantidade de MP e NO_x e dificilmente se reduz ambos simultaneamente. Os métodos para redução de MP e NO_x incluem alta pressão de injeção, turbocompressão, tratamento após a exaustão, etc. Aditivos para o óleo diesel, como por exemplo, os compostos oxigenados, que substituem o óleo diesel total ou parcialmente, são investigados e mostram-se como uma solução atrativa [1].

A idéia do uso de combustíveis oxigenados em substituição ao óleo diesel convencional com a justificativa de reduzir as emissões tem sido estudada nos últimos anos. Aditivos oxigenados têm chamado a atenção pela sua capacidade de reduzir drasticamente as emissões de material particulado sem causar sérias diferenças nas emissões de NO_x, hidrocarbonetos

incompletamente queimados e monóxido de carbono. Uma grande variedade de oxigenados na forma de éteres, ésteres, alcoóis, entre outros, tem sido adicionada ao óleo diesel. Esses aditivos podem modificar tanto a concentração de oxigênio quanto o número de cetano no combustível. Vários experimentos têm sido realizados para investigar a influência da concentração de oxigênio, número de cetano, tipo de aditivos e outros parâmetros, sobre as emissões e desempenho de motores diesel. Uma conclusão comum é que o aumento da concentração de oxigênio diminui a emissão de material particulado, especialmente em alta carga. Nesta condição de operação, uma grande quantidade de combustível é injetada na câmara de combustão e uma mistura rica de combustível é formada no núcleo do spray de injeção. Combustíveis com grande quantidade de oxigênio podem introduzir mais oxigênio na região rica da câmara de combustão e favorecer a oxidação de percussores de MP [2].

As parafinas também estão sendo estudadas como potenciais aditivos para óleo diesel. Parafina é a denominação genérica de hidrocarbonetos alifáticos saturados com fórmula geral C_nH_{2n+2}. Recentemente, Lin et al. [3] e Yuan et al. [4] utilizaram com sucesso formulações de parafina e biodiesel para

reduzir as emissões de carbonilados e inorgânicos. Ambos os trabalhos estudaram as diferenças nas emissões de carbonilados e inorgânicos quando utilizaram 100 % de óleo diesel Premium (D100), 80 % de óleo diesel Premium e 20 % biodiesel (P20), 80 % de parafina e 20 de biodiesel (PF80P20) e 95 % de parafina e 5 % de biodiesel (PF95P05). No trabalho de Lin et al. [3] condições de baixa carga foram estudadas (24,5 % da carga máxima) e apresentaram redução de 30,2 % nas emissões de carbonilados totais para a formulação PF95P05 em relação ao D100. Para a formulação PF80P20 essa redução foi de 24,2 %. As reduções de NO_x foram, respectivamente, 24,3 % e 12,2 %. Já as reduções nas emissões de CO foram de 34,0 % para ambas as formulações.

Neste trabalho estudou-se a influência de quatro compostos oxigenados e dois parafínicos adicionados ao óleo diesel com baixo teor de enxofre (<10 ppm), em diferentes proporções, com o intuito de melhorar a qualidade das emissões de CO, NO e NO_x na exaustão de motor diesel monocilíndrico.

2 Parte Experimental

2.1 Combustíveis estudados

O efeito de seis aditivos sobre as emissões da combustão do óleo diesel foi avaliado nesse trabalho. O óleo diesel de referência, nomeado aqui como S10, contém baixo teor de enxofre (<10 ppm). Os demais combustíveis são formulações desse óleo diesel S10, formadas pela adição dos aditivos em diferentes proporções. As nomenclaturas das formulações seguem o mesmo princípio. Inicialmente, está a sigla que designa o aditivo seguido da proporção volumétrica (v/v) adicionada ao S10. Por exemplo, as formulações com 1% v/v, 5% v/v e 15% v/v de acetato de 2-metoxietila (MEA) no óleo diesel S10 são, respectivamente, nomeadas por MEA1, MEA5 e MEA15. Os demais aditivos são terc-butanol (TERC), dietil eter (DEE), heptano (HEPT), 1-dodecanol (DOD) e n-hexadecano (CET). Todas as misturas foram feitas utilizando vidrarias com calibração analítica. Os aditivos empregados no trabalho são solventes com grau de pureza analítico (PA, >99 %).

