

X-005 - ANÁLISE AMBIENTAL E OPERACIONAL DO USO DE BODIESEL EM FROTA DE ÔNIBUS

Ricardo de Oliveira Caetano

Administrador de Empresas, graduado na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Marcelo Oliveira Caetano⁽¹⁾

Professor Doutor dos Cursos de Graduação em Engenharia Civil, Ambiental e Gestão Ambiental da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Luis Alcides Schiavo Miranda

Professora Doutor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Luciana Paulo Gomes

Professora Doutora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)

Endereço⁽¹⁾: Laboratório de Saneamento Ambiental (C01 214) - Av. Unisinos, 950 – Cristo Rei – São Leopoldo - RS - CEP: 96022-000 - Brasil - Tel: +55 (51) 3592-1122 – R.1699 e-mail: mocaetano@unisinos.br

RESUMO

Perante a realidade mundial devido à emissão de poluentes na atmosfera através dos veículos automotores, o governo brasileiro criou o programa energético brasileiro, incorporando o biodiesel ao diesel, a fim de reduzir a emissão de poluentes. Neste contexto as empresas de logística necessitam se adaptar as legislações nacionais como um dos requisitos de estratégia e sustentabilidade organizacional. O presente trabalho teve como objetivo estudar o efeito operacional e ambiental da incorporação de biodiesel na frota de uma empresa de transporte de passageiros de Porto Alegre no Rio Grande do Sul. Desta maneira, foi avaliado e comparado o resultado de indicadores operacionais (consumo de combustível e manutenção de frota) e indicadores ambientais (emissão de dióxido de carbono) relacionado na utilização de combustíveis com 100% diesel e misturas de 2%, 3%, 4% e 5% de biodiesel. Para tal fez-se uma pesquisa quantitativa e comparativa com utilização de um caso único. Os indicadores operacionais foram obtidos através de relatórios disponibilizados pela empresa e o indicador ambiental foi estimado por cálculo. O trabalho se desenvolveu nas seguintes etapas: Etapa 1 (Análise Operacional), Etapa 2 (Análise Ambiental) e Etapa 3 (Comparação e conclusão a respeito do desempenho ambiental e operacional). Os dados foram tratados estatisticamente e posteriormente analisados. Por fim, levando em consideração as variáveis e limitações desta pesquisa, os resultados obtidos pelas análises estatísticas e considerando que a incorporação de biodiesel é uma realidade nacional, as porcentagens de incorporação de 2% e 5% de biodiesel foram as mais indicadas para a frota mencionada. Esta conclusão está baseada na melhora no consumo de combustível e redução da emissão de poluentes para a atmosfera se comparar com o combustível 100% diesel associada a uma diferença significativa na quantidade de troca mensal de filtros racor e na redução do número de trocas de unidades injetoras se comparar com combustíveis com misturas de 3% e 4% de biodiesel.

PALAVRAS-CHAVE: Biodiesel, Indicadores, Combustível, Incorporação de Biodiesel.

INTRODUÇÃO

Na busca do desenvolvimento econômico da sociedade percebe-se uma grande demanda do consumo de recursos naturais não renováveis, incluindo nesta gama o uso de combustíveis fósseis (REBOUÇAS et. al, 2002). Segundo Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2014) em 2000, o Brasil comercializou cerca de 35.151.264 m³ de óleo diesel. Já em 2013, esta comercialização cresceu para 58.491.966 m³, cerca de 167% a mais. Para o Rio Grande do Sul esta demanda cresceu 138%, de 2.575.432 m³ em 2000 para 3.560.187 m³ em 2013.

O aspecto ambiental relacionado a emissões atmosféricas relacionados ao uso de combustível como óleo diésel, está sendo discutida e é demanda de pesquisadores em todo o mundo devido a quantidade de gases de

efeito estufa que podem ser emitidos. Com isso surgem as pesquisas por combustíveis alternativos, entre estes, o biodiesel.

Diversos trabalhos abordam o efeito de redução da emissão de gases poluentes com a utilização de biodiesel. No estudo de SILVA & FREITAS (2008) com misturas de combustíveis em um motor, os autores perceberam que o biodiesel de óleo de soja com uma mistura de B20 e B100 obtiveram emissões de CO₂ menores que as emissões derivadas de diesel de petróleo.

