

IMPACTOS DO AUMENTO DO TEOR DE BIODIESEL NO DIESEL SOBRE AS EMISSÕES DE GEE NO TRANSPORTE DE CARGA LÍQUIDA A GRANEL

Daniela Bacchi Bartholomeu¹

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Thiago Guilherme Péra²

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

José Vicente Caixeta-Filho³

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

RESUMO

O OBJETIVO DESTA ARTIGO É MENSURAR AS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS, EM DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE TEORES DE BIODIESEL NO DIESEL. A METODOLOGIA DE MENSURAÇÃO DE GEE CONSIDERA PARAMETROS COMO DISTÂNCIA PERCORRIDA, QUANTIDADE DE CARGA TRANSPORTADA, CONSUMO E TIPO DE COMBUSTÍVEL UTILIZADO, ESTES DADOS FORAM OBTIDOS EM DIVERSAS TRANSPORTADORAS, TOTALIZANDO UMA AMOSTRA DE 145 VEÍCULOS PESADOS. OS RESULTADOS FORAM DECORRENTES DA SIMULAÇÃO DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES DO TEOR DE BIODIESEL NO DIESEL, EVIDENCIANDO QUE O POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE ATRAVÉS DO AUMENTO DO TEOR DE BIODIESEL NÃO É TÃO PROMISSOR, POIS PARA ALCANÇAR UMA REDUÇÃO DE 5% NAS EMISSÕES, POR EXEMPLO, SERIA NECESSÁRIO AUMENTAR A MISTURA DE BIODIESEL DE 5% PARA 50% NO DIESEL. ESTE RESULTADO É DECORRENTE, EM GRANDE PARTE, DA QUA DO RENDIMENTO DO VEÍCULO, O QUAL AUMENTA O CONSUMO EM FUNÇÃO DO AUMENTO DO TEOR DE BIODIESEL. PORTANTO, É PRECISO REAVALIAR OS BENEFÍCIOS AMBIENTAIS ESPERADOS ATRÁVES DA ADOÇÃO DE TAL MEDIDA NO PAÍS.

Palavras-chave: mitigação GEE; transporte; impactos ambientais; emissões; biodiesel.

1. INTRODUÇÃO

A substituição de combustível vem sendo apontada como uma alternativa interessante para mitigar as emissões de gases de efeito estufa – GEE do transporte. Dentre os combustíveis apontados como menos carbono-intensivos, o biodiesel ganhou destaque no setor de transporte de cargas nos últimos anos, sendo incluído tanto na agenda pública (Programa Nacional do Biodiesel) quanto privada (desenvolvimento tecnológico).

Do lado do mercado, os investimentos e pesquisas das grandes empresas fabricantes de veículos em direção a tecnologias alternativas de motores e combustíveis têm sido expressivos nos últimos anos. Isso indica que há, de fato, uma preocupação em reduzir a dependência em relação a combustíveis fósseis, em aumentar a eficiência dos veículos e, em última instância, em tornar o transporte uma atividade mais sustentável.

Durante o 62º Salão Internacional do Transporte, realizado em 2008 na cidade de Hanover (Alemanha), um dos grandes focos dos principais fabricantes mundiais de veículos comerciais foi a viabilidade de combustíveis alternativos e menos poluentes como substitutos do óleo

diesel para mover frotas.

Entretanto, é preciso salientar que a maior parte destas iniciativas, além de estar em fase experimental, diz respeito a veículos leves ou outros, como microônibus, *van*, ônibus. Poucas consideram o segmento de transporte de cargas. Além disso, do ponto de vista do mercado, as novas tecnologias em combustíveis são ainda muito caras, inviabilizando, até o momento, sua fabricação em escala comercial.

Com relação aos motores alternativos, quase todas as grandes fabricantes possuem algum tipo de desenvolvimento de tecnologia para redução de emissões e consumo, seja através de combinações híbridas, elétricas ou a gás.

