



## O efeito do Número de Cetano nas emissões de Material Particulado em veículos ciclo Diesel

Renato Cataluña<sup>1</sup>, Elias Silva<sup>2</sup>, Gabriel Cardoso<sup>3</sup>, Roberta Ruschel<sup>4</sup>, Rosângela da Silva<sup>5</sup>

<sup>1</sup>UFRGS/ Instituto de Química ([rcv@ufrgs.br](mailto:rcv@ufrgs.br))

<sup>2</sup>UFRGS/Instituto de Química ([00207290@ufrgs.br](mailto:00207290@ufrgs.br))

<sup>3</sup>UFRGS/Instituto de Química ([00144608@ufrgs.br](mailto:00144608@ufrgs.br))

<sup>4</sup>UFRGS/Instituto de Química ([betaruschel@gmail.com](mailto:betaruschel@gmail.com))

<sup>5</sup>PUCRS/Faculdade de Química ([rosangela@iq.ufrgs.br](mailto:rosangela@iq.ufrgs.br))

### Resumo

*Este trabalho avalia o efeito do número de cetano (NC), teor de enxofre e temperatura de destilação de combustíveis para motores ciclo Diesel nas emissões de material particulado (MP). Os resultados indicam que o aumento do número de cetano aumenta a formação de MP devido ao aumento da temperatura do processo de combustão. O aumento da temperatura ocasionado pelo aumento da pressão próximo do ponto morto superior (PMS) favorece as reações de craqueamento das frações de elevado peso molecular do combustível na forma líquida. O aumento de temperatura conduz ao aumento da produção de óxidos de nitrogênio e reduz as emissões de hidrocarbonetos voláteis. O teor de enxofre não causa efeito significativo nas emissões de MP e HC's.*

Palavras-chave: Número de Cetano. Material Particulado. Ciclo Diesel.

Área Temática: 7 - Poluição Atmosférica

### Abstract

*This study evaluates the effect of cetane number (CN), sulfur content and distillation temperature of diesel fuel emissions of particulate matter (PM). The results indicate that increasing of cetane number increase the formation of MP due to the highest temperature of combustion process. The temperature rise caused by increased pressure near the top dead center (TDC) favors the cracking reactions of high molecular weight fractions of the fuel in liquid form. Reducing emissions of volatile hydrocarbons is observed due to the increased rate of oxidation caused by the increase in temperature of the combustion process. The sulfur content does not cause significant effect on emissions of PM and HC's.*

Key words: Cetane Number. Particulate Matter. Diesel Cycle

Theme Area: 7 – Air Pollution



## 1 Introdução

A participação do transporte rodoviário no Brasil é bastante importante e significativa sendo responsável por 80% do consumo de energia. O transporte de cargas e coletivo de passageiros é predominante a diesel como foi divulgado através de pesquisa realizada pelo Departamento Nacional de Transporte (DENATRAN) com o levantamento do cadastro único de veículos (GEIPOD, 1999).

Segundo BRAUN (2003) os veículos equipados com motores ciclo diesel são responsáveis pela maior parte das emissões de material particulado (MP), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>).

No Brasil, as emissões de poluentes são regidas pela Lei 8723 de 28 de Outubro de 1993, onde se estabelece os níveis máximos de emissões de gases para veículos ciclo diesel, cujo limite máximo para MP é de 0,15 g/kWh, a critério do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1993). No entanto, segundo a Resolução CONAMA 403/2008 ficaram estabelecidos novos limites máximos de emissão de poluentes para os motores do ciclo Diesel destinados a veículos automotores pesados novos, nacionais e importados, onde se estabeleceu um máximo de 0,02 g/kWh de MP a entrar em vigor a partir de primeiro de janeiro de 2012 através do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). Este limite é similar aos adotados na União Europeia através do padrão europeu de emissões Euro 5 (REGULAMENTO (CE) n. o 715/2007). Esses programas fixam prazos e estabelecem exigências tecnológicas para veículos automotores, nacionais e importados, bem como das características do óleo diesel padrão comercializado (CONAMA, 2008).

O combustível diesel é uma mistura complexa de moléculas de hidrocarbonetos derivadas da destilação do óleo cru, geralmente com ponto de ebulição com temperatura variando entre 150 a 380 °C (OWEN E COLEY, 1990). Dentre as características do óleo diesel comercial mais importante, que estão direta ou indiretamente ligadas as emissões de MP, podem ser citadas a composição do combustível, volatilidade (ponto de fulgor, calor de vaporização, destilação), densidade, viscosidade a 40°C, o número de cetano (NC) (GUBET e FAURECE-BIRCHEM, 1999). Aliadas ao tipo de motor e às condições de operação, estas propriedades afetam diretamente o consumo de combustível e o nível de emissões (PUMPHREY, 2000).