BRUNELLI (2009) também comprovou, realizando testes com motor de ciclo de diesel M93 ID da Marca Agrale utilizando diferentes proporções de biodiesel proveniente de óleo de soja, reduções de emissão de poluentes comparando às diversas proporções estudadas do biocombustível. Segundo a pesquisa, os resultados mostraram que, para mistura de 25% de biodiesel em 75% de diesel, houve uma redução de, aproximadamente: 11,7% no índice de fumaça do combustível biodiesel, nas rotações de 1800 RPM; redução de 16,8% em rotação 2200 RPM e 11,4% para rotação 2600 RPM. Para mistura de 50% as reduções em relação as rotações dos motores foram, respectivamente, 23,5%; 26,5% e 25,3%. Já para 100% de biodiesel, estas reduções, respectivamente, foram: 38,8%; 40% e 40,5%.

A redução de emissões atmosféricas nocivas é um dos motivos para que no Brasil, em meados de ano de 1997, o governo federal criasse a chamada matriz energética brasileira, que começa a incorporar alternativa de combustíveis renováveis para serem utilizados em combustíveis chamados fósseis (Lei 9.478, de 06 de agosto de 1997). Posterior a isto, a resolução ANP nº 42, de 24 de novembro de 2004, incorpora o biodiesel ao diesel em cerca de 2%. O objetivo maior da incorporação de biodiesel ao diesel é a diminuição de poluentes que são enviados a atmosfera através da queima de combustível em motores a diesel.

Surge, no entanto, a preocupação com o rendimento desses motores com combustível alternativo. Segundo SANTOS (2007), BUENO (2006) e BRUNELLI (2009), em estudos científicos da aplicação de biodiesel (de diversas oleaginosas), em níveis de percentuais específicos nos motores de combustão interna de ciclo Diesel, constatou-se que os desempenhos operacionais em relação à potência, torque, consumo específico e emissão de gases, tendem a reduzir com o aumento de do percentual de adição de biodiesel ao diesel.

Ainda conforme os autores, o uso de biodiesel em mistura de até 10% com diesel, não provoca modificação no funcionamento dos motores ciclo diesel. Já misturas acima de 50% de biodiesel ao diesel promovem irregularidades em baixa e alta considerável, comprometendo o motor. Porém, em aplicações de 75% de biodiesel ao diesel as emissões de gases são de reduções surpreendentes, principalmente no índice de fumaça, com exceção ao CO₂, que conforme a pesquisa, ficam similar aos motores a diesel.

BARBOSA et al. (2008) testaram um motor de um trator de marca Valmet de ciclo diesel 85 id modelo MWM D-255 – 4TVA, de 4 tempos com injeção direta, refrigerado a água, 4 cilindros em linha, etc. Este ensaio fez-se necessário para a validação do uso de misturas de biodiesel os diesel mineral, sendo testado o B2, B5, B20 e B100. Após a realização de diversos testes de potência, torque, consumo energético, desempenho, concluiu-se que a potência do motor com uso de 100% de biodiesel B100 ou com misturas com diesel, foi pouca inferior a potência apresentada ao óleo diesel comercial. A redução média foi em torno de 1,31% em alguns regimes de rotação, sendo que em B5 e B20 obteve potência superior ou igual ao diesel.

Já o estudo de VOLPATO et al. (2009), utilizando biodiesel de óleo de soja em um motor Perkins modelo A4-4.1, com aspiração natural de 4 tempos, injetado, refrigerado a água, com 4 cilindros em linha; concluiu que: 1) Nos testes de viabilidade de operação de um motor 100% com bicombustível de soja, houve perda em torno de 10,7% de torque; 2) Foi observado aumento em torno de 6,1% de potência; 3) Verificado um menor consumo específico e energético em relação ao diesel sendo 14,66 % menor na rotação de trabalho de 540 rpm.

Este panorama motivou o desenvolvimento desta pesquisa que objetivou estudar o desempenho operacional e ambiental da incorporação de biodiesel em uma frota de uma empresa de transporte de passageiros do município de Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O intuito foi verificar a viabilidade do uso do biodiesel como combustível para estes tipos de veículos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi desenvolvida uma pesquisa quantitativa, método comparativo e estudo de caso único. O estudo de caso foi uma frota de uma empresa que atua no ramo de transportes de passageiros no município de Porto Alegre no Rio Grande do Sul, Brasil. Sua frota desde 2005 soma um total de 197 ônibus. A EPTC (2011) estima cerca de 1650 ônibus atuando em Porto Alegre, sendo assim, a frota da empresa estudada representa em torno de 12% do total.

