

## **ESTUDO DA EMISSÃO DOS GASES DE COMBUSTÃO PROVENIENTES DA QUEIMA DO DIESEL S10 E S50**

L.A.D. KOSLOWSKI<sup>1</sup>, S.LICODIEDOFF<sup>1</sup>, T.M.N OLIVEIRA<sup>2</sup>, S.H.W. MEDEIROS<sup>2</sup>  
C. VAZ<sup>2</sup>, H.G. RIELLA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos

<sup>2</sup>Universidade da Região de Joinville – Univille, Departamento de Engenharia Química  
E-mail para contato: lucianoandre@yahoo.com

**RESUMO** – Pesquisadores tem desenvolvido trabalhos de forma a avaliar e compreender o efeito da emissão de gases da combustão provenientes do transporte motorizado na atmosfera. O processo de combustão, sendo uma oxidação a alta temperatura, gera óxido de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) e possivelmente poluentes perigosos como os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA's). O presente estudo teve por objetivo avaliar comparativamente a emissão de gases provenientes da queima do diesel S10 e diesel S50 em uma coluna de absorção de leito fixo acoplada em um motor de combustão estacionário. Os resultados mostraram para o diesel S10 concentrações médias de HPA de 36  $\mu\text{g/L}$ ,  $\text{CO}$  1660  $\text{mg/N.m}^3$ ;  $\text{NO}_x$  15 ppm; e para o diesel S50 concentrações de HPA 53  $\mu\text{g/L}$   $\text{CO}$   $\text{mg/N.m}^3$ ;  $\text{NO}_x$  18 ppm.

### **1. INTRODUÇÃO**

A crescente demanda energética causa pressões intensas para o uso das reservas mundiais de petróleo como fonte de combustível, promovendo o esgotamento desse recurso natural e a poluição do meio ambiente associada à sua queima, sendo que, na atual década, a maior parte da energia gerada e consumida no planeta é proveniente da queima de combustíveis fósseis, especificamente o petróleo, o carvão e o gás natural. Considerando esse aspecto, há um interesse renovado em utilizar fontes alternativas de combustíveis menos poluentes, visando a minimização da poluição e a redução do consumo de fontes não renováveis

O óleo diesel um derivado do petróleo utilizado amplamente no Brasil como combustível, é constituído principalmente por hidrocarbonetos de cadeia longa, por enxofre, nitrogênio e oxigênio, estes três últimos em baixas concentrações (Kozerski, 2006). O transporte de cargas no Brasil está apoiado, principalmente, no uso de veículos movidos por motores a diesel, por via rodoviária. Para atender o mercado nacional, as refinarias da Petrobras são operadas com prioridade para a produção desse combustível, o qual a produção corresponde em torno de 34% do volume do petróleo processado no país (Ferrari et al., 2005).

Os poluentes emitidos pela combustão do diesel causam problemas ecológicos reconhecidos em todo o mundo, como a destruição da camada de ozônio, aumento do

aquecimento global e chuva ácida (Knothe, 2005). Os motores a diesel de embarcações emitem material particulado, fumaça preta e carregam diversos compostos carcinogênicos de elevado impacto à saúde humana e aos ecossistemas. Algumas investigações para reduzir os poluentes dessas emissões são de fundamental importância para a saúde humana, meio ambiente e para a prosperidade da vida na Terra (Correa, 2006).

Os motores movidos a diesel são a maior fonte de poluição atmosférica do planeta. Esse combustível possui alto potencial para o aquecimento global da descarga como o CO<sub>2</sub> pela queima em veículos automotores. Muitas doenças pulmonares estão ligadas ao material particulado emitido pelos veículos a diesel incluindo poeira, fuligem e fumaça. O biodiesel é considerado um combustível não tóxico e biodegradável (Tomaszewski, 2006). Comparado ao óleo diesel, o biodiesel não produz enxofre, emite menos dióxido de carbono, monóxido de carbono e mais oxigênio. A maior quantidade de oxigênio livre conduz à combustão completa e uma emissão reduzida. As emissões do biodiesel são muito menores em comparação com as emissões de diesel, sendo assim promissor o uso dessa alternativa para a promoção de um ambiente menos poluído (Schroeder, 2013).