Uma boa volatilidade assegura um arranque fácil do motor, devido a melhor combustão da mistura, produzindo níveis aceitáveis de particulados (PERALTA, 2000). A entalpia de vaporização pode ter efeito na temperatura da mistura ar-combustível quando o combustível evapora após a injeção. Baixa entalpia de vaporização permite uma combustão eficiente, reduzindo as emissões. Elevada entalpia de vaporização provoca atraso de ignição do combustível, quando este é pulverizado no ar aquecido, devido ao resfriamento da temperatura do ar. Viscosidades altas proporcionam maiores diâmetros de gota e alta penetração do jato. O efeito da alta viscosidade em câmaras de combustão menores pode ser um fator crítico, ocasionando má atomização do combustível com consequente combustão incompleta, dificuldade na partida, aumento de emissão de fumaça e material particulado.

O número de cetano (NC) mede a qualidade de ignição de um combustível quando utilizado em um motor ciclo diesel tem influencia direta na partida do motor e no seu funcionamento sob carga. Fisicamente, o NC se relaciona diretamente ao retardo da ignição de combustível no motor, ou seja, o período de tempo entre o início da injeção e o começo da ignição do combustível. Assim, quanto menor o NC maior será o retardo da ignição. Consequentemente, maior será a quantidade de combustível que permanecerá na câmara sem queimar no tempo certo. Isso leva a um mau funcionamento do motor, pois, quando a queima acontecer, gerará uma quantidade de energia superior à necessária. O excesso de energia força o pistão a descer com uma velocidade superior a exigida pelo sistema, o que



provocará maior esforço sobre o pistão podendo causar danos mecânicos e perda de potência. Por outro lado, combustíveis com alto NC acarretam um avanço na ignição aumentando a temperatura na câmara e conseqüentemente aumentando a formação de material particulado (MP). Combustíveis com alto teor de parafinas apresentam alto NC, enquanto produtos ricos em hidrocarbonetos aromáticos apresentam baixo NC (HEYWOOD, 1988). Os novos veículos requerem combustíveis com elevado NC, uma vez que são menores, trabalham em rotações mais elevadas possuindo maior potência.

Com relação aos hidrocarbonetos (HC's), segundo BRAUN (2003), das emissões do diesel, em média, são muito mais pesados que os das emissões à gasolina gerados a partir da combustão incompleta do óleo diesel e do óleo lubrificante. Estes ficam adsorvidos sobre a superfície do material particulado, gerando agregados. A aglomeração dos núcleos carbônicos, contendo hidrocarbonetos adsorvidos, começa na câmara de combustão e continua até a descarga. Os hidrocarbonetos não queimados apresentam maiores concentrações nas regiões frias da câmara de combustão, ou seja, junto às paredes, ou na região onde a mistura é muito diluída, impedindo a propagação da chama (HEYWOOD, 1988).

O objetivo deste trabalho consiste em avaliar o efeito do número de cetano, teor de enxofre e temperatura de destilação de combustíveis sobre as emissões de material particulado utilizando um motor ciclo diesel com injeção mecânica. Foi utilizado filtro de fibra de vidro localizado na descarga do motor para a retenção do material particulado e condensação da fração volátil resfriando-se os gases, conforme procedimento utilizado por MENEZES, 2006, 2008 e 2009.