Foram avaliados e comparados os resultados de relatórios operacionais, com indicadores, fornecidos pela empresa referente aos anos de 2005 a 2012. A seguir uma breve definição de cada indicador:

- Consumo: representa a quantidade de quilômetros rodados pela frota por litro de combustível gasto;
- Filtro racor: representa o sistema que auxilia na separação da água do tanque de combustível. Esta água surge a partir da evaporação que ocorre dentro do tanque. Quanto mais água tiver no tanque, mais vezes o filtro racor deve ser substituído;
- Unidades Injetoras: representa o sistema de injeção de combustível. O número de troca está relacionado à sujeira e/ou entupimento e/ou desgaste da peça.

Baseado nestes dados / indicadores e, adicional a esta coleta e análise complementar, foram estimados a emissão, pela frota em estudo, de dióxido de carbono para atmosfera com a utilização de combustível diesel e biodiesel. O indicador ambiental (estimativa de emissão de dióxido de carbono) foi escolhido baseado nas diferentes análises realizadas pela literatura que descrevem a redução da emissão deste gás como a vantagem para utilização do biodiesel.

A análise dos dados foi realizada através de estatística, sendo utilizados cálculos de média, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados coletados. Os dados foram, primeiramente, tratados estatisticamente de forma a reduzir, ao máximo possível, o coeficiente de variação mantendo coerência em relação à quantidade e qualidade dos dados.

Em alguns casos, quando possível, foi realizado o teste ANOVA e teste de TUKEY de forma a verificar a variabilidade e significância dos resultados obtidos. Estes testes foram realizados, utilizado o programa de computador SPSS. A pesquisa se desenvolveu em três etapas a seguir descritas.

ETAPA 1: ANÁLISE OPERACIONAL

Foram analisados os índices de manutenção da frota da empresa de janeiro de 2005 até janeiro de 2012. Considerados apenas os dados a partir de 2005 em função de que posterior a esta data, os motores utilizados na empresa eram com injeção eletrônica, semelhante aos utilizados até atualmente.

Considerou-se o cronograma, de acordo com a legislação brasileira, de incorporação de biodiesel no diesel na frota da empresa, conforme segue:

- De 01/01/2005 até 31/12/2007 – 100% diesel;
- De 01/01/2008 até 30/06/2008 – 2% de incorporação de biodiesel no diésel (B2);
- De 01/07/2008 até 30/06/2009 – 3% de incorporação de biodiesel no diésel (B3);
- De 01/07/2009 até 31/12/2009 – 4% de incorporação de biodiesel no diésel (B4);
- De 01/01/2010 até 31/01/2012 – 5% de incorporação de biodiesel no diésel (B5);

ETAPA 2: ANÁLISE AMBIENTAL

Baseado no consumo da frota da empresa e na revisão da literatura, foram estimados a emissão de dióxido de carbono para atmosfera com a utilização de diesel e biodiesel. A escolha do dióxido de carbono pode ser justificado, conforme FIGUEIREDO (2008), em função de que, em volume, certamente a emissão veicular de gases de efeito estufa mais significativa é a de CO₂, o qual é diretamente proporcional ao consumo de combustível.

Neste estudo foi levado em consideração as diferentes quantidades de biodiesel no combustível utilizado pela empresa de forma a verificar a redução de emissão do poluente.

ETAPA 3: COMPARAÇÃO ENTRE O DESEMPENHO AMBIENTAL E OPERACIONAL

De forma a responder o problema de pesquisa anteriormente enunciado, a última etapa da pesquisa visou uma comparação entre os indicadores operacionais analisados e as estimativas de emissão de dióxido de carbono para atmosfera.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

ETAPA 1: ANÁLISE OPERACIONAL

Em relação ao indicador consumo de óleo diesel, de forma a verificar se as médias de consumo de combustíveis entre o padrão de referência (100% diesel) e os combustíveis com incorporação de biodiesel, fez o teste ANOVA e TUKEY.

O resultado do teste ANOVA (utilizando o SPSS), mostrou que as médias de consumo, analisando os diferentes grupos (100% diesel; 2, 3, 4 e 5% de incorporação de biodiesel), foi igual a 0,000. Considerando que resultados abaixo de 0,05 (95% de intervalo de confiança) representam diferenças significativas, a conclusão é que há diferenças significativas entre o consumo de combustíveis nos diferentes grupos analisados.

Com a análise de TUKEY é possível verificar que comparando o Diesel 100% com os combustíveis que possuem incorporação de biodiesel (2, 3, 4 e 5%), há diferenças significativas (significância menor que 0,05) apenas em relação ao Biodiesel 3% e 4%, sendo que o restante (2% e 5%) não há diferença significativa (significância maior que 0,05). Ou seja, na incorporação de Biodiesel 3% e Biodiesel 4%, pode-se notar que houve um aumento na média de consumo de combustível (km/L), havendo assim um consumo menor de combustível, consequentemente seriam as melhores incorporações de bicompostíveis (3% e 4%) ao Diesel.