No caso de combustíveis alternativos, experiências têm sido desenvolvidas com células de combustível, álcool, biodiesel, metano e gás natural comprimido (GNC). Em diferentes estágios de desenvolvimento, os combustíveis alternativos apresentam grande potencial, tanto no curto quanto no longo prazo. Os biocombustíveis já estão sendo gradualmente introduzidos, e tendem a ter sua participação elevada com o passar do tempo.

Em suma, estão sendo direcionados esforços para desenvolvimento de tecnologia com relação a:

- *Biodiesel*
- *Diesel renovável / sintético*
- *Etanol*
- *Gás Natural*
- *Metano*
- *Motores Híbridos*
- *Veículo Elétrico*
- *Dimetil éter (DME)*
- *Células de combustível*

Este trabalho enfoca o potencial de redução de GEE esperado pelo aumento de biodiesel na mistura com o diesel, uma vez que, no caso do transporte de cargas, é uma das tecnologias mais adiantadas em termos de desenvolvimento e testes de laboratório. Além disso, no Brasil, o Programa Nacional do Biodiesel também obriga o aumento progressivo do biodiesel na mistura com o diesel, constituindo, portanto, um norteador em termos da tecnologia a ser adotada pelas empresas de transporte nos próximos anos.

1.1 Biodiesel

O biodiesel é apontado como uma alternativa ao combustível fóssil, reduzindo, assim as emissões de GEE. Podendo ser produzido a partir de uma série de matérias-primas, tais como oleaginosas, óleos residuais, borra e óleo de soja, escuma de esgoto e gordura animal (óleo vegetal “in natura”), seus benefícios ambientais ainda são bastante questionados.

Existe uma série de estudos relacionados à utilização de biodiesel, em diferentes proporções junto ao diesel (B5, B20, B80, B100), buscando avaliar os impactos na eficiência do

transporte (níveis de consumo), na manutenção do equipamento (estabilidade, corrosividade, formação de biodepósitos etc.) e no meio ambiente (emissões de gases). Entretanto, os estudos ainda não apontaram, de forma clara, quais seriam estes resultados. Isso ocorre devido às diferenças de metodologias de testes, de matéria-primas utilizadas e das condições de simulação. Entretanto, reproduz-se a seguir, algumas pesquisas realizadas mais recentemente que buscam quantificar tais aspectos, dando maior atenção àquelas que apresentam dados relativos às emissões de GEE.

Teles et al. (2006) buscando determinar a variação de opacidade, da emissão de gases e do consumo por seis veículos movidos a biodiesel B20 em relação aos movidos à diesel puro. Os veículos utilizados foram tratores, caminhões canavieiros e carros pipas pertencentes a uma usina de açúcar e álcool em Barra do Bugres. Entre suas conclusões, destacam que não foram observadas variações significativas em relação ao consumo de combustível quando utilizado B20 ou diesel puro. Com relação às emissões de CO₂, não apresentam dados conclusivos, sugerindo a necessidade de o motor estar em plena carga para melhor análise deste tipo de gás.

Penteado et al (2007) realizaram testes em um motor com sistema de injeção com bomba injetora em linha, alimentado com biodiesel (B100), para avaliar o impacto do uso do biodiesel em um motor convencional usado no acionamento de geradores de energia elétrica. Seus resultados indicam que o desempenho do B100 em relação ao diesel é inferior no que tange a torque e potência se não for realizada uma correção de débito de injeção. Em relação às emissões, percebe-se redução nos níveis de CO, HC e fuligem quando se utiliza o B100, e um aumento na emissão do NOx. Estas conclusões se referem ao uso do biodiesel de soja, obtido pela rota etílica. Enquanto estudos adicionais não forem realizados, os autores sugerem aumentar (sugere-se duplicar) a frequência de troca da carga de óleo lubrificante.