As formulações MEA1, MEA5, MEA15, TERC1, TERC5, TERC15, DEE1, DEE2, DEE5, HEPT5, HEPT15, DOD5, CET2, CET5, CET15, CET30 e CET50 foram utilizadas nos testes relacionados às emissões inorgânicas e desempenho do motor.

2.2 Motor e bancada de testes

A bancada consiste de um conjunto motogerador a óleo diesel de 7 kW; um painel contendo 20 lâmpadas incandescentes

para dissipação de até 4 kW; um analisador de inorgânicos Tempest 100; um trocador de calor para resfriamento controlado dos gases de exaustão; um dispositivo instalado no cano de escape para captação de amostras dos gases para análises olfatométricas e físico-químicas; um medidor de vazão (totalizador) e um sistema de aquisição de dados com interface amigável.

Os experimentos desse trabalho foram realizados a uma carga única de, aproximadamente, 20%. A pressão média efetiva (PME) foi de, aproximadamente, 0,130 MPa. Seguem, na Tabela 1, as especificações do motor.

Tabela 1. Especificações do motor.

Tipo	Diesel, monocilíndrico, eixo horizontal
Sistema de combustão	Injeção direta
Diâmetro x Curso	86 mm x 70 mm
Cilindrada	406 cm ³
Taxa de Compressão	19:1
Rotação	3600 rpm
Torque Máximo	27 Nm a 2000 rpm
Sistema de Refrigeração	Forçada a ar
Sistema de partida	Elétrica
Dimensões [CxLxA] mm	417x470x494
Peso [PM/PE] kg	48

O ar de admissão é condicionado a uma temperatura de 25 °C. A vazão mássica de admissão de ar é mensurada utilizando-se um medidor modelo HFM 5 da marca Bosh. Determinou-se também o consumo específico do combustível que abastece o motor utilizando-se uma balança de precisão e controlando-se a variação de massa do combustível durante o tempo de coleta. Com a associação desses dois dados calculou-se a vazão mássica no escapamento para todos os combustíveis utilizados nos testes. Uma representação do sistema completo pode ser visto na Figura 1.

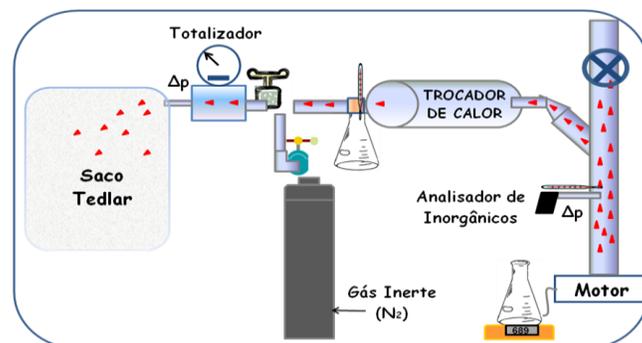


Figura 1. Sistema de coleta das amostras de exaustão do motor (fora de escala).

2.3 Analisador de compostos inorgânicos

Neste trabalho foi utilizado um analisador de gases de combustão, modelo Tempest 100. Este equipamento está calibrado pelo seu respectivo fornecedor e apto para uso rotineiro. Os seguintes gases foram avaliados: CO, SO₂, NO e NOx. A Tabela 2 relaciona as especificações do aparelho utilizado nos experimentos. Devido à baixa quantidade de enxofre no óleo diesel de referência os valores de SO₂ foram extremamente baixos e desconsiderados para neste trabalho.

Tabela 2. Especificações dos analisadores empregados.

Parâmetros medidos	Faixa (ppm)	Resolução (ppm)	Precisão (ppm)
Monóxido de carbono (CO)	0-1000	1	< 100 ± 5 ppm
Óxido de Nitrogênio (NO)	0-1000	1	< 100 ± 5 ppm
Óxido de Nitrogênio (NOx)	0 – 200	1	< 100 ± 5 ppm
Dióxido de enxofre (SO ₂)	0-2000	1	< 100 ± 5 ppm

3 Resultados e discussões

Diversas propriedades do combustível influenciam a emissão em motores diesel. Diferentemente de motores à gasolina, em que a combustão se inicia em local bem definido pela centelha, a combustão em motores diesel se inicia com diversos núcleos de ignição em diferentes locais da câmara de combustão. A relação de ar e combustível (A/C) é variável ao longo de toda a câmara de combustão devido a diferentes graus de mistura entre ar e combustível.