A Tabela 1 apresenta as quantidades de quilômetros totais rodado pela frota em cada período analisado e sua relação com a quantidade de litros de combustíveis gasto e a média de consumo (km/L).

Tabela 1: Consumo de combustível em todo o período analisado

	Km Total	Litros Gastos	Consumo (km/L)
Diesel	38.241.871,50	14.150.491,80	2,70
Biodiesel 2%	6.569.510,20	2.391.686,12	2,75
Biodiesel 3%	13.375.039,82	4.670.795,32	2,86
Biodiesel 4%	7.239.394,04	2.531.042,37	2,86
Biodiesel 5%	29.597.258,95	10.887.509,27	2,72

A variabilidade dos resultados pode ser percebida na Figura 1.

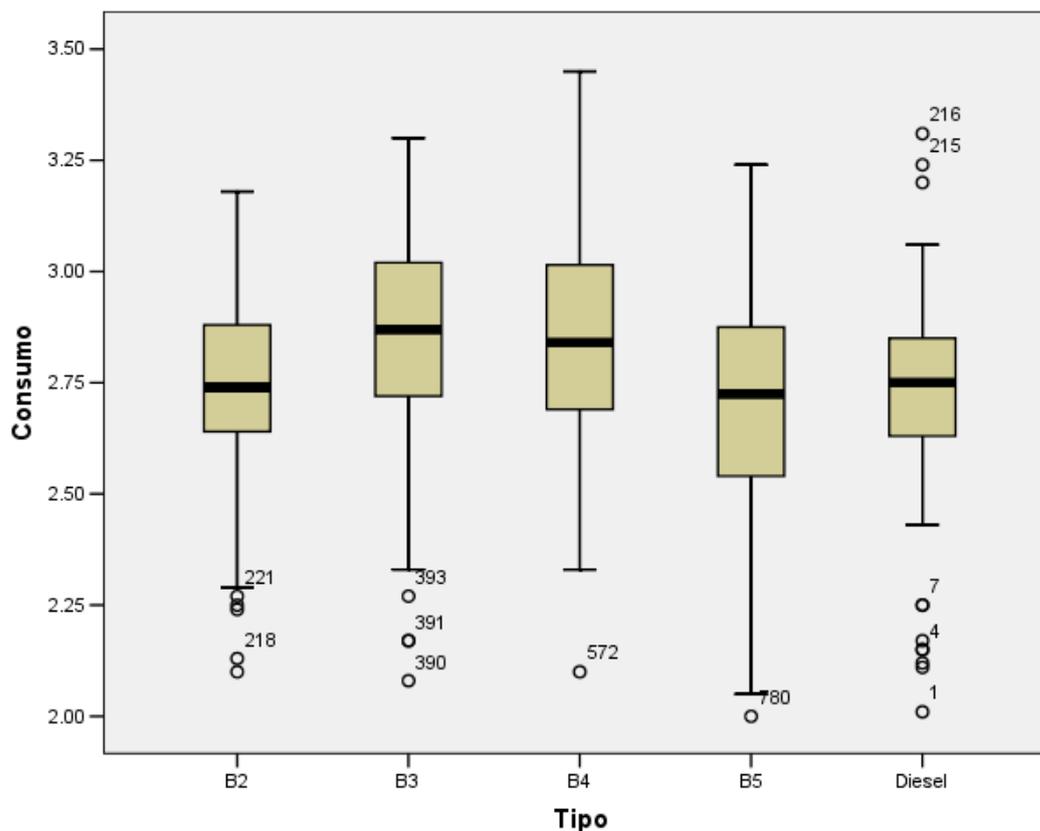


Figura 1 – Consumo de combustível, em km/L.

Em relação ao indicador troca de filtros racor, conforme análise ANOVA e de TUKEY, há diferenças significativas de troca de filtros racor comparando combustível diesel 100% com combustível contendo 2, 3, 4 e 5% de biodiesel. Segundo a análise, os combustíveis com incorporação de 4 e 5% de biodiesel, são aqueles em que foi necessário mais trocas de filtro racor, analisando a média de troca por quilometragem.

Resultado similar foi obtido analisando os dados de quantidade de trocas de filtro racor (análise por unidade trocada). A Tabela 2 apresenta as quantidades de trocas totais de filtros racor pela frota em cada período analisado e sua relação com a quantidade de meses e a média de trocas de filtro racor.

