

Journal of Transport Literature



Todo o conteúdo deste periódico, exceto onde está identificado, está licenciado sob uma Licença Creative Commons. Fonte:

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2238-10312012000200013&lng=pt&tln g=pt. Acesso em: 17 set. 2020.

REFERÊNCIA

CRUVINEL, Rodrigo Rosa da Silva; PINTO, Paulo Victor Hermetério; GRANEMANN, Sérgio Ronaldo. Mensuração econômica da emissão de CO₂ da frota dos transportadores autônomos de cargas brasileiros. **Journal of Transport Literature**, Manaus, v. 6, n. 2, p. 234-252, abr./jun. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S2238-10312012000200013>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2238-10312012000200013&lng=pt&tln g=pt. Acesso em: 17 set. 2020.

Mensuração econômica da emissão de CO₂ da frota dos transportadores autônomos de cargas brasileiros

[Economic measurement of CO₂ emission from fleet of Brazilian independent cargo carriers]

Rodrigo Rosa da Silva Cruvinel*, Paulo Victor Hermetério Pinto,
Sérgio Ronaldo Granemann

Universidade de Brasília (UNB), Brazil

Submitted 30 Oct 2011; received in revised form 16 Dec 2011; accepted 26 Jan 2012

Resumo

O trabalho tem como objetivo mensurar os possíveis benefícios ambientais e econômicos advindos do estímulo a renovação da frota de caminhões dos transportadores autônomos de cargas brasileiros. O artigo foca dois pontos específicos: a redução das emissões de CO₂ e do consumo de óleo diesel. Será utilizado o modelo Top Down para cálculo das emissões de CO₂.

Palavras-Chave: emissão de CO₂; consumo de combustível; renovação de frota; método top-down; transportadores autônomos.

Abstract

The research aims at measuring the possible environmental and economic benefits generated by renewing the Brazilian autonomous truck fleet. The article focuses on two specific points: the reduction of CO₂ emissions and also the diminution of diesel consumption. The Top Down model will be used for calculating the CO₂ emissions.

Key words: CO₂ emission; fuel consumption; fleet renewal; top-down method; independent carriers.

* Corresponding Author. Email: rodrigorosacruginel@gmail.com.

Recommended Citation

Cruvinel, R. R. S., Pinto, P. V. H. and Granemann, S. R. (2012) Mensuração econômica da emissão de CO₂ da frota dos transportadores autônomos de cargas brasileiros. Journal of Transport Literature, vol. 6, n. 2, pp. 234-252.

■ JTL|RELIT is a fully electronic, peer-reviewed, open access, international journal focused on emerging transport markets and published by BPTS - Brazilian Transport Planning Society. Website www.transport-literature.org. ISSN 2238-1031.

This paper is downloadable at www.transport-literature.org/open-access.

1. Introdução

Os caminhões são utilizados, a nível mundial, como um dos principais meios de transporte para movimentação de cargas. De forma a aumentar a eficiência, eficácia e reduzir inúmeras externalidades produzidas, tais veículos adotaram inúmeras inovações tecnológicas. Do ponto de vista mecânico, estas tecnologias produziram um impacto positivo muito alto: obteve-se um menor consumo de combustíveis e lubrificantes (como óleo diesel, entre outros); foram adotados novos materiais e formas na composição de sua estrutura, mais resistentes e seguras em caso de acidentes; menores impactos ambientais com a imposição de metas de redução da emissão de gases poluentes (como CO₂, CO, dióxido de enxofre entre outros) e material particulado (OECD, 2011).

A frota brasileira de caminhões possui idade média bastante elevada, atingindo aproximadamente 19 anos, idade essa que não proporciona a maioria dos veículos existentes no Brasil acesso as novas tecnologias já desenvolvidas. O Panorama RNTRC 2008 (ANTT, 2009) identifica três tipos principais de operadores no transporte rodoviário brasileiro de cargas sob remuneração. Cada um deles tem diferentes idades médias para suas frotas de caminhões (Tabela 1).

Tabela 1 - Idade média dos veículos de tração (apenas caminhão e caminhão-trator)

Operador	Idade média
Transportador autônomo de cargas (TAC)	22,82 anos
Empresa de transporte rodoviário de cargas (ETC)	12,02 anos
Cooperativa de transporte rodoviário de cargas (CTC)	15,68 anos
Média nacional	18,85 anos

A idade média nacional está bem acima da idade econômica estimada para a frota brasileira de caminhões, que é de 8 anos (Pereira e Rocha, 2006 *apud* Ronchi, 2011). A situação é especialmente grave na categoria do Transportador Autônomo de Cargas (TAC), a qual apresenta uma idade média de uso de 22,82 anos, bem superior às idades médias apresentadas pelas ETC e CTC.

A idade avançada da frota de caminhões no Brasil é um problema que o governo tem conhecimento e vem adotando políticas públicas na busca de solucioná-lo. Na maioria das

vezes com ações específicas e com prazo de ação limitado para financiamento dos novos veículos (novos ou usados), tais como o Modercarga, o BNDES Caminhões e o Procaminhoneiro (Arruda, 2010).

A operação de veículos com idades avançadas gera ônus financeiro e ambiental bastante significativo, pelo fato de empregarem tecnologias antigas, poluidoras e pouco eficientes em relação ao consumo energético. Estes ônus são também chamados de externalidades negativas e afetam a sociedade como um todo, impactando na qualidade de vida e na saúde das pessoas. Esses veículos emitem elevadas quantidades de dióxido de carbono (CO₂), principal gás de efeito estufa (IPEA, 2000), e outros gases, como monóxido de carbono (CO), óxido de nitrogênio (NO_x), materiais particulados e outros.