## 2 Materiais e Métodos

Foram utilizados quatro combustíveis bases comerciais (S50, S500, S1800 e M500), com diferentes números de cetano e teor de enxofre, fornecidos pela Petrobrás, especificados na Tabela 1. Estes combustíveis bases foram modificados com a introdução de padrões de referência secundários fornecido pela Chevron Philips Chemical Company LP denominados  $U_{17}$  e  $T_{23}$ . Onde o  $U_{17}$  possui número de cetano mais baixo (19,5) e o  $T_{23}$  o número de cetano mais alto (76). Aos combustíveis bases (S50 e S1800), que possuem os maiores valores de NC, foi adicionado o padrão secundário  $U_{17}$  originando os formulados S50m e S1800m com o objetivo de diminuir os valores de NC. Por outro lado ao M500 e S500, com menores NC, foi misturado o padrão secundário  $T_{23}$  objetivando o aumento do NC dos mesmos gerando os formulados M500m e S500m. Os valores de NC destas formulações estão apresentados na Tabela 2. Com estas quatro formulações juntamente com os quatro combustíveis bases foram avaliados o efeito do número de cetano nas emissões de MP, utilizando um motor mono cilindro Toyama 7 Hp, 250 cm<sup>3</sup>, operando em 80% da potência máxima, injeção mecânica, pressão média injeção de 150 bar, taxa de compressão de 21:1, 3200 rpm, 10% de O<sub>2</sub> nos gases de descarga e consumo específico médio de combustível de 200g/kwh. A coleta do PM foi realizada com um fluxo dos gases de descarga utilizando um diferencial de pressão inicial de 400 mbar através de um filtro de microfibras de vidro com 47 mm de diâmetro GF-1 Macherey-Nagel. A temperatura do elemento filtrante foi ajustada utilizando um forno com controle eletrônico de temperatura de modo que o material particulado coletado esteja seco com a menor quantidade possível de hidrocarbonetos voláteis. O fluxo dos gases através do elemento filtrante foi realizado com auxílio de uma bomba de vácuo e após o resfriamento a medida da vazão foi obtida a partir de um indicador/registrador de fluxo (*Sensirion*), com capacidade nominal máxima de 20 L/min.



Tabela 1 - Combustíveis bases e seus números de cetano e teor de enxofre total certificados.

	Método	Unidade	S50	S500	S1800	M500
Número de Cetano	D 613	--	49,6	44,6	49,9	46,0
Enxofre Total	D 7039	mg/kg	10	327	1350	10

Tabela 2 - Formulações a partir dos combustíveis bases e seus respectivos valores NC formulado.

Formulações	Valor NC formulado
S50m	45
S1800m	45
M500m	49
S500m	48

Os gases livres de material particulado são resfriados utilizando um condensador separador da fração líquida condensável utilizando água na temperatura de 5°C. A determinação dos HC's foi realizada segundo procedimento descrito em MENEZES, 2009.

### 3 Resultados e Discussão

A Figura 1 apresenta o fluxo de gás em função do tempo através do elemento filtrante dos combustíveis bases (S1800, S50, S500 e M500) e suas formulações (S1800m, S50m, S500m e M500m). Como pode ser observado o fluxo de gás através do elemento filtrante utilizando um diferencial de pressão inicial de 400 mbar, em função do tempo de amostragem, para o combustível S500 e M500 quando comparados com as formulações S500m e M500m, com maiores NC (Tabela2) mostram que a vazão de gás é mantida em um patamar superior, obtendo-se um menor acúmulo de PM. Quando se compara o combustível base S1800 e S50 com as formulações S1800m e S50m com menores NC (Tabela 2) pode-se observar um efeito contrário. Estes resultados confirmam que combustíveis com menor NC para veículos de injeção mecânica diminuem as emissões de MP, reduzindo a restrição do fluxo de gás através do elemento filtrante.

A Tabela 3 apresenta os resultados das análises de MP obtidos cujos valores concordam com a Figura 3 mostrando claramente a relação direta entre o MP e o NC, quando se utiliza um motor ciclo Diesel com injeção mecânica. O combustível base S1800 com o maior valor de NC (Tabela 2) acumulou maior quantidade de MP, enquanto o S500 com menor valor de NC (Tabela 2) acumulou a menor quantidade.

Nos motores ciclo Diesel com injeção mecânica, o combustível com menor NC leva mais tempo para entrar em combustão, portanto não há queima efetiva do combustível o que diminui a quantidade de MP. Por outro lado, a diminuição do MP leva a um aumento dos HC's na fração líquida, devido à diminuição da área para a condensação e adsorção dos mesmos. O contrário é observado com os combustíveis com maior NC. Como neste caso, o tempo de retardo da ignição é menor ocorre um aumento da temperatura dentro da câmara de combustão rapidamente, queimando mais combustível gerando maior quantidade de MP o que aumenta a área disponível para a condensação dos HC's diminuindo, portanto, sua quantidade na fração líquida. Também se deve levar em consideração que combustíveis com alto NC possuem alto teor de parafinas que são facilmente craqueadas em moléculas menores que queimam mais facilmente que hidrocarbonetos aromáticos.