Tabela 2: Troca de filtro racor em todo o período analisado

	Quantidade de Trocas	Número de meses	Média Troca por Mês (Unidades)	Média de filtro (a cada km)
Diesel	470	36	13,06	76.253,96
Biodiesel 2%	180	6	30,00	51.473,01
Biodiesel 3%	418	11	38,00	33.178,16
Biodiesel 4%	213	6	35,50	32.398,78
Biodiesel 5%	688	25	27,52	34.648,99

A variabilidade dos resultados são apresentados na Figura 2 na sequencia.

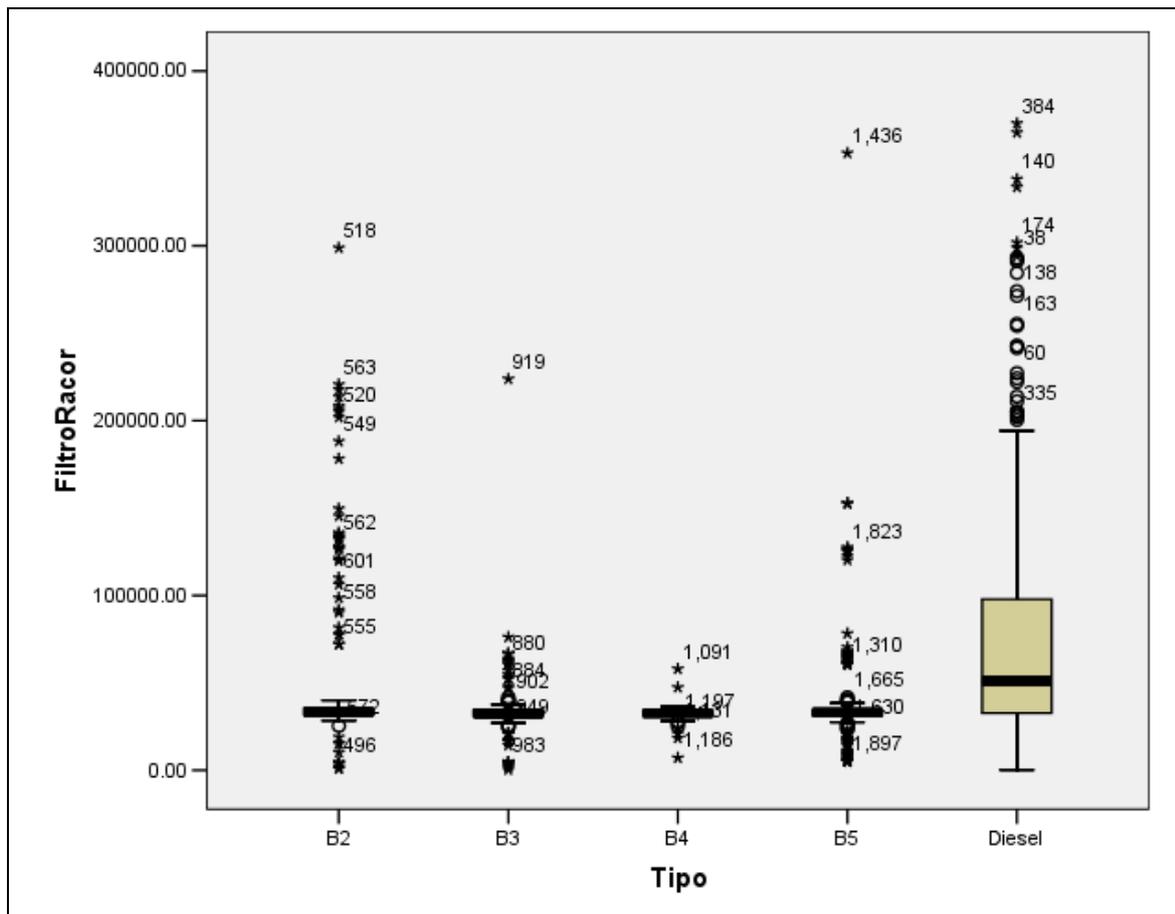


Figura 2 – Trocas, em quilômetros, de filtro racor.

Para o indicador troca de unidades injetoras não foi possível realizar análise ANOVA e TUKEY devido a quantidade de variáveis. Não há, por parte da empresa, controle de troca por quilometragens, mas sim controle de quantidade de unidades trocadas por período.

Assim, a Tabela 3 apresenta as quantidades de trocas totais de unidades injetoras pela frota em cada período analisado e sua relação com a quantidade de meses e a média de trocas de unidades injetoras.