A presença ou não de oxigênio é outro fator que altera essa relação. Os aditivos podem influenciar ao longo de todo o processo de combustão, desde o atraso de ignição até a exaustão dos gases. Todo o conjunto de processos físicos e químicos envolvidos na combustão e influenciados diretamente pelas propriedades dos aditivos (viscosidades, número de cetano, calor de combustão, quantidade de oxigênio, etc) são determinantes na emissão de poluentes atmosféricos por motores diesel.

Em linhas gerais, um aditivo contendo um número de cetano elevado irá gerar uma redução no atraso de ignição, ou seja, irá facilitar o início do processo de combustão. Redução no atraso de ignição irá reduzir também a fase de combustão rápida da pré-mistura A/C, gerando uma liberação mais branda de energia dentro da câmara de combustão. Liberação branda de energia está relacionada ao não “acúmulo” de combustível na câmara de combustão. Quando o atraso de ignição é grande, elevada quantidade de combustível é acumulada na câmara de

combustão do motor, gerando elevados picos de temperatura logo após o início da combustão. Os picos de temperatura, portanto, dentro da câmara, tenderão a ser menores quando se utiliza um aditivo com alto número de cetano.

No entanto, outras propriedades também podem influenciar o atraso de ignição. Aditivos que apresentam elevados valores de calor latente irão requerer uma grande quantidade de energia para vaporizarem na câmara de combustão e contribuirão para que o processo de combustão não alcance temperaturas tão elevadas quanto aquelas do combustível de referência, puro. Esse processo de vaporização pode reduzir a temperatura na câmara e com isso aumentar o atraso de ignição. Esse comportamento é descrito no trabalho de Ying et al. [5] que avalia a influência de diferentes proporções de dimetil éter (DME) (10, 20 e 30 % v/v) sobre as emissões de motores diesel. Qi et al. [6] avaliaram o efeito de combustível contendo 5 % v/v de dietil éter (DEE) sobre o atraso de ignição. Em concordância com o estudo para DME, nesse estudo o atraso de ignição também foi aumentado. Os resultados desses autores têm grande similaridade com os obtidos nesse trabalho para o dietil éter (DEE), levando-se em conta a pressão média efetiva (PME).

A emissão de CO, como pode ser visto na Figura 2, teve um significativo aumento pela adição de DEE, mesmo para baixas proporções (5 % v/v). Maiores proporções de DEE não foram empregadas pelo fato do motor ter apresentado nítida deficiência em operar com esses combustíveis contendo mais DEE. Nesse trabalho, o atraso de ignição não foi mensurado. Entretanto, como o único fator alterado foi a formulação dos combustíveis (mantendo a bomba de combustível e injetor nas mesmas condições), pode-se estimar as alterações que as formulações causaram no atraso de ignição.

O provável aumento no atraso de ignição para as formulações contendo DEE pode ser explicado pela vaporização desse aditivo na mistura. Essa vaporização, devido ao elevado calor latente desse composto, gera uma redução na temperatura do spray do combustível na câmara. Menores temperaturas na câmara, relativamente ao combustível S10, favorecem a combustão incompleta e, conseqüentemente, o aumento na emissão de CO.

Outra característica importante a ser avaliada nos combustíveis é quantidade de energia, na forma de calor, liberada no processo de combustão. Aditivos que apresentam uma elevada liberação de energia durante o processo de combustão tendem a aumentar a temperatura da câmara e reduzir as regiões de misturas pobres (A/C) da chama de combustão. Em contrapartida, aditivos que liberam pouco calor tendem a reduzir a temperatura na câmara de combustão, comparativamente a combustão do óleo diesel de referência. Assim como foi observado por Guarieiro et al. [7] e Di et al. [8], baixa temperatura na câmara gera elevada emissão de CO.

