



## **Análise das emissões atmosféricas provenientes da combustão de blendas de butanol e diesel**

**Luciano André Deitos Koslowski<sup>1</sup>**  
**Augusto Eduardo Schlegel<sup>2</sup>, Humberto Gracher Riella<sup>3</sup>, Cleiton Vaz<sup>4</sup>, Silvana Licodiedoff<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>UDESC (lucianoandre@yahoo.com)

<sup>2</sup>UDESC (augugtoes@gmail.com); <sup>3</sup>UFSC (humberto.riella@ufsc.br); <sup>4</sup>UDESC (cleitonvaz@yahoo.com); <sup>5</sup>FURB (silvana.licoo@gmail.com)

### **Resumo**

O óleo diesel destaca-se pela sua eficiência energética em comparação a outros combustíveis de origem fóssil, no entanto, a partir da sua queima são gerados diversos poluentes que afetam o meio ambiente. Estudos vêm sendo realizados avaliando a utilização de outros combustíveis em motores ciclo diesel no intuito de atenuar os impactos causados pela combustão do óleo diesel. A proposta do presente estudo consiste em avaliar os efeitos da combustão do diesel S10 e de blendas de butanol na fração de 3% e 6%. Para o desenvolvimento da pesquisa, foi empregado um motor estacionário de 5 HP a uma rotação de 3000 RPM, sendo realizados dois testes. O primeiro consiste na queima do combustível no intervalo de tempo de 30 minutos, e a realização da análise dos gases emitidos neste período, o segundo resume-se a combustão no período de 10 minutos, passando por uma coluna de absorção de leito fixo em fluxo contracorrente com água deionizada a vazão de 50 Lh<sup>-1</sup>. O primeiro teste indica uma redução na emissão de CO da ordem de 10% com o uso de blendas de butanol, no segundo experimento observa-se um aumento na turbidez e formação de material particulado carbonáceo com a adição de butanol em meio aquoso.

Palavras-chave: emissões atmosféricas; diesel; combustão

Área Temática: Química Ambiental

## **Analysis of atmospheric emissions from combustion of butanol and diesel blends**

### **Abstract**

Diesel oil stands out for its energy efficiency compared to other fossil fuels, however, from its burning are generated various pollutants that affect the environment. Diesel engines are very popular devices due to their high efficiency and durability, being mainly used in heavy weight land vehicles. The proposal of the present study is assessing the effects of S10 diesel and butanol blends combustion in 3% and 6% fraction. For developing the research, a 5 HP stationary engine was employed at a 3000 RPM rotation, having two tests performed. The first one consists in the fuel burn in a 30-minute time interval, and the analysis of the gases emitted within this time period, the second one is the combustion within a 10-minute time period, passing through a fixed bed adsorption column in counter flow with deionized water at 50 Lh<sup>-1</sup> outlet. The first test indicates a reduction in the CO emission of around 10% with the



use of butanol blends, in the second experiment an increase in the turbidity and formation of carbon particulate matter with the addition of butanol in water media.

Keywords: atmospheric emissions; diesel; combustion

Theme Area: Environmental chemistry

## Introdução

O óleo diesel é o produto mais abundante obtido com o refino do petróleo e é considerado um grande contribuinte na emissão de material particulado e gases poluentes para a atmosfera. Sua estrutura básica possui hidrocarbonetos e em baixas concentrações: nitrogênio, oxigênio e enxofre. É empregado nos motores de ciclo a diesel, ou motores de ignição por compressão, utilizados em caminhões, trens, navios, ônibus e veículos destinados à agricultura. (Lopes et al., 2014). A magnitude das emissões diesel depende diretamente da composição do combustível, o teste de certificação de emissões é conduzido com um combustível diesel certificado, o que denota um possível controle na emissão de aldeídos e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos nos próximos anos de forma a avaliar as substâncias tóxicas dispersas no ar (KRAHL, 2003). No ambiente urbano, os poluentes principais são o monóxido de carbono (CO), os hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), material particulado (MP) (DA CUNHA et al, 2015). Os poluentes atmosféricos podem ser divididos em duas categorias, poluentes primários e secundários. Os primários são aqueles adicionados de forma direta a atmosfera decorrente de um resultado de um determinado processo. Os secundários são formados na atmosfera, resultado de reações de poluentes primários entre si ou gases e vapores atmosféricos (TARDIELLO et al, 2014).