Os resultados obtidos mostraram que a quantidade de hidrocarbonetos emitidos foi de 0,54 a 0,69 g/kWh. De acordo com a regulamentação da PROCONVE P-6 equivalente a



EURO IV, os hidrocarbonetos totais emitidos não devem ultrapassar de 0,46 g/kWh. Estes resultados demonstram que para atingir estes níveis de emissões é necessário algum tipo de tratamento pós-combustão.

Com relação ao teor de enxofre não se estabeleceu nenhuma relação com a quantidade de MP.

Figura 1 – Fluxo de gás em função do tempo através do elemento filtrante dos combustíveis bases (S1800, S50, S500 e M500) e suas formulações (S1800m, S50m, S500m e M500m).

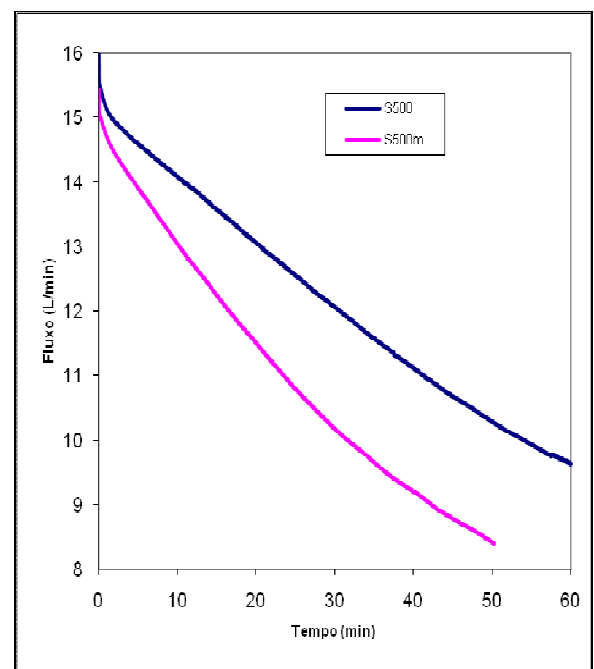
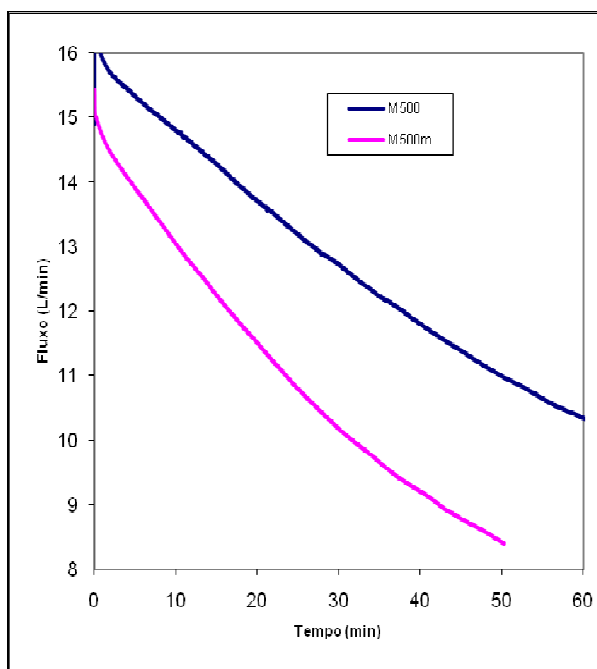
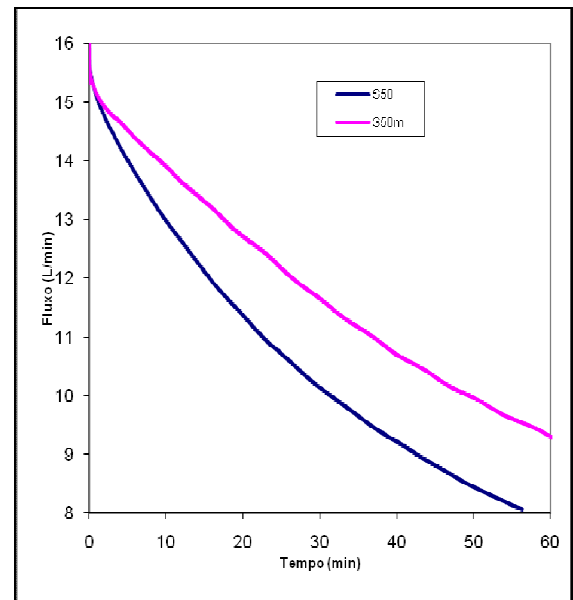
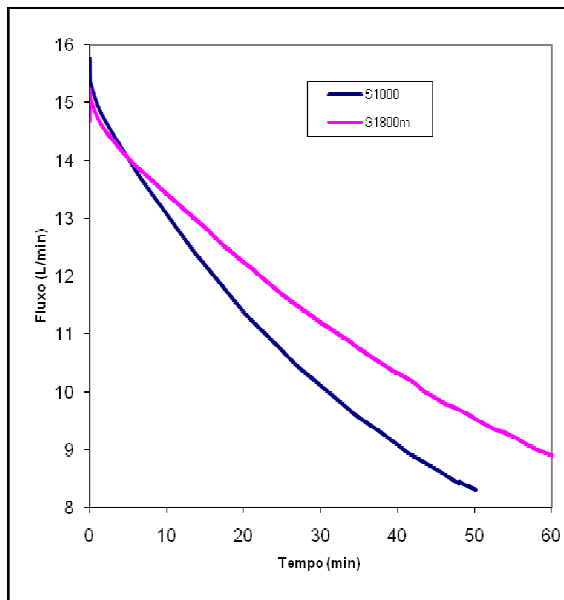