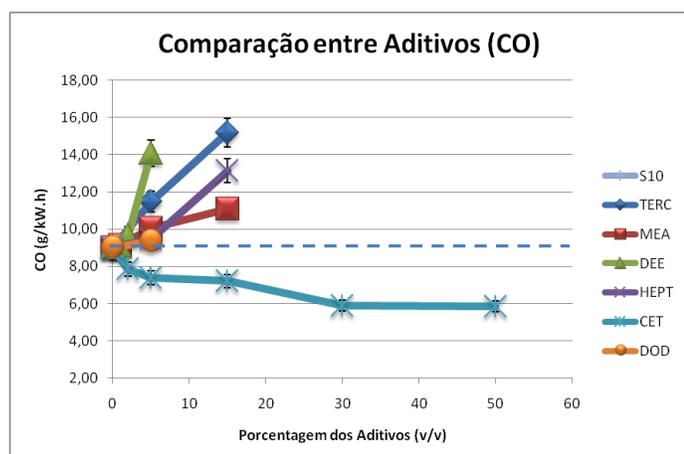


Figura 2. Variação média (n=15) das emissões de CO para diferentes aditivos. A linha tracejada representa os valores para o S10, combustível de referência.

Dessa forma, visando avaliar a liberação de energia durante o processo de combustão de óleo diesel aditivado, a relação entre entalpia de combustão dos aditivos puros, mesmo a 25 °C, e a emissão de CO para as formulações, com 5 % v/v, é um importante parâmetro a ser avaliado na formação desse poluente. A Figura 3 relaciona a entalpia de combustão dos aditivos e a emissão de CO na combustão das formulações contendo esses aditivos. Comparando-se os gráficos das Figuras 3 e 4, percebe-se que aditivos com menor entalpia de combustão geraram as maiores emissões de CO, como é o caso do DEE, TERC, HEPT e MEA. Além disso, esses aditivos ainda apresentam baixo número de cetano, o que favorece o aumento no atraso de ignição. O aditivo CET foi único aditivo que apresentou menor emissão de CO, indicando uma combustão mais completa. Esse aditivo apresenta elevado número de cetano, baixo entalpia de vaporização e elevada entalpia de combustão.

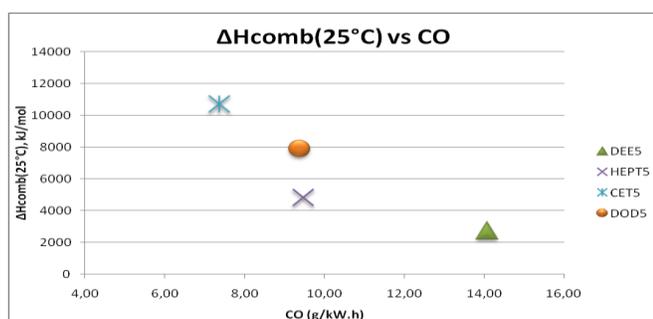


Figura 3. Relação entre a emissão de CO e entalpia de combustão para diferentes aditivos (5 % v/v).

Aditivos com alta viscosidade favorecem a lubrificação do motor, mas prejudicam a vaporização do combustível e dificultam o processo de combustão [8]. Esse é o caso do aditivo DOD, que possui uma elevada viscosidade. Mesmo numa proporção baixa desse aditivo, < 5 % v/v, a combustão mostrou-se prejudicada pela sua presença no combustível. Além disso,

esse aditivo necessita de elevada energia para ser vaporizado (elevada entalpia de vaporização), o que reduz, provavelmente, a temperatura na câmara de combustão, comparativamente ao óleo diesel referência. Outra questão importante é que, devido à baixa solubilidade desse aditivo no diesel, a formulação apresentou a presença de partículas, que prejudicaram o processo de injeção do combustível.