A composição dos gases de exaustão da queima do diesel é muito complexa, sendo composta por três fases: sólidos, líquidos e gases. Quando os motores a diesel são operados em condições oxidantes, o que contribui para uma boa economia de combustível e resulta em menor produção de CO<sub>2</sub>, em um processo de combustão operando em temperaturas menores e com formação e consequente emissão minimizada das quantidades de NO<sub>x</sub>, CO e hidrocarbonetos (Tsukue et al., 2010). O NO<sub>x</sub> participa em diversos fenômenos atmosféricos globais como por exemplo o Smog fotoquímico, a depleção do ozônio, chuva ácida doenças respiratórias graves como bronquite, tosse e edema pulmonar. Deste modo, este trabalho apresenta a partir da construção de uma coluna de absorção de leito fixo em aço inox, a quantificação dos gases da combustão do diesel S10 e S50 e de HPA's solubilizados em água.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Materiais**

As amostras de diesel S10 e S50 utilizadas neste trabalho foram provenientes de um mesmo fornecedor da região de São Bento do Sul - SC. A diferença básica entre o diesel S10 e o diesel S50 é a quantidade de enxofre presente no diesel, que passou de 50 partes por milhão (S50) para 10 partes por milhão (S10), o que reduz a quantidade de NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> e outros materiais particulados provenientes da sua combustão. O diesel S-10 sofre um processo de refino diferente, o que eleva seu nível de cetano. O diesel S-50 apresenta índice 46 e o S-10 tem índice de cetano de 48.

### **2.2 Quantificação dos gases da combustão e HPA's**

Para realizar a combustão das amostras, foi utilizado um motor estacionário. A este motor estava ligado um sistema de exaustão acoplado a uma coluna de absorção de leito fixo, montada em aço inox, empregada para absorver os gases de combustão de diesel, apresentada na Figura 1. A leitura dos valores de NO<sub>x</sub> e CO foram realizadas na extremidade do tubo de descarga e a leitura dos HPA foi realizada nas amostras de água provenientes do processo de absorção.

As colunas de absorção de leito fixo são os processos mais utilizados para a despoluição de gases, no qual a remoção química dos poluentes ocorre por absorção (Couvert, Sanchez et al., 2008). Muito embora a transferência de massa nesse processo seja muito mais intensa que aquela que ocorre em processos naturais, essa metodologia é necessária visando concentrar as emissões na água até o ponto de saturação e dessa forma podendo-se estabelecer diluições para os testes de toxicidade, bem como a quantificação do material solubilizado. A coluna foi montada em aço inox resistente à corrosão por água salgada, visando a não contaminação da água por outros materiais que não a fumaça emitida pelo escapamento do motor estacionário. Como recheio da coluna, foram utilizados fragmentos de porcelana.

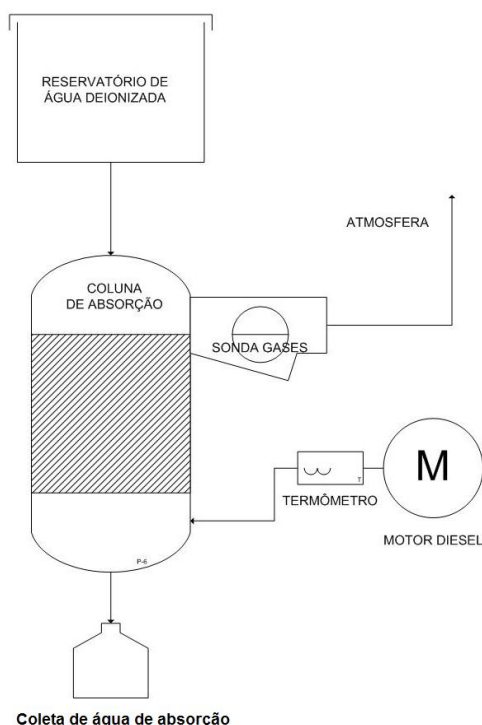


Figura 1 – Diagrama esquemático do sistema de absorção de gases.  
Fonte: Do autor, 2014.

Os experimentos foram realizados em triplicata, com o processo de combustão do diesel durante um período de 15 minutos, sendo estabelecido como tempo zero o início de partida do motor a frio. Foram estabelecidos intervalos de tempo de 1 minuto para a leitura de NO<sub>x</sub> e CO, e o equipamento utilizado para essa mensuração foi o analisador de gases de combustão Confor Optima 7 (Figura 2a). A quantificação de HPA's foi realizada após 15 minutos de experimento com o auxílio da sonda HPA Enviroflu da marca TRIOS (Figura 2b).