Tabela 3 - Resultado das análises HC's e MP.

Combustível	HC's (mg/m <sup>3</sup> )	MP (mg/m <sup>3</sup> )
S1800	130	33
S1800m	160	22
S500	130	18
S500m	105	31
S50	105	30
S50m	115	21
M500	110	26
M500m	130	30

#### 4 Conclusão

Nos motores ciclo Diesel com injeção mecânica, a utilização de combustíveis com elevado número de cetano aumenta as emissões de material particulado. A utilização de combustíveis com baixo teor de enxofre, elevado número de cetano, temperatura final de ebulição baixa e injeção mecânica não reduz as emissões de material particulado. Combustíveis com baixo número de cetanos, elevado teor de enxofre, e temperatura final de ebulição alta e injeção mecânica emitem menos quando comparado com a utilização dos combustíveis recomendados para os motores com injeção em altas pressões e controle eletrônico.

#### Referências

BRAUN, S.; APPEL, L.G.; SCHMAL, M; The Pollution from Diesel engines – the particulate matter current experiences and future needs, *Química Nova* 27 (2003) 472-482.

GEIPOT (Empresa Brasileira de Planejamento dos Transportes) *Anuários Estatísticos diversos anos*. Disponível na Internet pelo site: <http://ecen.com/eee16/frotabr.htm>. Acessado em Janeiro de 2012.

GUIBET, J.; FAURE-BIRCHEM, E.; *Fuels and Engines*. 2th ed, Editions Technip: Paris, 1999.

HEYWOOD, J. B.; *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill, 1988.

MENEZES, E. W.; SILVA, R.; CATALUÑA, R.; ORTEGA, R. J.C.; Effect of ethers and ether/ethanol additives on the physicochemical properties of diesel fuel and on engine tests, *Fuel* 85 (2006) 815-822.

MENEZES, E. W.; CATALUÑA, R.; Sampling of particulate matter and of the volatile organic fraction of emissions from a diesel cycle engine without use of dilution tunnel; *Química Nova* 31 (2008) 2027-2030.

MENEZES, E. W. Produção de trabalho, geração de contaminantes e tratamento pós-combustão em motores ciclo diesel. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: DPGQ/2009.



OWEN, K.; COLEY, T. Automotive Fuels Reference Book. 2th ed, Society of Automotive Engineers, In: U.S.A, 1995.

PERALBA, G. E. Avaliação do desempenho de um motor diesel funcionando com uma mistura de diesel-álcool-óleo de rícino. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal: DEM/PPGEM, 2000.

PUMPHREY, J. A.; BRAND, J. I.; SCHELLER, W. A.; Vapour pressure measurements and predictions for alcohol – gasoline blends, *Fuel* 79 (2000), 1405-1413.

REGULAMENTO (CE) n. o 715/2007 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 20 de Junho de 2007, relativo à homologação dos veículos a motor no que respeita às emissões dos veículos ligeiros de passageiros e comerciais (Euro 5 e Euro 6) e ao acesso à informação relativa à reparação e manutenção de veículos.

RESOLUÇÃO CONAMA, Lei 8723 de 1993.

RESOLUÇÃO CONAMA nº. 403 de 2008.