A formação de óxidos de nitrogênio é relacionada a altas temperaturas na câmara. Conforme estudos prévios de Canakci [9] e Peng et al. [10], temperatura mais baixa na câmara de combustão reduz a emissão de óxidos de nitrogênio. No caso das emissões de NO e NOx, apresentadas nas Figuras 5 e 7, respectivamente, a presença de DEE, TERC, MEA, HEPT e DOD no óleo diesel S10 reduziu, consideravelmente, as emissões desses poluentes. Provavelmente, na combustão das formulações contendo esses aditivos a temperatura na câmara foi menor do que aquela gerada na combustão do óleo diesel puro. Esse comportamento está em concordância com os valores de CO, os quais sugerem menor temperatura na câmara para a combustão dessas formulações.

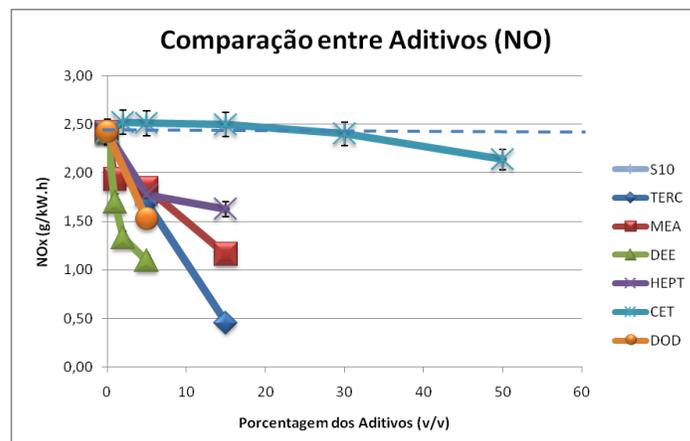


Figura 4. Variação média (n=15) das emissões de NO para diferentes aditivos. A linha tracejada representa os valores para o S10, combustível de referência.

As emissões dos óxidos de nitrogênio também são significativamente influenciadas pelo calor de combustão dos combustíveis. Como discutido anteriormente, um combustível que libera uma menor quantidade de energia durante a combustão irá, conseqüentemente, produzir menores temperaturas dentro da câmara de combustão. Dessa forma, analisando a Figura 5, percebe-se que aditivos com menor entalpia de combustão apresentaram menor emissão de NOx (mesmo comportamento para NO).

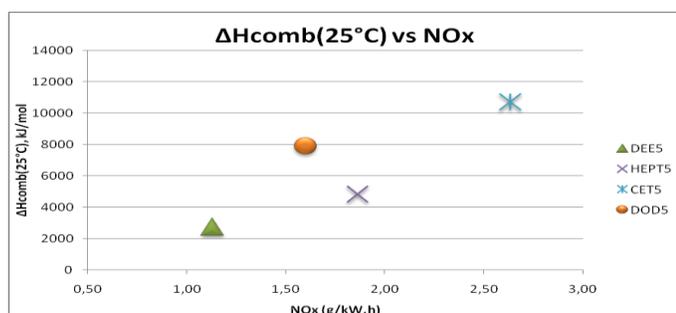


Figura 5. Relação entre a emissão de NOx e entalpia de combustão para diferentes aditivos (5 % v/v)

O aditivo CET não apresentou significativas mudanças na emissão de NO e NOx em relação ao S10, como pode ser visto nas Figuras 5 e 7, em baixas quantidades (<15%). Esse comportamento indica que esse aditivo manteve a temperatura na câmara de combustão. Entre os aditivos empregados, o CET é o que apresenta o menor valor de entalpia de vaporização. Dessa forma, esse aditivo, entre os estudados nesse trabalho, é o que necessita da menor quantidade de energia para que o líquido injetado na câmara passe para o estado vapor, considerando a mesma massa. Esse fenômeno contribui para se manter elevada a temperatura na câmara e favorece as reações de formação dos óxidos de nitrogênio.

O CET tem um elevado número de cetano e excelentes características para a auto-ignição. Dessa forma, o atraso de ignição, provavelmente, é curto e a região de combustão rápida é menor que aquela do óleo diesel puro [11]. Esse processo gera uma pressão e temperatura máximas no cilindro menores que aquelas encontradas na combustão do S10, o que ocasiona menor formação de óxidos de nitrogênio quando esta parafina é adicionada em elevadas proporções (>30%).