Santos (2007) analisou o desempenho e as emissões provenientes da operação de um motor AGRALE M790, bicilíndrico, quatro tempos, refrigerado a ar, 30 cv de potência e com sistema de injeção direta, usando biodiesel B100 proveniente de óleos residuais e óleo de soja. No experimento com motor estacionário, foi escolhida a rotação fixa de 2000 RPM, em diferentes faixas de potência. Os resultados obtidos indicam que o biodiesel de óleos residuais apresentou um aumento de 19,30% no consumo específico total em relação ao diesel mineral, enquanto biodiesel de soja apresentou um aumento de 13,64%. Tal resultado faz sentido, uma vez que o consumo específico do motor tem uma relação direta como o poder calorífico do combustível, superior no diesel mineral. Com relação às emissões de CO₂, enquanto o biodiesel de óleos residuais apresentou um aumento de 5,73% em relação ao diesel, o biodiesel de soja apresentou uma diminuição de 1,85%.

Uma pesquisa realizada pela CNT em 2009 avaliou a percepção das empresas em relação aos impactos das mudanças físicas ocorridas devido à adição de 4% do biodiesel no diesel comum. Segundo seus resultados, 23% das empresas declararam ter observado aumento do consumo de combustível após o início da adição. Além disso, 21% das empresas identificaram problemas nos motores, dentre os quais se destacam o aumento da troca de filtro de combustível e dos resíduos em bicos injetores e válvulas. A CNT recomenda uma limpeza nos tanques dos veículos antigos (cuja tecnologia não contempla os avanços existentes nos atuais), para que o novo combustível não traga inconvenientes à empresa.

Outro enfoque importante para avaliar as emissões diz respeito à sua contabilização durante todo o ciclo de vida do combustível, desde sua extração/ produção, até sua combustão. Este enfoque representa uma visão mais ampla do processo, já que não se refere apenas ao conteúdo de carbono do combustível, mas às emissões em todas as etapas da vida do combustível. A partir de 2000, poucos estudos se dedicaram a analisar as emissões do ciclo de vida do biodiesel. A Tabela 1 apresenta uma síntese dos resultados encontrados numa série de estudos analisados, indicando que ainda não há uma conclusão efetiva sobre o assunto.

Tabela 1 - Mudança nas emissões de Ciclo de vida dos GEE decorrente da substituição de diesel por biodiesel

Matéria-prima	Local	Variação (%)	Fonte
Óleo residual de cozinha	Austrália	-92	Beer et al., 2001.
Soja	USA	-78	Sheehan et al., 1998.
--	--	-78	Oliveira e Costa, s/d
Soja	Austrália	-65	Beer et al., 2001.
Gordura animal	Austrália	-55	Beer et al., 2001.
Canola	Austrália	-54	Beer et al., 2001.
Soja	Holanda	-53	Novem, 2003.
Soja	--	-41	Hill, 2006
Colza	Holanda	-38	Novem, 2003.
Colza	Alemanha	-21	Armstrong et al., 2002.
Algodão	--	-15	Altýn et al., 2001
Soja	Chile	38	Delucchi, 2006.
Soja	USA	53	Delucchi, 2006.
Soja	Japão	54	Delucchi, 2006.
Soja	Afr. Sul	78	Delucchi, 2006.
Soja, 2015	USA	173	Delucchi, 2003.
Soja	China	183	Delucchi, 2006.
Soja	Índia	183	Delucchi, 2006.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Uma comparação entre as emissões do ciclo de vida de biocombustíveis demonstra que há grande nível de incerteza, discordância e lacunas na literatura existente, uma vez que elas podem variar de acordo com:

- o país, devido às diferenças de cultivo, tipos e usos da terra para plantio de culturas e na quantidade e eficiência do uso de fertilizante;
- tipos de veículos, motores, condições das vias e características da viagem (perfil de velocidade e aceleração, modo de dirigir e características da rota);
- regime de operação (carga) e características do motor;
- tipo de matéria-prima utilizada para a fabricação do biodiesel (em geral, gordura animal é a mais interessante); e

- características do combustível de linha de base (diesel).