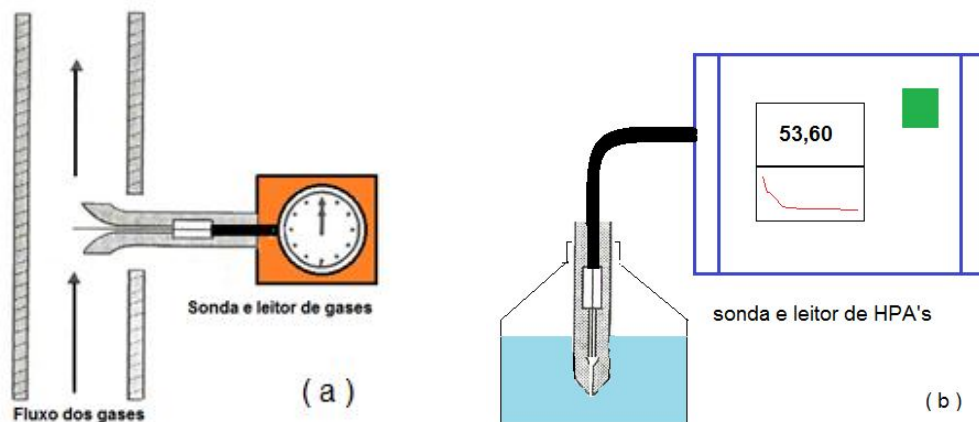


Figura 2 – Equipamento utilizado para: (a) quantificação de gases da combustão;  
(b) quantificação de HPA's.

Fonte: Do autor, 2014.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes efetuados com a queima de diesel S10 e diesel S50 apresentaram valores de emissão similares tanto para o CO quanto para NOx, porém com pequena redução do diesel S-10 em relação do S-50. De acordo com a resolução CONAMA N° 382/2006, a produção de óxidos nitrosos (NOx), refere-se à soma das concentrações de monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>). A Figura 3 apresenta uma comparação das emissões de NOx provenientes do diesel S-10 e diesel S-50.

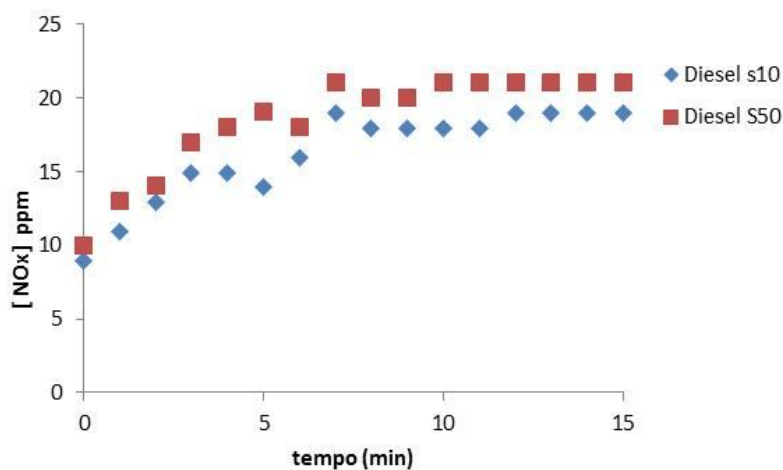


Figura 1 – Quantificação da emissão de NOx (ppm) do diesel s10 e diesel S-50.

Conforme apresentado na Figura 3, a média da emissão de NO<sub>x</sub> do diesel S10 (17,88 ppm) nos ensaios realizados foi inferior a emissão do diesel S-50 (20,52 ppm). A redução na emissão de NO<sub>x</sub> proveniente do diesel S10 é justificada pelo elevado índice de cetanos (NC), diretamente relacionado com uma melhora na queima de combustível, que se traduz em mais potência e torque, e menor emissão de fumaça e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>).

Os ensaios realizados para a combustão do diesel S10 (Tabela 1) e diesel S50 (Tabela 2) durante o intervalo de tempo de 15 minutos são apresentados a seguir.

Tabela 1 – Resultado médio relativo à medição de gases da queima do diesel S10.