A determinação das quantidades de emissões de CO₂ por parte da frota de caminhões dos transportadores autônomos de cargas será o objeto de estudo deste trabalho. Apesar de não ser considerado um gás poluente, é um gás que provoca o efeito estufa. Como tal, os gases de efeito estufa poderão comprometer o ritmo da atividade econômica do país, já que “[...] poderão causar grandes impactos sobre a economia em decorrência da adaptação do meio ambiente diante do aquecimento do clima” (IPEA, 2000, p.12). E, em razão do CO₂ e da água (H₂O) serem produtos naturais oriundos da queima de combustíveis fósseis, não há perspectivas em relação à substituição do dióxido de carbono como principal elemento do efeito estufa. (IPEA, 2000).

Tendo essas premissas, o presente trabalho se propõe a medir os impactos econômicos na quantidade de óleo diesel consumida e das emissões de CO₂ oriundos da renovação da frota de caminhões autônomos no Brasil. Para tal, esse artigo desenvolve um estudo empírico com base no método *Top Down*, utilizado para cálculo de emissões de gás carbônico. No desenvolvimento do artigo verifica-se que a renovação de frota reduziria o consumo nacional anual de óleo diesel em um bilhão de litros e a emissão de quase três milhões toneladas de CO₂ por ano.

O artigo inicia-se com uma revisão bibliográfica sobre os métodos de cálculo de emissões de CO₂, no qual são apresentando três métodos: Método *Top-down*, Método *NTM* e o Método *Bottom-up*. Na seção seguinte do artigo há uma aplicação empírica do Método *Top Down* na qual são utilizados dados: consumo nacional de óleo diesel consumido pelo segmento

rodoviário no ano 2008, para obter a projeção da quantidade de CO₂ emitido no referido ano, além da projeção. Somente após este procedimento e amparado por dados do Programa Despoluir da Confederação Nacional do Transportes, em que é apresentada a participação percentual da frota de caminhões na emissão nacional de CO₂, foi possível calcular a estimativa do consumo anual de diesel da frota de caminhões brasileira. Na seção seguinte, foram utilizados dados de 2008 do Panorama RNTRC, para obter a separação do consumo de combustível por idade da frota. *A posteriori*, é feita a estimativa econômica com a substituição de caminhões autônomos de carga, para um cenário fictício de substituição de todos os caminhões com idade igual ou superior a trinta anos. Por fim, na conclusão, são apresentadas as externalidades econômicas e ambientais negativas, mensuradas em valores, que o Brasil sofre anualmente por não ter uma ação mais restritiva em relação a circulação de caminhões com elevada idade-média.

2. Métodos para cálculo da emissão de CO₂

Alguns métodos para cálculo do CO₂ produzidos por veículos automotores são disponíveis na literatura. Dentre eles, três métodos destacaram-se pela sua aplicabilidade: *Top Down*, *Bottom Up* e *NTM*. Os dois primeiros foram desenvolvidos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), ligado a Organização das Nações Unidas (ONU), e o último pela organização não-governamental sueca *Network for Transport and Environment National Transport Model*.

2.1. Método *Top-Down*

A metodologia *Top-Down*, apresentada por Mattos (2001), baseia-se nas emissões de dióxido de carbono (CO₂) tendo como item para cálculo os dados de produção e consumo de energia, não importando a forma como a energia é consumida. O método é composto por seis passos lógicos, sustentados por equações para o cálculo da emissão real de CO₂. O primeiro passo é utilizado para efetuar o Cálculo do Consumo de Energia (CC), o qual é definido pela equação a seguir:

$$CC = CA \times F_{\text{conv}} \times 45,2 \times 10^{-3} \times F_{\text{corr}} \quad (1)$$

Onde:

- Consumo Aparente do Combustível (CA) por $45,2 \times 10^{-3}$, para transformar a quantidade de energia de 1 tEP brasileiro para terajoule (TJ). O tEP é “o fator de conversão da unidade física de medida da quantidade de combustível para tonelada equivalente de petróleo, com base no poder calorífico superior (PCS) de combustível” (Macêdo, 2004, p.6);

- Fator de Conversão (F_{conv}), que varia de acordo com o combustível utilizado;

- Fator de Correção (F_{corr}), que muda de acordo com a fase química que se encontra o combustível.

O segundo passo é o cálculo da Quantidade de Carbono (QC), que é mensurada pela multiplicação do consumo de energia (CC), pelo Fator de Emissão de Carbono (F_{emiss}) e por 10^{-3} , para obter o resultado em gigagramas de carbono (GgC).

$$QC = CC \times F_{emiss} \times 10^{-3} \quad (2)$$

O terceiro passo consiste no cálculo da Quantidade de Carbono Fixado (QCF). Ele é medido quando os combustíveis são utilizados para fins não energéticos, tais como para a fabricação de plásticos, asfalto e até mesmo quando são utilizados como lubrificantes (Mattos, 2001). O cálculo consiste na multiplicação da quantidade de carbono (QC) pela Fração de Carbono Fixado (FCFix), parâmetro que varia de acordo com o combustível empregado.

$$QCF = QC \times FCFix \quad (3)$$

O quarto passo é o cálculo das Emissões Líquidas de Carbono (ELC). A ELC representa um balanço de massa entre o que existe de carbono no combustível menos a quantidade de carbono fixado em usos não energéticos, apresentado no passo 3. O cálculo é feito através da subtração da quantidade de carbono (QC) e a quantidade de carbono fixado (QCF).

$$ELC = QC - QCF \quad (4)$$

O quinto passo consiste no cálculo das Emissões Reais de Carbono (ERC). A ERC estabelece que nem todo o carbono existente no combustível será oxidado, razão esta pela qual é necessário realizar a correção da emissão de carbono encontrada. Este fator de correção varia

de acordo com cada combustível. Diante disso, a ERC é calculada pela multiplicação das emissões líquidas de carbono (ELC) pela Fração de Carbono Oxidada (FCO) do combustível empregado.