Em geral, a etapa de produção das matérias-primas para produção de biodiesel é a mais impactante em termos de emissões de GEE (devido basicamente às elevadas emissões de N₂O no campo – fertilizantes - e de carbono devido à mudança do uso do solo).

1.1.1. O Programa Nacional de Biodiesel

Independentemente do potencial de redução de emissões, o Brasil estabeleceu metas oficiais para inserção do biodiesel na matriz energética. As primeiras ações neste sentido foram tomadas no início dos anos 2000, através do Programa Brasileiro de Biocombustíveis (PROBIODIESEL), estabelecido pela Portaria MCT n^o 702/2002, sob a coordenação do MCT. Neste documento algumas vantagens ambientais foram citadas: economia de combustível; redução do teor de enxofre; redução de cerca de 2,5 t de CO₂ por metro cúbico de biodiesel; redução das emissões de poluentes (como monóxido de carbono – CO e hidrocarbonetos – HC) e de fumaça preta. Além disso, destaca-se o fato de ser um combustível biodegradável e renovável, favorecendo a diversificação da matriz energética (MCT, s/d).

Este programa foi adaptado e passou a chamar-se Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), lançado oficialmente pelo governo federal em dezembro de 2004. O PNPB é “um programa interministerial do Governo Federal que objetiva a implementação de forma sustentável, tanto técnica, como economicamente, a produção e uso do biodiesel, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda”.

Em 13 de janeiro de 2005 foi publicada a Lei n^o 11.097, que dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, altera Leis afins e dá outras providências. Além disso, estabelece a obrigatoriedade da adição de um percentual mínimo de 2% de biodiesel (B2) ao óleo diesel comercializado ao consumidor a partir de 2008 e de 5% (B5) a partir de 2013.

Devido à resposta da oferta, já em 2008 foi anunciada a intenção de antecipação da mistura B5 para 2010 (Bartholomeu, 2009). Para tanto, esta meta foi revista, sendo considerado um aumento de 1% a.a. até 2013, conforme abaixo:

- 01/julho/2008: B3 torna-se obrigatório;
- 01/julho/2009: B4 torna-se obrigatório; e
- 01/janeiro/2010: introdução do B5.

Segundo a ANP, citado por CTS (2010), a mistura B5 ajudará a reduzir em 3% a emissão de CO₂ da queima do combustível no Brasil. Já se indica a possibilidade de se atingir B20 nas regiões metropolitanas até 2015.

Como resposta, as montadoras brasileiras estão adaptando os motores de seus caminhões e ônibus novos para utilização do biodiesel. A lacuna neste processo refere-se à frota rodante, cuja tecnologia não está adaptada para receber o combustível e responder com o mesmo nível

de eficiência. Algumas transportadoras contatadas durante a realização desta pesquisa argumentam que a utilização do biodiesel aumenta os gastos com manutenção do veículo e reduz sua eficiência (aumenta o consumo médio de combustível).

2. METODOLOGIA

Para quantificar as emissões de CO₂ de diferentes percentuais de mistura de biodiesel no diesel, visando avaliar o potencial benefício resultante de tal política, foi adotada a Metodologia de linha de base e monitoramento aprovada pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) denominada “AM0090 - Modal shift in transportation of cargo from road transportation to water or rail transportation”.

Apesar de a metodologia ser aplicada, no caso da elaboração de projetos no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), para atividades que envolvam a mudança do transporte de cargas do modal rodoviário para o ferroviário ou aquaviário, ela foi adaptada e adotada como base para os cálculos das emissões de CO₂ neste estudo.

Os dados necessários para a realização do estudo foram coletados junto a algumas transportadoras de carga.

Os procedimentos metodológicos são apresentados a seguir.