Tabela 3: Troca de unidades injetoras em todo o período analisado

	Quantidade de Trocas	Número de meses	Média Troca por Mês
Diesel	45	36	1,25
Biodiesel 2%	10	6	1,67
Biodiesel 3%	36	11	3,27
Biodiesel 4%	14	6	2,33
Biodiesel 5%	41	25	1,64

Nesta análise, verificou-se que houve um aumento na média de trocas mensais nas unidades injetoras comparando o diesel 100% e o biodiesel (2, 3, 4 e 5%). Segue relação em porcentagem do Diesel em relação ao Biodiesel:

- Comparando diesel 100% com Biodiesel 2% - aumentou de cerca de 33,50 %;
- Comparando diesel 100% com Biodiesel 3% - aumentou de cerca de 160,00 %;
- Comparando diesel 100% com Biodiesel 4% - aumentou de cerca de 86,50%;
- Comparando diesel 100% com Biodiesel 5% - aumentou de cerca de 31,20 %.

Sendo assim, a melhor relação para a troca de unidade injetora em relação ao Diesel foi a do Biodiesel 5%, pois apresenta o menor índice de troca de unidades injetoras em relação as outras incorporações de biodiesel. Já na tabela 4 é apresentada as médias de trocas totais de unidades injetoras pela frota em cada período analisado e sua relação com a quilometragem total em no período e a média de trocas de unidades injetoras por quilometragem.

Tabela 4: Troca de unidades injetoras por quilômetro rodado no período

	Quantidade de Trocas	Km rodado no período	Média Troca por Mês/Km
Diesel	45	38.241.871,50	849.819,37
Biodiesel 2%	10	6.569.510,20	656.951,02
Biodiesel 3%	36	13.375.039,82	371.528,88
Biodiesel 4%	14	7.236.394,04	516.885,29
Biodiesel 5%	41	29.597.258,95	721.884,36

Verificou-se que para trocar uma unidade injetora, utilizando o combustível Diesel, cada veículo rodava em média 849.819,37 km. Sendo assim comparando com outras incorporações de combustíveis, verificou-se que os veículos rodavam uma menor quantidade de quilometragem, fazendo mais trocas de unidades injetoras. A relação mais próxima obtida entre as incorporações de biodiesel que se verifica é com o Biodiesel 5%, sendo que roda-se cerca de 17,72% menos quilômetro para efetuar uma troca de unidade injetora.

ETAPA 2: ANÁLISE AMBIENTAL

A estimativa relacionada ao indicador ambiental de emissão de CO₂, comparando o Diesel e as incorporações de Biodiesel (2, 3, 4 e 5%) foram baseadas no referencial teórico do fator de emissão de kg CO₂ / kg combustível apresentado por FIGUEIREDO (2008). O valor referencial foi de 2,83 kg CO₂ / kg combustível para o Biodiesel e 3,20 kg CO₂ / kg combustível para o Diesel.

Com isso estimou-se a quantidade de quilos de combustível e, conseqüentemente a quantidade dióxido de carbono lançada para o meio ambiente. A primeira atividade foi estimar o fator de emissão de kg CO₂ / kg combustível. Fez-se o cálculo proporcional para obtenção do fator para biodiesel 2, 3, 4 e 5%. Com o novo fator, fez-se o cálculo da emissão de CO₂ pelos veículos da empresa em cada período. A Tabela 5 apresenta os resultados.

Tabela 5: Média de consumo de combustível da frota

	Km Total	Litros Gastos	Consumo (km/L)
Diesel	38.241.871,50	14.150.491,80	2,70
Biodiesel 2%	6.569.510,20	2.391.686,12	2,75
Biodiesel 3%	13.375.039,82	4.670.795,32	2,86
Biodiesel 4%	7.236.394,04	2.531.042,37	2,86
Biodiesel 5%	29.597.258,95	10.887.509,27	2,72

Para transformação da quantidade de combustível consumida em litros para quilogramas, utilizou-se a densidade do Diesel e Biodiesel igual a 0,82; conforme FISPQ (Ficha de Informações de Produtos Químicos) do produto. A Tabela 6 apresenta os resultados finais de estimativa de redução.