$$ERC = ELC \times FCO \quad (5)$$

O sexto passo é o cálculo das Emissões Reais de CO₂ (ERCO₂). O cálculo é feito tendo como base a quantidade de carbono existente em uma molécula de CO₂. Para tal, são multiplicadas as emissões reais de carbono (ERC) pela razão do peso molecular do dióxido de carbono e do carbono.

$$ERCO_2 = ERC \times [44/12] \quad (6)$$

2.2. Método *Bottom-up*

O método *Bottom-up* é complementar ao método *Top Down*. Ele pode ser feito quando se têm “dados locais detalhados e confiáveis sobre a tecnologia de motorização utilizada, qualidade do combustível, consumo, quilometragem, fatores de emissão levantados em laboratórios locais, estado de manutenção da frota etc., para cada subgrupo de veículos com características similares” (Álvares Jr e Linke, 2001, p.4). A grande vantagem do método *Bottom-up* é que ele permite que sejam estudados diversos outros gases, além do CO₂. Conforme expõe Mattos (2001, p.97), o cálculo é realizado por meio das equações a seguir:

$$\text{“Emissões}_i = FE_{iabc} \times \text{Atividade}_{abc} \quad (7)$$

Em que:

- “Emissões”_i são as emissões de um gás i;
- “FE” é o fator de emissão do gás i;
- “Atividade” é a quantidade de energia consumida ou distância percorrida por uma determinada atividade de uma fonte móvel;
- “i” é o gás em questão (CO₂, CO, NO_x, CH₄ etc.);
- “a” é o tipo de combustível utilizado;

- “b” é o tipo de veículo (caminhão, automóvel leve, ônibus etc.);
- “c” é o controle de emissão”.

2.3. Método NTM

O método NTM foi desenvolvido na Europa e é utilizado para calcular o impacto ambiental dos diversos tipos de transporte de forma detalhada (Loo, 2009). Neste método são definidos três níveis de detalhamento, sendo o primeiro nível o mais baixo e o terceiro o mais elevado:

Tabela 2 – Níveis de detalhamento do método NTM

Nível	Itens considerados
1	Idade média do veículo, tipo de motor, tipo de combustível e a utilização média de carga do veículo.
2	Diferenças entre os modelos de veículos, definição da utilização média dos motores, tipo de combustível e a capacidade média de carga do veículo.
3	Cálculo da emissão de dióxido de carbono de cada tipo de veículo de uma companhia.

Para realizar os cálculos são necessários softwares desenvolvidos pela própria NTM. O método é bastante apropriado para realizar o cálculo de emissão de CO₂ quando se possui dados detalhados do sistema que se deseja estudar, e por poder ser aplicado aos diversos modais de transporte: rodoviário, ferroviário, aquaviário e aéreo.

3. Aplicação do método *Top Down* à frota brasileira de caminhões

Para realizar o cálculo de emissão de CO₂ foi escolhido o método *Top Down*. Este é o único dos métodos apresentados que pode ser utilizado com os dados disponíveis.

Assim, o consumo anual de óleo diesel do setor rodoviário brasileiro, divulgado no Balanço Energético Nacional 2010 – base 2009 (EPE, 2010), foi utilizado para o desenvolvimento dos cálculos. O ano de 2008 foi adotado para o estudo porque contém os dados mais recentes da frota nacional de caminhões publicados no Panorama RNTRC 2008 (ANTT, 2009).

Primeiramente, calcula-se o Consumo de Energia (CC). O parâmetro do Consumo Aparente do Combustível (CA) foi de 34.977 milhões de m³, no ano de 2008. O Fator de Conversão (F_{conv}) é igual a 0,848 e o Fator de Correção (F_{corr}) é igual a 0,95, pois o diesel está na fase líquida (MME, 1999 *apud* Mattos, 2001). Com isso, tem-se:

$$CC = 34.977 \times 10^3 \times 0,848 \times 0,95 \times 45,2 \times 10^{-3} = 1.273.621,698 \text{ TJ} \quad (8)$$

Em seguida, é necessário calcular a Quantidade de Carbono (QC). Para isso, adotou-se o Fator de Emissão de Carbono do óleo diesel (F_{emiss}) igual a 20,2 tC/TJ (IPCC, 1996 *apud* Mattos, 2001). Realizando os cálculos, tem-se obtém-se:

$$QC = 1.273.621,698 \times 20,2 \times 10^{-3} = 25.727,1583 \text{ GgC} \quad (9)$$

Depois, calcula-se a Quantidade de Carbono Fixado (QCF). Entretanto, no caso estudado o óleo diesel está sendo utilizado para fins energéticos, portanto a QCF é igual a zero (IPCC, 1996 *apud* Mattos, 2001).

$$QCF = 25.727,1583 \times 0 = 0 \text{ GgC} \quad (10)$$

No quarto passo são calculadas as Emissões Líquidas de Carbono (ELC). Porém, no caso em estudo os valores das emissões serão iguais à Quantidade de Carbono (QC), já que a Quantidade de Carbono Fixado (QCF) é igual a zero. Então,

$$ELC = 25.727,1583 - 0 = 25.727,1583 \text{ GgC} \quad (11)$$

Passando para o cálculo das Emissões Reais de Carbono (ERC), quinto passo do método, foi adotada a Fração de Carbono Oxidada (FCO) igual a 0,99 (IPCC, 1996 *apud* Mattos, 2001). Portanto,

$$ERC = 25.727,1583 \times 0,99 = 25.469,88672 \text{ GgC} \quad (12)$$

O sexto e último passo do método é o cálculo das Emissões Reais de CO₂ (ERCO₂).

$$ERCO_2 = 25.469,88672 \times (44/12) = 93.389,58465 \text{ GgCO}_2 \quad (13)$$

Convertendo o ERCO₂ para toneladas temos o total de 93.389.584,65 tCO₂. Este valor de CO₂ é referente a todos os modais que utilizam o óleo diesel como combustível. Supondo que a frota de caminhões brasileira representa 44% destas emissões, segundo o Boletim Ambiental do Despoluir (CNT, 2011) que apresenta as emissões de CO₂ no transporte rodoviário por tipo de veículo, podemos estabelecer por meio desta proporção que a frota de caminhões teve um total de emissões de CO₂ em 2008 de 41.091.417,25 tCO₂.