2.1. Estimativa das emissões de GEE

A metodologia adotada preocupa-se com o cálculo do CO₂, principal fonte de emissão dos transportes. Outros gases de efeito estufa são desconsiderados, conforme ilustra a Tabela 2.

Tabela 2 - Tipos de gases de efeito estufa – GEE considerados nas estimativas de emissões

GEE	Estimativa na emissão de GEE	Justificativa
CO ₂	Sim	Principal fonte de emissão
CH ₄	Não	Geralmente são excluídos dos cálculos, já que são inexpressivos.
N ₂ O		

Fonte: UNFCCC. Approved baseline and monitoring methodology AM0090. 2010.

Para as estimativas de emissão de GEE no modal rodoviário, a mesma metodologia sugere a seguinte sequência de cálculo:

2.1.1 Estimativa de Emissões de Linha de Base

$$BE_y = T_y \cdot AD \cdot EF_{BL} \cdot 10^{-6} \quad (1)$$

Onde:

BE_y = Emissões de linha de base no ano y (tCO₂);

T_y = quantidade de carga transportada pelo modal de transporte rodoviário no ano y (toneladas);

AD = Distância percorrida (km);

EF_{BL} = Fator de emissão de linha de base para o transporte de carga (g CO₂/t.km).

2.1.2 Estimativa do Fator de Emissão da Linha de Base

$$EF_{BL} = \frac{\sum_i FC_{BL,i,y} \cdot NCV_{i,y} \cdot EF_{CO_2,i,y} \cdot F_{RT,BL}}{T_y \cdot AD} \quad (2)$$

Onde:

EF_{BL} = Fator de emissão de linha de base para o transporte de carga (g CO₂/t.km);

$FC_{BL,i,x}$ = Quantidade do combustível i consumido pelos caminhões no ano y (litros ou m³);

$EF_{CO_2,i,x}$ = Fator de Emissão de CO₂ do combustível i consumido pelos caminhões no ano y (g CO₂/GJ);

$NCV_{i,x}$ = Valor do poder calorífico médio do combustível i consumido pelos caminhões no ano y (GJ por litro ou m³);

$F_{RT,BL}$ = Fator para viagens de retorno não-vazias no cenário de linha de base (fração);

T_x = Quantidade de carga transportada pelo modal de transporte rodoviário no ano y (toneladas);

AD = Distância percorrida (km);

Observação: se o combustível é misturado com bicomcombustível, o fator de emissão da mistura (%) deve ser calculado assumindo um fator de emissão igual a zero para o bicomcombustível.

2.1.3 Fator para viagens de retornos não-vazias no cenário linha de base

$$F_{RT,BL} = \frac{T_x \cdot AD}{T_x \cdot AD + T_{RT,x} \cdot RTD_x} \quad (3)$$

Onde:

$F_{RT,BL}$ = Fator para viagens de retorno não-vazias no cenário de linha de base (fração);

T_x = Quantidade de carga transportada pelo modal de transporte rodoviário no ano y (toneladas);

AD = Distância percorrida (km) ;

$T_{RT,x}$ = Quantidade de carga transportada em caminhões em viagem de retorno no ano y (toneladas) ;

RTD_x = Distância percorrida em viagens de retorno no ano y (km).

2.2 Pesquisa e Coleta de dados primários

Durante o ano de 2010, foi realizado levantamento de dados primários junto a uma série de transportadoras de carga líquida a granel, totalizando uma amostra de 145 veículos. Os dados coletados dizem respeito a:

- Quantidade de carga transportada pelo modal de transporte rodoviário em 2009 (t);
- Distância percorrida em 2009 (km);
- Quantidade de diesel consumido pelos caminhões em 2009 (litros);
- Quantidade de carga transportada em caminhões em viagem de retorno em 2009 (t); e
- Distância percorrida em viagens de retorno em 2009 (km).