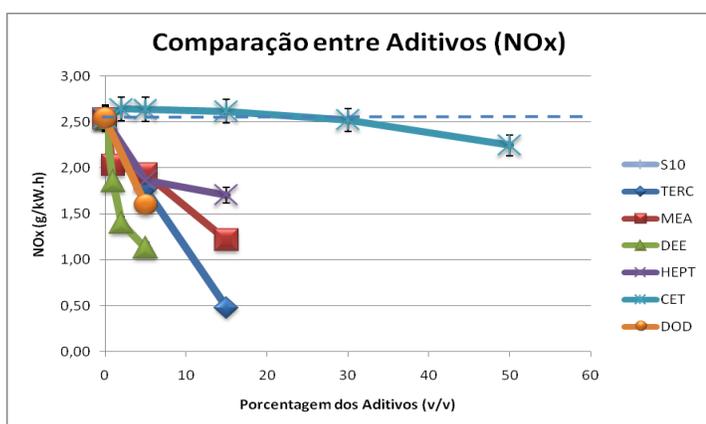


Figura 6. Variação média (n=15) das emissões de NOx para diferentes aditivos. A linha tracejada representa os valores para o S10, combustível de referência.

De forma geral, os aditivos TERC, MEA, DEE, HEPT e DOD, em maior ou menor proporção, mostram uma “aparente”

baixa qualidade de ignição nas condições do experimento. Todos apresentaram uma elevada emissão de CO, indicando baixa temperatura na câmara e incompleta combustão em relação do óleo diesel puro. A redução de temperatura, entretanto, reduziu a emissão dos óxidos de nitrogênio, gerando um benefício ambiental pela utilização desses aditivos. Além disso, como pode ser visto na Figura 7, em geral, esses aditivos apresentaram um consumo específico elevado em relação ao S10, embora o desvio padrão tenha se mostrado elevado. O motivo que justifica esse comportamento é o não monitoramento automático do consumo do combustível, apenas avaliação visual da variação da massa, utilizando uma balança analítica, de combustível consumido.

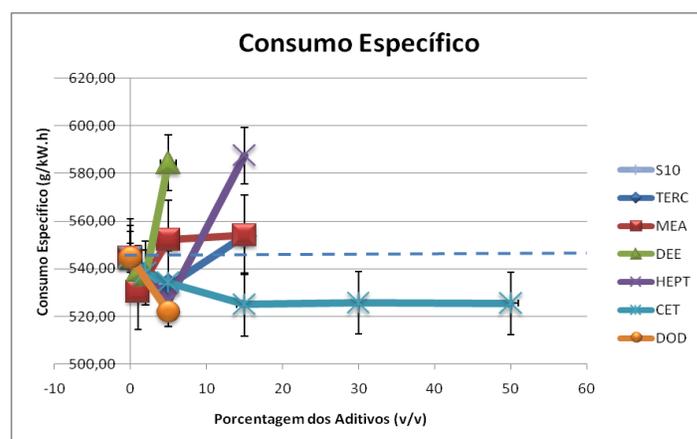


Figura 7. Consumo específico para diferentes proporções dos aditivos (n=15) . A linha tracejada representa os valores para o S10, combustível de referência.

O aditivo CET foi o único a se mostrar atrativo considerando-se o objetivo de reduzir os odores. Essa parafina, devido ao alto número de cetano, entre outras propriedades, reduz significativamente a emissão de CO, mesmo em baixas proporções (5 % v/v). Essa redução está relacionada, provavelmente, ao curto período de atraso de ignição gerado pela adição desse aditivo. Esse curto período de atraso proporciona um período maior para que as reações de oxidação ocorram na câmara. Em rotações elevadas, como é caso do experimento (3600 rpm), considerando um motor super quadrado, o adiantamento no início da ignição pode ser um fator preponderante para o melhoramento na qualidade da emissão.

Além disso, a redução no atraso de ignição, para esse aditivo, vem acompanhado por uma elevada quantidade de energia liberada pela combustão e baixo calor latente, o que mantém a temperatura na câmara de combustão elevada, comparativamente as demais formulações. Entretanto, provavelmente, a temperatura na câmara não foi maior que aquela gerada pela combustão do S10, já que as emissões de óxidos de nitrogênio foram similares para o combustível contendo CET. A emissão de CO, por outro lado, foi menor,

indicando combustão mais completa do combustível e uma possível redução dos compostos orgânicos, potencialmente, odorantes.