Tabela 6: Estimativa de emissão de CO₂ por tipo de combustível

Hipóteses	Km Total	Consumo (km/L)	Litros Gastos	kg de combustível	kgCO ₂	Reduções kgCO ₂ (%)
Rodar com diesel 100% todo período	95.020.074,51	2,70	35.192.620,19	28.857.948,55	92.345.435,38	-
Rodar com Biodiesel 2% todo o período	95.020.074,51	2,75	34.552.754,37	28.333.258,58	90.456.761,35	2,05
Rodar com Biodiesel 3% todo o período	95.020.074,51	2,86	33.223.802,28	27.243.517,87	86.876.854,12	5,92
Rodar com Biodiesel 4% todo o período	95.020.074,51	2,86	33.223.802,28	27.243.517,87	86.776.053,11	6,03
Rodar com Biodiesel 5% todo o período	95.020.074,51	2,72	34.933.850,92	28.645.757,76	91.136.478,30	1,31

A comparação entre os resultados obtidos permite estimar que o Biodiesel 3% e o Biodiesel 4%, são os tipos de combustíveis que mais reduzem a emissão de CO₂ em relação ao Diesel.

ETAPA 3: COMPARAÇÃO ENTRE O DESEMPENHO AMBIENTAL E OPERACIONAL

A Tabela 7 apresenta o estudo comparativo entre os diversos indicadores avaliados.

Tabela 7: Resumo análise ambiental e análise operacional

Indicador	Diesel	Biodiesel 2%	Biodiesel 3%	Biodiesel 4%	Biodiesel 5%
Consumo (km/L)	2,70	2,75	2,86	2,86	2,72
Média mensal de troca de filtro diesel (unidades)	1,50	9,17	18,00	15,67	24,56
Média mensal de troca de filtro racor (unidades)	13,06	30,00	38,00	35,50	27,52
Média mensal de troca de unidades injetora (unidades)	1,25	1,67	3,27	2,33	1,64
Redução (em kg CO ₂) de emissão em relação ao Diesel (%)	-	2,05	5,92	6,03	1,31

Analisando estes resultados foi possível verificar a redução de emissão de CO₂ para misturas de Biodiesel até 5%, em concordância com os trabalhos de SILVA & FRETIRAS (2008) e BRUNELLI (2005). Neste âmbito, as incorporações de biodiesel de 3% e 4%, são as mais indicadas. Já nos estudos dos indicadores operacionais, verificou-se que há aumentos em número de trocas de filtro racor e unidades injetoras, conforme aumenta a incorporação de biodiesel ao Diesel.

Em relação a questão operacional, percebe-se que alguns autores como SANTOS (2007) e BRUNELLI (2009), também descrevem que quando incorporado grandes concentrações de biodiesel ao diesel há grandes prejuízos no funcionamento do motor, aumentando o consumo de combustível, reduzindo a vida útil do motor, afetando principalmente as bombas injetoras. Os autores concluem ainda que no futuro, misturas de até 10% de biodiesel não irão interferir no ciclo do motor, mantendo a redução na emissão de CO₂.

A partir do estudo destes indicadores operacionais e ambientais, pode-se destacar que no âmbito ambiental, a empresa de transportes de passageiros, está tendo um melhor consumo de combustível e menor índice de

emissão de poluentes, ao incorporar biodiesel ao diesel. Cabe destacar, porém, que a melhora no consumo de combustível obtido quando há misturas de 3% e 4% de biodiesel ao diesel influenciou diretamente em uma maior redução de CO₂, o que justifica os resultados apresentados na Tabela 7 para estas duas porcentagens de incorporação.

Em contrapartida, nota-se que operacionalmente existem mais trocas de filtros racor e unidades injetoras, confirmando a suspeita da empresa estudada e concordando também com a pesquisa de alguns autores. Pode-se notar também que o pior desempenho operacional (analisando trocas de filtro racor e unidades injetoras) deu-se para as misturas 3% e 4%. Ou seja, embora estes dois combustíveis melhoram o consumo e redução a poluição de dióxido de carbono para a atmosfera, estes promovem uma maior manutenção da frota o que significa um acréscimo (se comparar com o combustível diesel 100%) de, aproximadamente, 280% e 220% na troca de filtros racor e unidades injetoras, respectivamente.

Com isso, levando em consideração as variáveis e limitações desta pesquisa, os resultados obtidos pelas análises estatísticas resumidos na Tabela 7 e considerando que a incorporação de biodiesel é uma realidade nacional, as porcentagens de incorporação de 2% e 5% de biodiesel seriam as mais indicadas para a frota mencionada. Esta conclusão está baseada:

- Em uma pequena melhora no consumo de combustível (embora não significativa conforme análise de Tukey) e redução da emissão de poluentes para a atmosfera se comparar com o combustível 100% diesel (Tabela 7);
- Em uma diferença significativa (conforme análise de Tukey) na quantidade de troca mensal de filtros racor se comparar com os combustíveis com 3% e 4% de incorporação de biodiesel;
- Na redução do número de trocas de unidades injetoras se comparar com os combustíveis com 3% e 4% de incorporação de biodiesel de, aproximadamente; uma (01) unidade mensal (Tabela 7).