Informações sobre os fatores de emissão do diesel e do biodiesel foram obtidas a partir da literatura. A Tabela 3 sumariza os dados utilizados nas estimativas de emissão.

Tabela 3 - Valores dos parâmetros utilizados no modelo

Parâmetro	Valor Assumido/detalhe	Fonte
Distância (km)	52.103.110	Informado pelas transportadoras
Quantidade transportada (t)	1.404.192.095	Informado pelas transportadoras
Consumo médio (km/l)	2,135 km/l	Obtido a partir da média do consumo informado pelas transportadoras
Viagem de retorno	1	Não há (informado pelas transportadoras)
Blend Biodiesel	B3	
Fatores de Emissão	Diesel: 2.750 g CO ₂ /litro	Bartholomeu, D.B. Tese de Doutorado
	Biodiesel: 2.499,06 g CO ₂ /litro	GHG Protocol

Fonte: Resultados da pesquisa, a partir de levantamento de dados primários e secundários.

Além disso, também foram considerados, para efeitos de cálculos, os parâmetros para os veículos de carga descritos na Tabela 4.

Tabela 4 - Caracterização dos Caminhões Amostrados

Cavalo	Potência (cv)	Composição	Capacidade Total* (litros)
Toco	300-320	Reboque	8.000 - 20.000
Trucado 6x4	300-320	Reboque	24.000
Trucado	350-440	Bitrem	36.000 - 42.000

* Importante destacar que a capacidade varia segundo a densidade do produto transportado.

Fonte: Resultados da pesquisa

3. RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para os cálculos das estimativas de potencial de mitigação de emissão pelo aumento do teor de biodiesel no diesel, foi considerada como linha de base a mistura B3 (ou seja, 3% de biodiesel no diesel), uma vez que é a mistura atualmente em vigor. A partir de desta linha de base, foram feitas simulações para as estimativas das emissões de B5, B10, B20, B50, B80 e B100.

Os resultados estão descritos na Tabela 5 e podem ser visualizados na Figura 1. Como esperado, conforme o percentual de biodiesel aumenta, as emissões (total e média) diminuem. Entretanto, a redução das emissões é pouco significativa frente ao esforço necessário para aumentar o teor do biodiesel no diesel.

Tabela 5 - Emissão de GEE em função da alteração do teor de biodiesel no Diesel

Combustível	Emissão total (t CO₂)	Emissão fracionada (g CO₂/t produto)
Linha de Base - B3	66.771,6	47,55
B5	66.649,5	47,46
B10	66.344,0	47,25
B20	65.733,0	46,81
B50	63.900,2	45,51
B80	62.067,3	44,20
B100	60.845,4	43,33

Fonte: Resultados de Pesquisa

Apenas cerca de 4% das emissões são mitigadas quando o teor do biodiesel aumenta de 3% para 50% no diesel. Mesmo utilizando biodiesel puro (B100), o potencial de mitigação corresponde a apenas 8,71% em relação à linha de base.