<b>tempo (min)</b>	<b>% O<sub>2</sub></b>	<b>% CO<sub>2</sub></b>	<b>ppm* CO</b>	<b>ppm NO</b>	<b>ppm NO<sub>2</sub></b>	<b>ppm NO<sub>x</sub></b>	<b>Temperatura (°C)</b>
0	20,8	0,03	1590	5	7	9	35
1	20,8	0,25	2475	6	4	10	154
2	20,8	1,49	2365	9	3	12	185
3	18,1	2,12	2893	11	3	14	190
4	16,7	2,42	2458	12	2	14	186
5	16,9	2,43	2026	14	2	15	170
6	17,5	2,20	1861	13	2	15	178
7	17,5	2,16	1843	14	3	17	176
8	16,9	2,33	2016	15	3	18	166
9	17,0	2,44	2193	14	4	18	172
10	17,2	2,39	2435	14	4	18	168
11	17,1	2,31	2484	14	4	18	165
12	17,1	2,30	2513	15	4	19	157
13	17,2	2,31	2522	15	4	19	168
14	17,1	2,31	2593	15	4	19	168
15	16,9	2,44	2558	15	4	19	168

\*ppm= partes por milhão.

Tabela 2 – Resultado médio relativo à medição de gases da queima do diesel S50.

tempo (min)	% O <sub>2</sub>	% CO <sub>2</sub>	ppm* CO	ppm NO	ppm NO <sub>2</sub>	ppm NO <sub>x</sub>	Temperatura (°C)
0	17,4	0,02	1316	7	3	10	35
1	17,0	2,28	2369	10	3	13	182
2	17,0	2,28	2500	11	3	14	234
3	16,8	2,43	2563	14	3	17	252
4	16,7	2,50	2710	16	2	18	249
5	16,9	2,43	2761	17	2	19	241
6	18,7	2,40	2613	16	2	18	237
7	16,6	2,38	1840	19	2	21	233
8	16,5	2,56	2788	19	1	20	228
9	16,6	2,59	2900	20	1	20	217
10	16,6	2,60	2947	20	1	21	216
11	16,6	2,58	2858	20	1	21	212
12	16,6	2,57	2938	21	0	21	216
13	16,6	2,53	2949	21	0	21	211
14	16,6	2,54	2844	21	0	21	211
15	16,7	2,48	2825	21	0	21	212

\*ppm= partes por milhão.

Os dados apresentados nas Tabelas 1 e 2, denota uma relação entre o aumento da temperatura dos gases de combustão e emissão de NO, e como consequência de NO<sub>x</sub>. A redução da emissão de NO<sub>x</sub> do diesel S10, mesmo sendo pouco significativa, traduz em uma vantagem principalmente pelos problemas ocasionados pela emissão de óxidos nitrosos na atmosfera, como o *smog* fotoquímico e a depleção do ozônio. O ensaio comprova que o nível de NO nos gases de exaustão é mais elevado que a de NO<sub>2</sub> conforme reportado na literatura (Song, 2007). Desta forma a melhor forma de controle da emissão de NO e consequente emissão de NO<sub>x</sub> é o emprego de catalisador apropriado no sistema de escapamento dos gases de exaustão do motor.

A emissão de monóxido de carbono (CO) no motor estacionário foi acompanhada por meio do uso do multianalisador de gases Confor Optima 7. As concentrações foram determinadas na unidade ppm e convertidas em média de leitura na unidade mg/N.m<sup>3</sup> de ar de forma a comparar com o valor referencial da Resolução do Conama 382/2006 que estabelece

os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Os dados são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Resultado médio relativo à emissão de CO do Diesel S-10 e Diesel S-50.

Parâmetro	Diesel S10	Diesel S50	Conama 382/2006
CO (mg/N.m <sup>3</sup> )	1660,39	1833	1830
Temperatura média de combustão	200°C	212°C	---- X ----

Conforme apresentado na Tabela 4, as emissões de monóxido de carbono (CO) tanto para o Diesel S10 quanto para o diesel S50 atendem a resolução do Conama 382/2006. Entretanto deve-se ressaltar que as condições da Resolução são estabelecidas através das Condições Normais de temperatura e Pressão (CNTP).