Para encontrar o volume total de combustível consumido pela frota brasileira de caminhões, utilizamos novamente o método *Top-Down*, porém com o enfoque de cálculo no Consumo Aparente do Combustível (CA).

Assim, o total de emissões de CO₂ emitidos pela frota de caminhões brasileira em 2008 é igual a 41.091.417,25 tCO₂. Em consequência, foi adotado este valor como sendo o das Emissões Reais de CO₂ (ERCO₂). Passando o valor para gigagramas de carbono temos 41.091,41725 GgCO₂.

O segundo passo é o cálculo das Emissões Reais de Carbono (ERC), que terá as Emissões Reais de CO₂ (ERCO₂) para a base de cálculo. Portanto, teremos que:

$$\text{ERCO}_2 = \text{ERC} \times (44/12) \rightarrow 41.091,41725 = \text{ERC} \times (44/12) = 11.206,75016 \text{ GgC} \quad (14)$$

O terceiro passo do método *Top Down* é o cálculo das Emissões Líquidas de Carbono (ELC). Como fora anteriormente calculado, temos que a Fração de Carbono Oxidada (FCO) é igual a 0,99 (IPCC, 1996). Com isso,

$$\text{ERC} = \text{ELC} \times \text{FCO} \rightarrow 11.206,75016 = \text{ELC} \times 0,99 = 11.319,94965 \text{ GgC} \quad (15)$$

O quarto passo é o cálculo da Quantidade de Carbono (QC). O QC é igual às Emissões Líquidas de Carbono (ELC), pois a Quantidade de Carbono Fixado (QCF) é igual a zero. Teremos então,

$$\text{ELC} = \text{QC} = 11.319,94965 \text{ GgC} \quad (16)$$

O quinto passo é o cálculo do Consumo de Energia (CC). Como adotado anteriormente, o Fator de Emissão de Carbono (F_{emiss}) igual a 20,2. Com isso teremos,

$$\text{QC} = \text{CC} \times \text{Femiss} \times 10^{-3} \rightarrow 11.319,94965 = \text{CC} \times 20,2 \times 10^{-3} = 560.393,5473 \text{ TJ} \quad (17)$$

Por fim, tendo como base o Fator de Conversão (F_{conv}) igual a 0,848 e o Fator de Correção (F_{corr}) igual a 0,95 (MME, 1999 *apud* MATTOS, 2001), temos que o Consumo Aparente do Combustível (CA) será,

$$\text{CC} = \text{CA} \times \text{Fconv} \times 45,2 \times 10^{-3} \times \text{Fconv}$$

$$560.393, 5473 = CA \times 0,848 \times 45,2 \times 10^{-3} \times 0,95$$

$$CA = 15.389.880 \text{ m}^3 \quad 18)$$

Tem-se, portanto, que o consumo total de óleo diesel, em 2008, pela frota de caminhões brasileiros foi de 15.389.880.000 litros.

4. Cálculo do consumo de óleo diesel da frota de caminhões do Brasil em 2008

Tendo em vista que a frota total de caminhões (FrC), considerando apenas os veículos de tração (caminhões simples e trator), é de 1.062.071 caminhões (ANTT, 2009), é possível calcular o consumo de combustível anual por caminhão (CCC), no ano base de 2008. Tal procedimento é feito dividindo-se o CTC pelo FrC:

$$CCC = CTC_{\text{frota}} / \text{FrC} \rightarrow CCC = 15.389.880.000 / 1.062.071 = 14.490, 44367 \text{ litros} \quad (19)$$

Em seguida, foi utilizada a quantidade de caminhões em função de sua idade média (QCI) publicada pelo Relatório RNTRC 2008 (ANTT, 2009), dado da Tabela 3, e o consumo anual por caminhão (CCC), para estimar a distância média anual percorrida por cada caminhão, em 2008.

Tabela 3 - Quantidade de veículos rebocáveis, segundo a idade.

Idade dos veículos de tração	TAC	%	ETC	%	CTC	%	Geral	%
Até 1 ano	607	0,1%	1.720	0,4%	5	0,1%	2.332	0,2%
De 2 a 5 anos	36.334	5,4%	115.701	29,8%	928	21,6%	152.963	14,4%
De 6 a 10 anos	64.825	9,7%	101.675	26,2%	754	17,5%	167.254	15,8%
De 11 a 15 anos	80.899	12,1%	63.144	16,3%	727	16,9%	144.770	13,6%
De 16 a 20 anos	81.439	12,2%	33.276	8,6%	506	11,8%	115.221	10,9%
De 21 a 25 anos	104.364	15,6%	26.852	6,9%	449	10,4%	131.665	12,4%
De 26 a 30 anos	129.502	19,3%	22.816	5,9%	448	10,4%	152.766	14,4%
> 30 anos	171.833	25,7%	22.780	5,9%	487	11,3%	195.100	18,4%
Total	669.803	100%	387.964	100%	4.304	100%	1.062.071	100%

Para calcular a média de consumo de acordo com a idade da frota, tomou-se como base a pesquisa de 2006 da *Verband der Automobilindustrie* (OECD, 2011), a qual apresenta o consumo médio de acordo com a idade de um caminhão europeu com capacidade para transportar quarenta toneladas (Figura 1). Vale ressaltar que as características da frota europeia podem ser consideradas semelhantes às da frota brasileira, dado que a maior parte

dos caminhões brasileiros é produzida por empresas européias e as normas brasileiras Proconve de emissão de poluentes são inspiradas nas normas Euro de emissão de poluentes, adotadas pela União Européia.