CONCLUSÕES

A análise das incorporações do biodiesel no diesel e a influência disto na manutenção, consumo e impactos ambientais da frota foi a questão problema levantada pela empresa no início do projeto. Verificando a bibliografia e os dados operacionais disponibilizados pela empresa, fez-se algumas conclusões, para as situações estudadas, a respeito do tema as quais estão resumidas a seguir:

- Houve diferenças significativas, conforme análise Anova e Tukey, quanto ao consumo de combustíveis se comparar o diesel 100% e incorporações de 2, 3, 4 e 5% de biodiesel. A utilização de 3% e 4% de biodiesel no diesel promoveu uma melhora significativa neste indicador;
- Houve diferenças significativas, conforme análise Anova e Tukey, quanto a troca de filtros racor comparando todos os combustíveis estudados. Destaque para uma maior frequência de troca relacionada aos combustíveis com 3% e 4% de incorporação de biodiesel;
- Verificado aumento no número de reposição de unidades injetoras por mês comparando-se os diferentes combustíveis. Destaque para a quantidade maior de troca de unidades injetoras relacionada aos combustíveis com 3% e 4% de incorporação de biodiesel;
- Verificado redução de emissão de dióxido de carbono para atmosfera com a incorporação de biodiesel ao diesel. Os melhores resultados foram obtidos para 3% e 4% de biodiesel

Assim, levando em consideração as variáveis e limitações desta pesquisa, os resultados obtidos pelas análises estatísticas e considerando que a incorporação de biodiesel é uma realidade nacional, as porcentagens de incorporação de 2% e 5% de biodiesel seriam as mais indicadas para a frota mencionada. Esta conclusão está baseada na melhora no consumo de combustível e redução da emissão de poluentes para a atmosfera se comparar com o combustível 100% diesel associada a uma diferença significativa na quantidade de troca mensal de filtros racor e na redução do número de trocas de unidades injetoras se comparar com combustíveis com misturas de 3% e 4% de biodiesel.

Cabe ressaltar uma análise de que as trocas de filtros diesel e racor possuem recomendações técnicas dos fabricantes e, que em alguns casos, pode estar diferente da média de trocas por quilômetro demonstrada por esta pesquisa. Nesta situação e, em caso de obediência exata a estas recomendações, os resultados não demonstrariam tantas diferenças com as incorporações de biocombustíveis nas trocas dos filtros. Neste caso,

pode-se usar o Biodiesel 5%, pois mesmo tendo uma troca em torno de 17% maior que o Diesel, teria a redução de emissão de CO₂ igual a 1,31% a cada kgCO₂. Com este novo cenário pode-se confirmar que o Biodiesel 5% é ambientalmente correto e operacionalmente viável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANP <http://www.anp.gov.br/?pg=64555&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1394037656421> acessado em 05/03/2014
2. ATM – Associação dos Transportes Intermunicipais Metropolitanos de Passageiros. Disponível em : <http://www.atm-rs.com.br>. Acessado em 03 de novembro de 2011.
3. BARBOSA, Ronald Leite; SILVA, Fabio Moreira da; SALVADOR, Nilson; VOLPATO, Carlos Eduardo Silva. Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando diesel e misturas de biodiesel. Ciênc. Agrotec., Lavras, Vol. 32, No. 5, 1588-1593, 2008.
4. BRASIL, Lei n. 9478, de 06 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e da outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em 04 de outubro de 2011.
5. BRUNELLI, Rafael Rogerio. Estudo de viabilidade operacional e desempenho de motores de combustão interna operando com o combustível biodiesel em relação ao combustível diesel automotivo. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PROMEC, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul [2009].
6. EPTC – Empresa Pública de Transportes e Circulação. Disponível em: < <http://www2.portoalegre.rs.gov.br>>. Acessado em 03 de novembro de 2011.
7. FIGUEIREDO, Sílvio de Andrade. Emissão Veicular de Gases de Efeito Estufa devido ao tipo de combustível. 2008. 9p.
8. SILVA, Paulo Regis Ferreira; FREITAS, Thais Fernanda Stella. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. Ciência Rural, Santa Maria, Vol. 38. No. 3, 843-851, 2008.
9. VOLPATO, Carlos Eduardo Silva; CONDE, Alexon do Prado; BARBOSA, Jackson Antonio; SALVADOR, Nilson. Desempenho de motor diesel quatro tempos alimentado com biodiesel de óleo de soja (B 100). Ciênc. Agrotec., Lavras, Vol. 33, No. 4, 1125-1130, 2009.