De acordo com os testes de HPA realizadas com o diesel S10 e S50, pode-se perceber que a concentração média final da concentração de HPA no diesel S10 (36 µg/L) é menor quando comparados ao diesel S50 (53 µg/L). Os resultados dos testes efetuados foram avaliados com as condições de operação do motor estacionário na queima de diesel S10 e diesel S50. Uma possível explicação se deve ao índice de cetano (NC) do diesel S50 ser inferior ao do diesel S10. A escala NC, conceitualmente similar à escala de octanagem utilizada para a gasolina foi estabelecida para descrever a qualidade de ignição do diesel e seus componentes. Neste caso, um NC mais alto (caso do diesel S10), permite uma relação de mistura combustível/ar mais eficiente para a combustão e temperaturas de queima mais baixas, conforme os dados apresentados e discutidos nos ensaios.

## 4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, foi possível observar que o diesel S10 apresenta uma pequena redução na emissão de poluentes comparativamente ao diesel S50. Os experimentos em triplicata demonstraram que a emissão de óxidos nitrosos (NOx) e de monóxido de carbono foram inferiores as emissões provenientes do diesel S-50. A emissão de CO no motor estacionário apresentou valor de 1660,39 mg/N.m<sup>3</sup>, 9,26% inferior estabelecido pela resolução do Conama 382/2006 (1830 mg/N.m<sup>3</sup>). O diesel S10 apresentou valor de emissão de CO (1833 mg/N.m<sup>3</sup>) no limite estabelecido pela mesma resolução.

## 5. REFERÊNCIAS

BUNGER, J., Krahl, J., Franke, H.-U., Munack, A. and Hallier, E. Mutagenic and cytotoxic effects of exhaust particulate matter of biodiesel compared to fossil diesel fuel. (1998) Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis 415 (1-2), 13-23, 1998.

BOUROTTE, C.; FORTI, M.-C.; TANIGUCHI, S.; BÍCEGO, M. C.; LOTUFO, P. A. A wintertime study of PAHs in fine and coarse aerosols in São Paulo city, Brazil. Atmospheric Environment. Issue 21, v.39, p.3799-3811, 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006: “Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas”, 2006.

CORREA, S. and ARBILLA G.” Aromatic hydrocarbons emissions in diesel and biodiesel exhaust. Atmospheric Environment 40, 6821-6826, 2006.

FYNLAYSON-PITTS, B.J.; pitts Jr, J.N. Chemistry of upper and lower atmosphere - Theory, experiments, and applications. New York: Academic, 969p., 2000.

KNOTHE G, Van Gerpen J, Krahl J (eds) The biodiesel handbook. AOCS Press, Champaign, IL, 2005.

KOZERSKI, G. R.; HESS, S. C. Estimativa dos poluentes emitidos pelos ônibus e microônibus de Campo Grande/MS, empregando como combustível diesel, biodiesel ou gás natural. Engenharia Sanitaria e Ambiental. v.11, p.113-117, 2006.

SCHRÖDER, O.; BÜNGER, J.; MUNACK, A.; KNOTHE, G.; KRAHL, J. Exhaust emissions and mutagenic effects of diesel fuel, biodiesel and biodiesel blends. Fuel. Issue 0, v.103, p.414-420, 2013.

SONG, C.-L.; ZHOU, Y.-C.; HUANG, R.-J.; WANG, Y.-Q.; HUANG, Q.-F.; LÜ, G.; LIU, K.-M. Influence of ethanol–diesel blended fuels on diesel exhaust emissions and mutagenic and genotoxic activities of particulate extracts. Journal of Hazardous Materials. Issue 2, v.149, p.355-363, 2007.

TOMASZEWSKI, J. E.; SMITHENRY, D. W.; CHO, Y.-M.; LUTHY, R. G.; LOWRY, G. V.; REIBLE, D.; MACEK, T.; SURÁ, M.; CHRASTILOVA, Z.; DEMNEROVA, K.; MACKOVÁ, M.; PAVLIKOVÁ, D.; SZEKERES, M.; SYLVESTRE, M. Treatment and Containment of Contaminated Sediments. In: D. Reible e T. Lanczos (Ed.). Assessment and Remediation of Contaminated Sediments: Springer Netherlands. Treatment and Containment of Contaminated Sediments, p.pp 137-178, 2006.

TSUKUE, N., OKUMURA, H., Ito, T., SUGIYAMA, G. and NAKAGIMA, T. Toxicological evaluation of diesel emissions on A549 cells. Toxicology in Vitro 24 (2), 363-369, 2010.