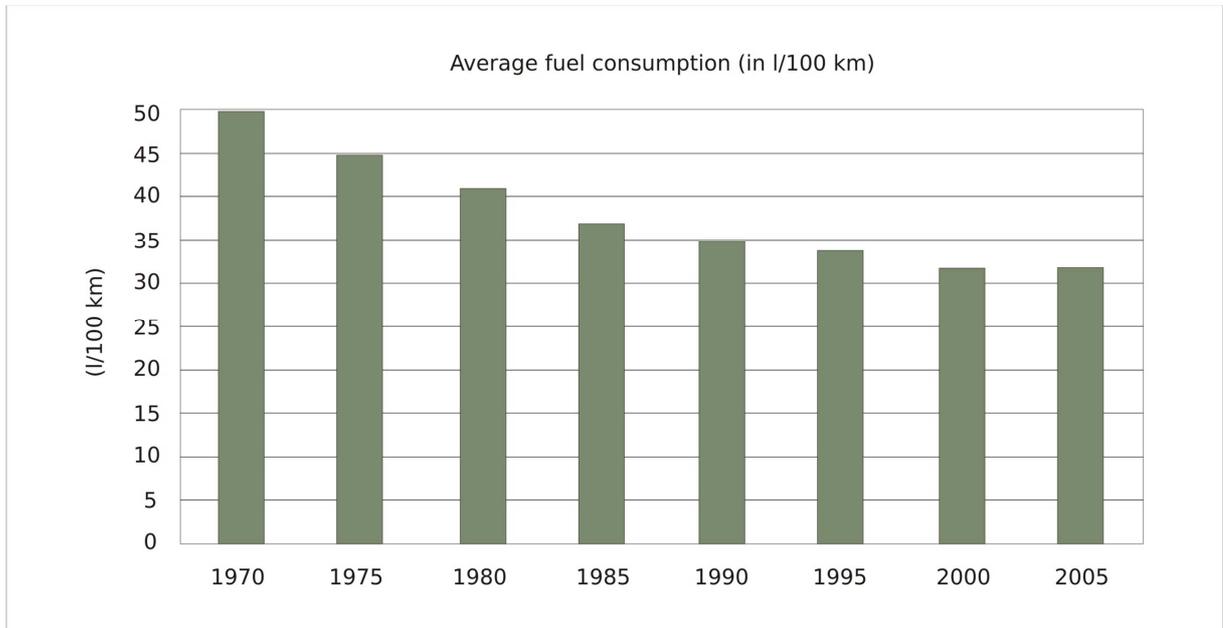


Figura 1 - Evolução do consumo médio de um caminhão de 40 toneladas em 100 Km.

Generalizando este consumo para toda a frota de caminhões brasileira, é possível fazer uma média ponderada do consumo de acordo com a idade da frota, de forma a calcularmos a distância média percorrida por cada caminhão no Brasil, no ano de 2008 (Tabela 4).

Tabela 4 - Cálculo do consumo médio da frota de caminhões no Brasil em 2008.

Faixa de idade	L/100 Km	Km/L	Frota (unid.)	Frota (unid.) x Km/L
1 ano (2008)	32	3,20	2332	7462,4
2 a 5 anos (2003-2007)	32	3,20	152963,3525	489482,7279
6 a 10 anos (1998-2002)	33	3,20	167254,3589	535213,9483
11 a 15 anos (1993-1997)	34,5	2,94	144770,2835	425624,6336
16 a 20 anos (1988-1992)	36	2,85	115221,2074	328380,441
21 a 25 anos (1983-1987)	39	2,70	131665,225	355496,1076
26 a 30 anos (1978-1982)	43	2,43	152766,2522	371221,9927
acima de 30 anos (abaixo de 1977)	45	2,10	195100,3153	409710,662
			média km/l da frota	2,751786757

Tem-se então que a média de consumo de óleo diesel por caminhão no Brasil, no ano de 2008, foi de 2,75 Km/litro. Como já foi estabelecido o consumo anual de 14.490,44367 litros, pode-se afirmar que cada caminhão percorreu uma distância média de 39.848,71 Km em 2008, no Brasil.

O consumo de combustível de acordo com a idade do caminhão é apresentado no Gráfico 1. Neste estudo foi considerada somente a frota pertencente aos transportares autônomos de cargas (TAC). Logo, é possível estabelecer o consumo total de combustível dos transportadores autônomos em 2008 dividindo a quilometragem média anual (km_{med}) pelo consumo médio de combustível (Km/L), e posteriormente multiplicando pela quantidade de TAC existentes em cada ano. Com isso, o consumo anual de óleo diesel do TAC em 2008 foi de 10.427.020.868,34 litros ou de 10.427.020,87 m³.

Tabela 5 - Consumo médio da frota de TAC no Brasil em 2008.

Idade dos Veículos de Tração	TAC	km_{med}	Cons. km/l	Frota TAC (unid.) x km/l	%
até 1 ano	607	39.848,71	3,20	7.558.802,18	0,09%
2 a 5 anos	36.334	39.848,71	3,20	452.457.196,61	5,42%
6 a 10 anos	64.825	39.848,71	3,20	807.247.695,55	9,68%
11 a 15 anos	80.899	39.848,71	2,94	1.096.503.670,17	12,08%
16 a 20 anos	81.439	39.848,71	2,85	1.138.680.383,76	12,16%
21 a 25 anos	104.364	39.848,71	2,70	1.540.285.470,53	15,58%
26 a 30 anos	129.502	39.848,71	2,43	2.123.657.466,01	19,33%
> 30 anos	171.833	39.848,71	2,10	3.260.630.183,54	25,65%
Total	669.803	-	-	10.427.020.868,35	100,00%

Realizando procedimento similar pode-se encontrar o consumo total de combustível das demais categorias de transportadores apresentadas pelo Panorama RNTRC (ANTT, 2009): de empresas de transporte autônomo de carga (ETC) e de cooperativas de transporte rodoviário de carga (CTC). Os resultados são apresentados nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6 - Consumo médio da frota de ETC no Brasil em 2008.