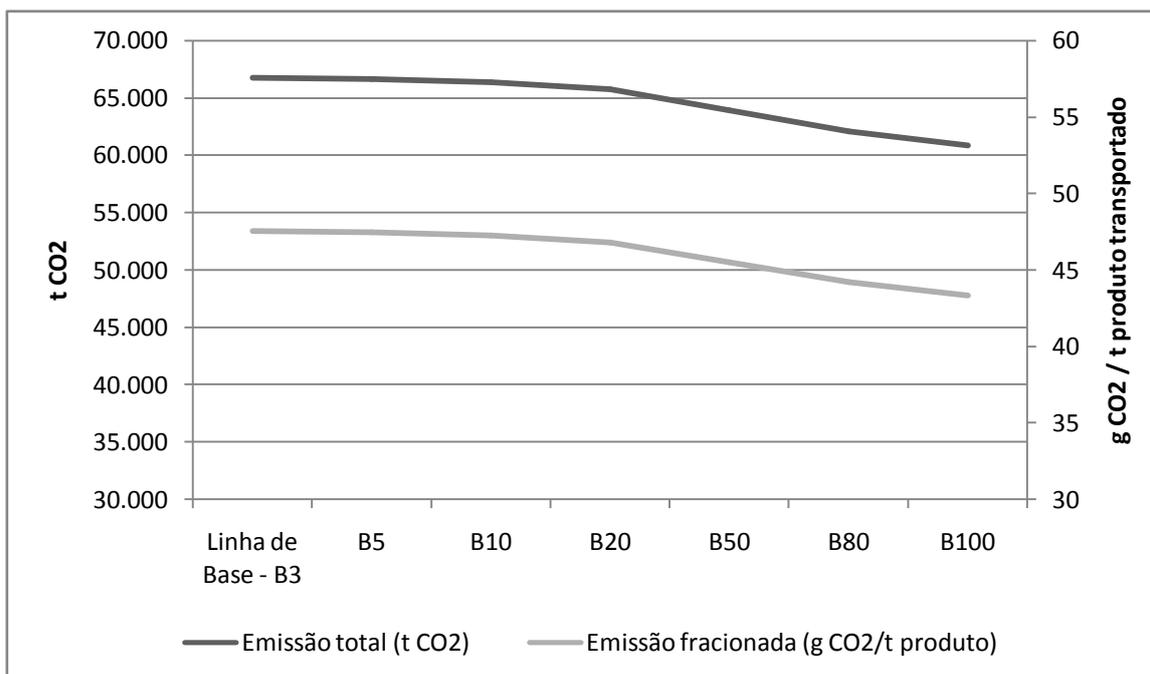


Figura 1 - Simulação com alteração do teor de biodiesel na mistura Diesel-Biodiesel.

Fonte: Resultados da pesquisa

Este resultado se deve, em grande parte, pelo aumento do consumo de combustível resultante do progressivo aumento do biodiesel na mistura com o diesel. Isso indica que a tecnologia ainda precisa ser melhor adaptada para tais mudanças, de modo que permita, de fato, um ganho de eficiência e produtividade no transporte, aumentando o potencial de mitigação do biodiesel. Caso contrário, o enorme esforço que vem sendo despendido em favor dos benefícios ambientais esperados do biodiesel acabarão sendo questionados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARMSTRONG, A.P.; BARO, J.; DARTOY, J.; GROVES, A.P.; NIKKONEN, J.; RICKEARD, D.J.; THOMPSON, N.D.; LARIVÉ, J-F. *Energy and Greenhouse Gas Balance of Biofuels for Europe: An Update*. 2002. CONCAWE report, n.2/02, april. Brussels: Concawe. <http://www.senternovem.nl/mmfiles/26601_tcm24-124161.pdf>.
- BARTHOLOMEU, D.B. *Agroenergy and Natural Resources*. In: DARCE, M.A.; VIEIRA, T.M.F.S.; ROMANELLI, T.L. (orgs.) *Agroenergy and Sustainability*. Edusp: São Paulo. 2009. 277 p.
- BARTHOLOMEU, D.B. *Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras*. Tese de Doutorado, Piracicaba-SP. 2006.
- BEER, T.; GRANT, T.; MORGAN, G.; LAPSZEWICZ, J.; ANYON, P.; EDWARDS, J.; NELSON, P.; WATSON, H. WILLIAMS, D. *Comparison of transport Fuels: Biodiesel*. 2001. Final Report (EV45A/2/F3C) submitted to the Australian Greenhouse Office on the Stage 2 study of Life-cycle emissions analysis of alternative fuels for heavy vehicles. <<http://www.greenhouse.gov.au/transport/comparison/>>.
- BRASIL. *Lei nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005*. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. Disponível em: http://www.biodiesel.gov.br/docs/lei11097_13jan2005.pdf.