4 Conclusões

A metodologia proposta foi eficiente para a quantificação de CO, NO e NO_x. Os resultados demonstram que as formulações contendo o aditivo CET apresentaram menor consumo específico e menor emissão de CO, sem alterar significativamente as emissões de NO e NO_x. Ambientalmente o combustível contendo esse aditivo demonstra consideráveis benefícios já que seu consumo é inferior ao combustível de referência para a produção da mesma quantidade de potência do motor além de demonstrar melhor qualidade nas emissões de CO. Os aditivos MEA, TERC, DEE, HEPT e DOD, de forma geral, aumentaram as emissões de CO e reduziram as emissões de NO e NO_x nas proporções estudadas. Entretanto, o consumo específico foi elevado para a maioria das formulações contendo esses aditivos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Petrobrás pelo auxílio financeiro.

consumption and lower emission of CO, without significantly altering the NO and NO_x.

Keywords: Diesel, Additives, CO, NO and NO_x.

Referências

- [1] Yanfeng, G.; Shenghua, L.; Hejun, G.; Tiegang, H.; Longbao, Z. Applied Thermal Engineering, Vol. 27, p. 202, **2007**.
- [2] Yao, M.; Wang, H.; Zheng, Z.; Yue, Y. Fuel, Vol. 89, p.2191, **2010**.
- [3] Lin, Y.-C.; Wu, T.-Y.; Ou-Yang, W.-C.; Chen, C.-B. Atmospheric Environment, Vol. 43, p. 2642, **2009**.
- [4] Yuan, C-S; Lin, Y-C; Tsai, C-H; Wu, C-C; Lin, Y-S. Atmospheric Environmen, Vol. 43, p.6175, **2009**.
- [5] Ying, W.; Longbao, Z.; Zhongji, Y.; Hongyi, D. Journal of Automobile Engineering, Vol. 219, p.263, **2005**.
- [6] Qi, D.H.; Chen, H.; Geng, L.M.; Bian, Y.Z. Renewable Energy, Vol. 46, p. 1252, **2011**.
- [7] Guarieiro, L. L. N.; De Souza, A. F.; Torres, E. A.; De Andrade, J. B. Atmospheric Environment, Vol. 43, p.2754, **2009**.
- [8] Di, Y.; Cheung, C. S.; Huang, Z. Science of The Total Environment, Vol. 407, p. 835, **2009**.
- [9] Canakci, M. Bioresource Technology, Vol. 98, p. 1167, **2007**.
- [10] Peng, C.Y.; Lan, C.H.; Dai, Y.T. Chemosphere Vol. 65, p. 2054, **2006**.
- [11] Ying, W.; Longbao, Z.; Zhongji, Y.; Hongyi, D. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering Vol. 219, p. 263, **2005**.

EVALUATION OF EMISSION OF CO, NO AND NO_x IN EXHAUST OF DIESEL ENGINE FUELED WITH FUEL ADDITIVED

ABSTRACT: Air pollution has emerged as major global problems. In the last decade, the development of new engines, the use of different forms of treatment of exhaust gases and the increase in fuel quality were used to reduce pollutants (regulated or not). Among the various developments to reduce emissions, the use of oxygenated additives to diesel and paraffin is a quick and effective measure to reduce pollutants. In this work we studied the influence of oxygenated compounds (diethyl ether (DEE), 1-dodecanol (DOD), 2-methoxy-acetate (MEA) and terc-butanol (TERC)) and paraffin (heptane (HEPT) and n-hexadecane (CET)) added to diesel in order to improve the quality of CO, NO and NO_x in the exhaust of diesel engine, single cylinder. The fuels used in the studies are formulations of diesel reference, here named S10, which contains low sulfur (<10ppm). The formulations MEA1 (1% v/v), MEA5 (5% v/v), MEA15 (15% v/v), TERC1, TERC5, TERC15, DEE1, DEE2, DEE5, HEPT5, HEPT15, DOD5, CET2, CET5, CET15, CET30 and CET50 were used for testing. The results show that the formulations containing the additive CET had lower specific fuel