Idade dos Veículos de Tração	ETC	km _{med}	Cons. km/l	Frota TAC (unid.) x km/l	%
até 1 ano	1.720	39.848,71	3,20	21.418.681,625	0,44%
2 a 5 anos	115.701	39.848,71	3,20	1.440.792.373,659	29,82%
6 a 10 anos	101.675	39.848,71	3,20	1.266.130.496,641	26,21%
11 a 15 anos	63.144	39.848,71	2,94	855.852.702,122	16,28%
16 a 20 anos	33.276	39.848,71	2,85	465.265.148,758	8,58%
21 a 25 anos	26.852	39.848,71	2,70	396.302.800,341	6,92%
26 a 30 anos	22.816	39.848,71	2,43	374.151.509,202	5,88%
> 30 anos	22.780	39.848,71	2,10	432.263.625,619	5,87%
Total	387.964	-	-	5.252.177.338	100,00%

Tabela 7 - Consumo médio da frota de CTC no Brasil em 2008.

Idade dos Veículos de Tração	CTC	km _{med}	Cons. km/l	Frota TAC (unid.) x km/l	%
até 1 ano	5	39.848,71	3,20	62.264	0,12%
2 a 5 anos	928	39.848,71	3,20	11.556.126	21,56%
6 a 10 anos	754	39.848,71	3,20	9.389.352	17,52%
11 a 15 anos	727	39.848,71	2,94	9.853.746	16,89%
16 a 20 anos	506	39.848,71	2,85	7.074.894	11,76%
21 a 25 anos	449	39.848,71	2,70	6.626.693	10,43%
26 a 30 anos	448	39.848,71	2,43	7.346.593	10,41%
> 30 anos	487	39.848,71	2,10	9.241.106	11,32%
Total	4.304	-	-	61.150.773	100,00%

O consumo total para as três categorias de transportadores foi de 15.740.348.979 litros de óleo diesel, em 2008 (EPE, 2010). Já o total de combustível consumido em 2008, calculado por meio do método *Top-Down*, foi de 15.389.880.000 litros de óleo diesel. Assim, o cálculo de consumo apresentado possui um pequeno erro de 2,28%.

5. Estimativa econômica da substituição de caminhões velhos do TAC

O governo brasileiro implementou ao longo dos anos algumas políticas públicas para que o segmento acelerasse o processo de renovação da frota de veículos pesados. Uma primeira experiência foi apresentada pelo programa Modercarga, iniciado em 2003 com um orçamento de R\$ 2 bilhões. Um segundo programa, o BNDES Caminhões, foi lançado em 2005 com 3,4 bilhões de reais de orçamento, como uma continuação do Modercarga. Por fim, em 2006 foi lançado pelo governo federal o programa de renovação de frota Procaminhoneiro, com um orçamento inicial de R\$ 500 milhões. Programa que teve ampliações de seu orçamento e vigência contratual, sendo disponibilizados R\$ 12,5 bilhões para financiamentos até 31 de dezembro de 2012 (BNDES, 2011). Destaca-se que com este último programa, até o final de 2010, foram mais de R\$ 7 bilhões dos recursos disponíveis, cujos principais clientes atendidos foram as microempresas. O financiamento a pessoas físicas, características no qual os Transportadores Autônomos de Cargas (TAC) se enquadram, não chegou a R\$1,5 bilhões no programa Procaminhoneiro até novembro de 2010 (CNT, 2010a).

Para reforçar a necessidade de se criar programas de renovação de frota focados no TAC, foi estimado o consumo de combustível desta categoria. Para tal, foi utilizado como base o consumo total de combustível de 10.427.020,86834 m³/ano. Informação necessária para que se conseguisse calcular o total de emissões de CO₂ do TAC. Efetuando os seis passos descritos no tópico 2, conclui-se que as emissões reais de CO₂ (ERCO₂) são iguais a 27.840,44221 GgC, ou 27.840.442,21 tCO₂.

Considerando um cenário hipotético, no qual o governo brasileiro implementasse de maneira eficiente uma política pública de substituição de todos os caminhões dos transportadores autônomos com idade superior a 30 anos por caminhões novos, chega-se aos dados consumo de combustível apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Consumo total de combustível excluindo-se os caminhões do TAC com mais de 30 anos.

Idade dos Veículos de Tração	TAC	Km _{med}	Km/L	Consumo/Categoria	%
até 1 ano	172.440	39.848,71	3,20	2.147.347.360,125	25,74%
2 a 5 anos	36.334	39.848,71	3,20	452.457.196,606	5,42%
6 a 10 anos	64.825	39.848,71	3,20	807.247.695,547	9,68%
11 a 15 anos	80.899	39.848,71	2,94	1.096.503.670,167	12,08%
16 a 20 anos	81.439	39.848,71	2,85	1.138.680.383,751	12,16%
21 a 25 anos	104.364	39.848,71	2,70	1.540.285.470,533	15,58%
26 a 30 anos	129.502	39.848,71	2,43	2.123.657.466,016	19,33%
> 30 anos	0	39.848,71	2,10	0,000	0,00%
Total	669.803	-	-	9.306.179.242,750	100,00%

Neste cenário as emissões totais da frota de transportadores autônomos atinge 24.847,76 GgCO₂ ou 24.847.763,22 t CO₂. Há também uma economia de 1.120.841.618 litros de óleo diesel/ano.