- BRASIL. *Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel - PNPB*. Disponível em: <http://www.biodiesel.gov.br>. Acesso em: ago.2010.
- CNT; SEST/SENAT. *A adição do biodiesel e a qualidade do diesel no Brasil*. Despoluir: Programa Ambiental do Transporte. s/d.
- DELUCCHI, M.A. *Lifecycle analyses of biofuels*. Draft manuscript. Institute of Transportation Studies. University of California, Davis. maio 2006. Disponível em: <http://www.its.ucdavis.edu/people/faculty/delucchi/#LifecycleEmissions>.
- DELUCCHI, M.A. *A Lifecycle Emissions Model (LEM): Lifecycle emissions from transportation fuels, motor vehicles, transportation modes, electricity use, heating and cooking fuels, and materials*. Documentation of Methods and Data. UCT-ITS-RR-03-17 Main Report, Institute of Transportation Studies, University of California Davis. December, 2003. Disponível em <http://repositories.cdlib.org/itsdavis/UCD-ITS-RR-03-17/>
- HILL, J.; NELSON, E.; TILMAN, D.; POLASJY, S.; TOFFANY, D. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America – PNAS*. vol. 103; no. 30; jul. 2006. Disponível em: <http://www.pnas.org>.
- IEA - International Energy Agency; OECD – Organization for Economic Co-operation and Development. *Transport, energy and CO₂: moving toward sustainability*. Executive summary. 2009. 400p.
- IEA - International Energy Agency. *Transport Energy Efficiency: Implementation of IEA Recommendations since 2009 and next steps*. Paris: 2010. 60p.
- IEA - International Energy Agency; OECD – Organization for Economic Co-operation and Development. *Saving Oil and Reducing CO₂ Emissions in Transport: Options and Strategies*. Paris: 2001.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA - MCT. *Programa Brasileiro de Biocombustíveis*.
- OLIVEIRA, L.B.; COSTA, A.O. *Biodiesel: Uma experiência de Desenvolvimento sustentável*. IVIG/COPPE/UFRJ. Disponível em: http://www.ivig.coppe.ufrj.br/pbr/proj_biodiesel.htm.
- SANTOS, D.C.; PEIXOTO, L.B.; TORRES, E.A. *Análise de Emissões e de Consumo Específico de um Motor Diesel Operando com Biodiesel de Soja e de Óleos e Gorduras Residuais*. 2º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel. Brasília, 2007.
- SHEEHAN, J., CAMOBRECO, V.; DUFFIELD, J.; GRABOSKI, M.; SHAPOURI, H. *An Overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycles*. National Renewable Energy Laboratory Report NREL/TP-580-24772, May, 1998. Disponível em <http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24772.pdf>.
- TELES, F.; MANGUEIRA, D.S.; MUNDIM, A. *Análise de gases e opacidade em frota cativa utilizando Biodiesel B20*. 1º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel. Brasília, 2006.
- UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. Approved baseline and monitoring methodology AM0090. Disponível em: [http://cdm.unfccc.int/filestorage/E/P/I/EPIKA71TZ59YHGQU42WB8LXDSOJCMR/Untitled%20\(uploaded%2021%20Sep%2010%2009%3A48%3A26\).pdf?t=THB8MTMwOTY1MDc1OS42OA==|O5C1cVz3RToSgIqco8vy_E9tmjI=](http://cdm.unfccc.int/filestorage/E/P/I/EPIKA71TZ59YHGQU42WB8LXDSOJCMR/Untitled%20(uploaded%2021%20Sep%2010%2009%3A48%3A26).pdf?t=THB8MTMwOTY1MDc1OS42OA==|O5C1cVz3RToSgIqco8vy_E9tmjI=)

Email de contato dos autores

¹ Av. Pádua Dias, 11. CEP: 13.418-900. Piracicaba/SP

Fone: 19 3429-4580

dbbartho@esalq.usp.br

² thiago.pera@usp.br

³ jvcaixet@esalq.usp.br