O presente trabalho visa analisar a viabilidade da adição de butanol ao diesel S10, com o objetivo de diminuir a poluição gerada pela sua combustão, sendo analisados os principais poluentes gerados pelo processo em meio gasoso e aquoso.

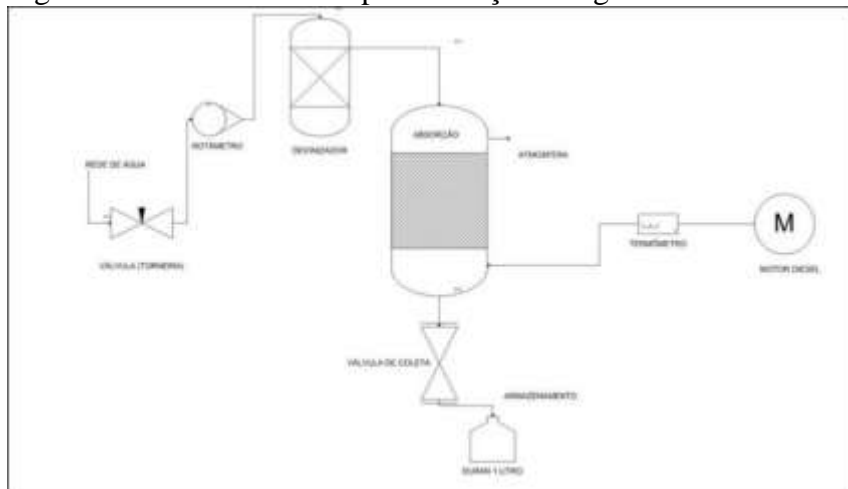
## 2. Materiais e Métodos

Neste capítulo foram avaliados os compostos provenientes da combustão de um motor a diesel, utilizando como combustível óleo S 10 e blendas de butanol. Na etapa final dos ensaios foi realizada lavagem da bureta graduada e da mangueira da alimentação do combustível no motor visando minimizar erros experimentais.

O sistema utilizado para avaliar efeitos de blendas de butanol nas emissões atmosféricas geradas é constituído por um motor ciclo diesel estacionário da marca Branco, modelo BD – 5.0, com 4,2 cv de potência e rotação máxima de 3600 rpm, uma coluna de absorção de leito fixo e um deionizador, além dos demais equipamentos para realizar a avaliação e controle do processo. Deve-se salientar que o tanque de combustível do motor foi substituído por uma bureta de 250 ml para medir a quantidade gasta de combustível durante os testes. Na Figura 1 pode ser observada a constituição básica do sistema utilizado.



Figura 1: Sistema utilizado para medição dos gases e coleta de amostras.



Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizados o diesel S10 e blendas do mesmo com 3% e 6% de butanol, cuja finalidade foi minimizar a formação de material particulado no motor e melhorar a partida a frio. Nesse trabalho foi utilizada uma coluna montada em aço inox 1.4529, visando a não contaminação da água por outros materiais que não a fumaça emitida pelo escapamento do motor estacionário e isenta de um sistema catalítico. No dispositivo citado, foi conectado um motor estacionário de 5HP.

O processo de combustão foi realizado no intervalo de tempo de 30 minutos e os dados foram coletados no tempo de 1, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos, iniciando-se no momento da partida do motor a frio cuja rotação ocorreu a 3000 RPM durante toda a combustão. Os ensaios foram realizados para o diesel S10 puro e para as blendas com 3 e 6% de butanol.

Para a análise dos poluentes em meio aquoso foi utilizado o sistema da Figura 1, porém foi acoplado ao sistema um deionizador de água, que fornece água em sentido contracorrente ao fluxo do escapamento do motor a uma vazão constante de 50 l/h por meio de um rotâmetro. Para melhor adsorção dos poluentes foi acoplada uma coluna de adsorção de leito fixo dentro do tubo em inox. Muito embora a transferência de massa nesse processo seja muito mais intensa que aquela que ocorre em processos naturais, essa metodologia é necessária visando a concentração das 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. Neste experimento os ensaios foram realizados em triplicata após 10 minutos de queima com o motor a uma rotação de 3000 RPM, sendo precedidos ensaios com o diesel S10 puro e blendas na fração de 3 e 6% de butanol.

### 3. Resultados e Análise dos Resultados

#### 3.1 Espectrofotometria UV-Visível

Os testes realizados em meio gasoso apresentaram variação significativa em todos os parâmetros ao longo do tempo, principalmente nos instantes iniciais da combustão já que o processo é ineficiente de acordo com os dados apresentados na Tabela 1.