Para mensurar o benefício ambiental advindo da redução das emissões de CO₂, adotou-se a unidade internacional de créditos de carbono. Esta medida, instaurada pelo Protocolo de Kyoto, considera que as toneladas de CO₂ que deixam de ser emitidas ou que foram retiradas da atmosfera por um país, poderão ser negociadas no mercado mundial, criando um novo atrativo para a redução das emissões globais (Cenamo, 2004). Assim, neste trabalho convencionou-se que 1 tonelada de CO₂ é igual a um crédito de carbono. Para realizar o cálculo foi considerada a cotação de um crédito de carbono comercializado na *ICE Future Europe Exchange*, de Londres, em 27 de maio de 2011, no valor de 16.53 euros (Bloomberg, 2011). Também foi considerada a cotação do câmbio de 13 de junho de 2011 divulgada pelo Banco Central do Brasil, em que 1 euro equivale a R\$ 2,29. Sabendo que a frota atual e a frota de caminhões autônomos que exclui os caminhões com idade superior a 30 anos emitem, respectivamente, 27.840.442,21 t CO₂ e 24.847.763,22 t CO₂, chega-se a um benefício ambiental anual fictício de R\$ 113.283.973,40 (Tabela 9).

Tabela 9 - Benefício ambiental com a retirada de caminhões do TAC acima de 30 anos (R\$)

Emissão de CO ₂ da Frota Atual de Caminhões autônomos (t CO ₂)	27.840.442,21
Emissão de CO ₂ da Frota Fictícia Caminhões autônomos (t CO ₂)	24.847.763,22
Redução na Emissão de CO ₂ (t CO ₂)	2 992 679,01
Cotação da t CO ₂ (em R\$)	37,8537
Benefício ambiental anual fictício (R\$)	113.283.973,40

No âmbito dos benefícios econômicos é possível relacionar a redução no consumo de combustível. No cenário fictício considerado neste artigo, há uma redução no consumo de combustível de 1.120.841.625,59 litros de óleo diesel. Considerando o preço médio do litro de óleo diesel de R\$ 2,00 (CNT, 2010b), obtém-se uma economia anual de R\$ 2.241.683.250,00 (Tabela 10). Este valor não leva em conta outros benefícios econômicos advindos da operação de uma frota mais nova, tais como a redução no tempo de viagem, a redução do custo de manutenção, a redução na perda de cargas, a melhoria nas condições de tráfego na pista, entre outras.

Tabela 10 - Cálculo da redução do consumo de combustível com a exclusão de caminhões do TAC acima de 30 anos

Consumo Frota Atual de Caminhões autônomos (l)	10.427.020.868,34
Consumo Frota Fictícia Caminhões autônomos (l)	9 306.179.242,75
Redução no Consumo (l)	1.120.841.625,59
Valor do litro de óleo diesel (R\$)	2,00
Benefício econômico anual fictício (R\$)	2.241.683.250,00

Conclusão

É de suma importância a implementação de políticas públicas para a renovação da frota de caminhões autônomos. Este estudo mostra que a economia gerada pela substituição de caminhões com idade superior a 30 anos por caminhões novos atinge o montante de R\$ 2.354.967.223,00 por ano. Esse valor inclui apenas os parâmetros de emissão de gás carbono e de consumo de óleo diesel. Além destes, outros fatores impactam direta e indiretamente a sociedade brasileira e toda a cadeia produtiva nacional. Em um viés socioambiental, pode-se relacionar a redução das emissões de gases poluentes e de efeitos estufa e de material

particulado, já que os veículos novos obedecem a normas ambientais rígidas. Como expõem Ladeira (2010), tais normas se tornarão ainda mais exigentes com a entrada em vigor em 2012 da Fase P-7 do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - Proconve, estabelecido pela Resolução CONAMA 403/2008. Tal fase é similar ao controle de emissão de poluentes Euro V adotado pela União Européia, e impõe limites em média 87% mais restritivos se comparados com a Fase P-2 do Proconve para a emissão de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxido de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP). Estas reduções impactam diretamente no sistema de saúde brasileiro, porque quanto menor a poluição, menor a probabilidade de danos a saúde, em especial ao trato respiratório.

Do ponto de vista econômico, vale frisar que veículos mais novos estão em melhor estado de conservação, na grande maioria dos casos. Isto acarreta redução dos custos de manutenção do veículo, redução do tempo do caminhão parado para realizar a manutenção, menor probabilidade de acidentes em razão da má manutenção do veículo, entre outros benefícios. Destaca-se que os veículos antigos retirados de circulação podem ser reciclados, a exemplo do que acontece em países como a Suécia e a Espanha, diminuindo o impacto ambiental, e gerando emprego e renda.

É importante lembrar que esse estudo é limitado por considerar apenas o consumo de combustível e emissão de CO₂. Não foram considerados possíveis benefícios com relação ao preço do frete e ao impacto que isso traria para os preços dos produtos finais ou como que a eficiência desse modal poderia beneficiar as exportações brasileiras, uma vez que o transporte de carga rodoviário é o mais utilizado no Brasil. Sob o ponto de vista de segurança viária, a renovação da frota e as novas tecnologias advindas dela trazem dispositivos de segurança que proporcionariam uma redução do número de acidentes que envolvem caminhões. Vertente que está em voga porque ela é a causa de mais de 1,2 milhões de mortes no mundo, no qual de 20 a 50 milhões de pessoas sofrem traumatismos não fatais anualmente, de acordo com o relatório da Organização Mundial da Saúde (2009). Por fim, quando analisado o ponto de vista ambiental, o trabalho enfoca apenas a redução das emissões de gás carbônico. O impacto ambiental da renovação de frota é mais complexo, uma vez que têm diversos gases e elementos que podem ser analisados, como a redução da emissão do: monóxido de carbono; dióxido de enxofre; material particulado; entre outros. Destaca-se que as implicações

ambientais também são preocupações de outros modos de transporte, como o aéreo, conforme apresentam os estudos de Araújo (2008) e de Bastos (2007).

Tendo em vista que o presente estudo é limitado, sugerimos que sejam estudados outros pontos que aprofundassem as consequências ambientais, econômicas e sociais advindas da renovação da frota impactaria. A reciclagem de caminhões usados, a melhoria da eficiência de transporte e logística ao se utilizar uma frota renovada, as consequências na segurança viária, quais estratégias e formas de abordagem podem ser adotadas pelos atores para que o tema consiga visibilidade na sociedade e no governo, entre outros. O campo de ação na área é amplo. Todas elas, no entanto, vão de encontro a sensibilizar o governo para a urgência do tema que tanto traz externalidades negativas e penalizam a sociedade brasileira.

REFERÊNCIAS

- Álvares Jr, O.M. e Linke, R.R.A. (2001) *Metodologia Simplificada de Cálculo das Emissões de Gases do Efeito Estufa de Frotas de Veículos no Brasil*. CETESB, São Paulo. Disponível em <http://www.ambiente.sp.gov.br/proclima/PDF/inventario_efeitoestufa.pdf>. Acesso em 14/06/2011.
- ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. (2009) *Panorama RNTRC 2008*. Universidade de Brasília, CEFTRU, Brasília.
- Araújo, G. S. (2008) Modelagem e Mensuração do Nível de Emissões por Etapa de Vôo. *Journal of Transport Literature*, vol. 2, n. 2, pp. 24-41.
- Arruda, B.D.L. (2010) *Análise dos Programas Nacionais de Financiamento para Renovação de Frota dos Transportadores Autônomos*. Dissertação de Mestrado em Transportes, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.
- Bastos, A. L. D., Baum, D. M. e Dias, D. P. (2007) *Ruídos e Emissões no Transporte Aéreo*. *Journal of Transport Literature*, vol. 1, n. 1, pp. 66-104.
- BCB – Banco Central do Brasil. (2011) *Taxa de câmbio*. Disponível em <<http://www.bcb.gov.br>>. Acesso em 13 de junho de 2011.
- Bloomberg. (2011) *EU CO₂ Falls to Lowest Since May 27, May Drop Further, OTC says*. Disponível em <<http://www.bloomberg.com/news/2011-06-08/eu-co2-falls-to-lowest-since-may-27-may-drop-further-otc-says.html>>. Acesso em 14/06/2011.
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2011) *Circular nº 47/2011 – Programa BNDES de Financiamento a Caminhoneiros – BNDES Procaminhoneiro*. Rio de Janeiro, 17 de novembro de 2011. Disponível em <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/produtos/downloads/Circ047_11.pdf>. Acesso em 14 de dezembro de 2011.
- Cenamo, M.C. (2004) *Mudanças Climáticas, o Protocolo de Quioto e Mercado de Carbono*. CEPEA, ESALQ-USP. Disponível em <http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/protocolo_quioto.pdf>. Acesso em 14/06/2011.

- CNT – Confederação Nacional de Transportes. (2010a) *Informe Econômico do Setor de Transportes – Procaminhoneiro*. Edição 005, Dezembro de 2010. Disponível em <<http://www.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Informe%20Econômico/InformeEconomico05-2010.pdf>>. Acesso em 14/12/2011.
- CNT – Confederação Nacional de Transportes. (2010b) *Informe Econômico do Setor de Transportes – Combustíveis*. Edição 002, Novembro de 2010. Disponível em <<http://www.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Informe%20Econ%C3%B4mico/InformeEconomico02-2010.pdf>>. Acesso em 14/06/2011.
- CNT – Confederação Nacional de Transportes. (2011) *Revista CNT Transporte Atual*. Ano XVI, nº186, fev.2011. p.76.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. (2010) *Balanço Energético Nacional 2010: Ano base 2009*. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2010.pdf>. Acesso em 06/06/2011.
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. (2000) *O Efeito Estufa e o Setor Energético Brasileiro*. Texto para discussão nº 719. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em <http://www.ipea.gov.br/pub/td/td_2000/td0719.pdf>. Acesso em 14/06/2011.
- Ladeira, V. (2010) *A Fase P-7 e os Seus Impactos no Setor de Transportes*. III Encontro Anual da Equipe Técnica do Despoluir. Rio de Janeiro. Disponível em <<http://www.cntdespoluir.org.br/Downloads/A%20Fase%20P7%20do%20Proconve%20e%20os%20seus%20impactos%20no%20Setor%20de%20Transporte.pdf>>. Acesso em 14/06/2011.
- Loo, R. (2009) *A Methodology for Calculating CO₂ Emissions From Transport and an Evaluation of the Impact of European Union Emission Regulations*. Partial fulfillment of the requirements for the degrees of Master Science in Operations Management and Logistics. Technische Universiteit Eindhoven. Disponível em <<http://alexandria.tue.nl/extra1/afstversl/tm/te%20Loo%202009.pdf>>. Acesso em 24/05/2011.
- Macêdo, R.F. (2004) *Inventário de Emissões de Dióxido de Carbono (CO₂) Geradas por Fontes Móveis no Estado do Rio Grande do Norte – Período de Janeiro de 2003 a Junho de 2004*. Holos, ano 20, outubro/2004. Disponível em <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/35/36>>. Acesso em 30/06/2011.
- Mattos, L.B.R. (2001) *A Importância do Setor de Transportes na Emissão de Gases do Efeito Estufa – o Caso do Município do Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado em Ciências em Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- OECD – Organization for Economic Co-operation and Development. (2011) *Moving Freight with Better Trucks: Improving Safety, Productivity and Sustainability*. OECD Publishing. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1787/9789282102961-en>>. Acesso em 07/06/2011.
- OMS – Organização Mundial da Saúde. (2009) *Relatório Mundial Sobre o Estado da Segurança Rodoviária*. Organização Mundial da Saúde. Gênova, Suíça.
- Ronchi, R.D.C. (2011) *Mensuração do Custo Social Subjacente à Atual Frota Autônoma de Caminhões da Agropecuária Nacional*. Dissertação de Mestrado em Transportes, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.