Tabela 1: Resultados das análises de emissão de poluentes em meio gasoso do diesel S10 puro (Do autor).

TEMPO (Min)	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	SO <sub>2</sub> (ppm)	Tsaída °C
01	17,30	1,07	1067,00	70,00	66,00	137,00	41,00	114,00
05	17,20	2,55	935,00	83,00	65,00	143,00	40,00	133,00
10	17,80	1,67	863,00	90,00	56,00	148,00	33,00	134,00
15	17,50	1,30	874,00	93,00	54,00	147,00	30,00	132,00
20	17,60	1,14	872,00	89,00	54,00	143,00	30,00	132,00
25	17,60	1,23	858,00	92,00	51,00	142,00	27,00	132,00
30	17,60	1,21	853,00	92,00	48,00	140,00	25,00	132,00
<b>Média</b>	<b>17,51</b>	<b>1,45</b>	<b>903,14</b>	<b>87,00</b>	<b>56,29</b>	<b>142,86</b>	<b>32,29</b>	<b>129,86</b>

Brunetti (2012), reporta que a emissão de monóxido de carbono é resultante da combustão incompleta de hidrocarbonetos, resultando em uma queda relativa da eficiência. Basicamente, na combustão ocorre primeiramente a quebra do combustível formando CO, seguida da oxidação do CO em CO<sub>2</sub>. O monóxido de carbono é um produto de combustão incompleta principalmente em função da razão ar-combustível e do nível de homogeneização da mistura. O NO<sub>x</sub> pode ser formado basicamente por duas fontes, onde a primeira é a oxidação do nitrogênio presente no combustível pelo oxigênio presente no ar. A segunda fonte de geração de NO<sub>x</sub> é a oxidação do nitrogênio presente no ar pelo oxigênio presente no ar (Brunetti, 2012). Neste contexto, pode-se afirmar que os átomos de oxigênio que antes oxidavam nitrogênio, ocasionando uma formação de NO<sub>x</sub> agora estão oxidando de forma incompleta os carbonos presentes na mistura, prevalecendo uma maior formação de CO, tendo em vista que maiores formações de NO<sub>x</sub> acontecem em temperaturas maiores que 2000 K (Brunetti, 2012), não sendo essa a temperatura de operação de um motor a ciclo diesel.

Tabela 2: Resultados das análises de emissão de poluentes em meio gasoso do diesel S10 com 3% de butanol.

TEMPO (Min)	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	SO <sub>2</sub> (ppm)	Tsaída °C
01	16,90	1,25	1193,00	66,00	79,00	144,00	46,00	105,00
05	17,20	1,68	933,00	80,00	19,00	101,00	5,00	136,00
10	18,20	1,27	769,00	67,00	12,00	78,00	1,00	137,00
15	18,00	1,15	703,00	72,00	6,00	89,00	1,00	136,00
20	17,60	0,98	709,00	72,00	7,00	80,00	0,00	136,00
25	17,80	0,92	666,00	66,00	7,00	72,00	0,00	137,00
30	17,70	0,90	690,00	68,00	6,00	75,00	0,00	136,00
<b>Média</b>	<b>17,63</b>	<b>1,16</b>	<b>809,00</b>	<b>70,14</b>	<b>19,43</b>	<b>91,29</b>	<b>7,57</b>	<b>131,86</b>



Os resultados comprovam uma redução significativa de poluentes a partir do uso de blendas de butanol. Não houve alteração nos valores do oxigênio, mas é perceptível nas blendas de butanol. O monóxido de carbono apresentou valores menores na blenda de 3% de butanol (11,64% menor se comparado ao diesel puro), sendo que a blenda de 6% de butanol obteve valores menores em comparação com o diesel puro, isto se deve ao fato de o álcool melhorar a combustão do motor devido ao oxigênio presente no mesmo, diminuindo a queima incompleta do combustível (Y. VAROL et al., 2014). Sendo assim, percebe-se que a blenda de 3% de butanol foi a que apresentou valores mais baixos, obtendo 56,5% menos emissão de NOX, além de 4 vezes menos sulfeto, isto demonstra que esta blenda é mais sustentável ambientalmente se comparada a de 6% e ao diesel puro.

Tabela 3: Resultados das análises de emissão de poluentes em meio gasoso do diesel S10 com 6% de butanol

TEMPO (Min)	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	SO <sub>2</sub> (ppm)	Tsaída °C
01	17,00	1,17	1180,00	70,00	67,00	136,00	45,00	112,00
05	17,20	1,76	968,00	84,00	25,00	110,00	7,00	139,00
10	17,70	1,24	836,00	76,00	18,00	94,00	3,00	141,00
15	17,70	1,01	786,00	74,00	17,00	91,00	1,00	141,00
20	17,80	0,89	743,00	70,00	15,00	85,00	0,00	140,00
25	17,80	0,74	772,00	69,00	16,00	85,00	1,00	140,00
30	18,10	0,81	664,00	63,00	14,00	76,00	1,00	140,00
<b>Média</b>	<b>17,61</b>	<b>1,09</b>	<b>849,86</b>	<b>72,29</b>	<b>24,57</b>	<b>96,71</b>	<b>8,29</b>	<b>136,14</b>

## Conclusão

A partir dos dados obtidos notou-se que a adição de butanol no diesel é vantajosa do ponto de vista ambiental em motores estacionários, reduzindo significativamente a emissão de vários poluentes devido à melhora na combustão. A respeito das emissões de NOX, os resultados se mostraram promissores, promovendo uma diminuição nas concentrações emitidas. Os resultados podem ser correlacionados com as menores temperaturas adquiridas ao longo do teste quando utilizadas as blendas, e até mesmo as menores concentrações de nitrogênio devido a adição de butanol. Em relação às emissões de SO<sub>2</sub> não houve uma diferença significativa, demonstrando que a utilização de butanol nos motores ciclo diesel não interfere de forma considerável em relação a esta variável.

## Referências Bibliográficas

AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (Org.). IEA Energy Atlas. Disponível em: <<http://energyatlas.iea.org/?subject=-1920537974>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

BRUNETTI, F. Motores de combustão interna. 3º ed.v. 1 e 2. São Paulo: Blucher, 2012.



DA CUNHA, P. B.; COSTA, A. P.; SILVA, G. G.; RODRIGUES, F. F. D. S.; PEREIRA, B. B.. Sensibilização da População de Usuários do Transporte Coletivo de Uberlândia, Minas Gerais, para a Percepção dos Impactos e Riscos Gerados pelas Emissões Veiculares. Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde, Hygeia 11 (20): 45 - 52, Jun/2015. Disponível em: < <http://www.seer.ufu.br/index.php/hygeia/article/viewFile/27435/16843> >. Acesso em 8 fev 2016.

GIAKOUMIS, Evangelos G. et al. Exhaust emissions with ethanol or n-butanol diesel fuel blends during transient operation: A review. Renewable And Sustainable Energy Reviews, [s.l.], v.17, p.170-190, jan. 2013. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.rser.2012.09.017. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S1364032112005187?httpAccept=text/xml>>. Acesso em: 27 jan. 2016.

KEMPNER, M. B. Estudo das emissões atmosféricas de diesel S500 e blendas com butanol. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade da Região de Joinville. Graduação em Engenharia Química, 2014.

KRAHL, J. A., MUNACK, A., SCHRÖDER O, STEIN, H. BÜNGER, J. Influence of Biodiesel and Different Designed Diesel Fuels on the Exhaust Gas Emissions and Health Effects. SAE Technology. p. 3199, 2003.

PETROBRAS (Brasil). ÓLEODIESEL. 2016. Disponível em: <[http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/paralocomotivas/oleodiesel!/ut/p/c4/04\\_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hLf0N\\_P293QwN\\_gwA3AyNzby8f42BfAwMTc\\_2CbEdFAFTaI3A!](http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/paralocomotivas/oleodiesel!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hLf0N_P293QwN_gwA3AyNzby8f42BfAwMTc_2CbEdFAFTaI3A!/)>. Acesso em: 21 jan. 2016.

TADIELLO, R. B.; DA COSTA, A. B.; ALCAYAGA, E. L.; PUTZKE, J.; SCHUCH. M.. Utilização da Tillandsia aeranthos como bioindicador de poluição atmosférica, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. Revista Tecnológica – Universidade Estadual de Maringá – UEM. Disponível em: < <http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/RevTecnol/article/view/20887> >. Acesso em 10 fev 2015.

Y. VAROL, C.Ö ner, H.F.Ö ztop & Ş. Altun (2014) Comparison of Methanol, Ethanol, or n-Butanol Blending with Unleaded Gasoline on Exhaust Emissions of an SI Engine, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects.