

Participação do consumo de diesel no transporte rodoviário nos óbitos por doenças respiratórias: uma abordagem na cidade do Rio de Janeiro

RODRIGO RODRIGUES DE FREITAS

CEFET - CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA - RJ

THIAGO SAGAWÉ

CEFET - CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA - RJ

ARYANE CRISTINE DANTAS DE MOURA

CEFET - CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA - RJ

Participação do consumo de diesel no transporte rodoviário nos óbitos por doenças respiratórias: uma abordagem na cidade do Rio de Janeiro

Resumo

Objetivo do trabalho: O artigo busca verificar o impacto na adição do biodiesel no consumo de diesel no transporte rodoviário e sua relação entre dióxido de carbono e material particulado na participação de óbitos por doenças respiratórias.

Originalidade: Não existe pesquisa anterior que utiliza uma abordagem *top-down* para verificar a influência do transporte em doenças respiratórias ao nível de cidades.

Método de pesquisa: O planejamento utilizou um modelo híbrido do GHG *Protocol* e o GLEC *Framework* de acordo com a necessidade da cidade, e ANOVA para projeção e simulação dos dados.

Principais Conclusões: A adição de biodiesel, acima de 7% no diesel, não é um fator determinante como redutor de mortes por doenças respiratórias, contudo, o material particulado, principalmente proveniente dos pneus e freios, tem a maior participação no aumento de doenças respiratórias.

Implicações para teoria e prática: Futuras pesquisas devem verificar a participação dos modos de transportes no aumento de doenças respiratórias e intensificar o uso de materiais menos nocivo na fabricação de pneus e freios.

Palavras-Chave: Transporte sustentável, Diesel e Biodiesel, Doenças respiratórias.

1. Introdução

Os impactos gerados pela poluição nas emissões de gases no transporte rodoviário contribuem para o aumento de doenças respiratórias em todo mundo. A emissão de gases nocivos ao meio ambiente e a concentração de pessoas nos grandes centros urbanos facilita o aparecimento de doenças com características provenientes da utilização de combustíveis fósseis. Segundo Glaeser e Kahn (2010), as emissões de dióxido de carbono (CO₂) de um automóvel são em média 50 vezes maior do que as emissões per capita de um motorista de ônibus. A poluição externa foi responsável por 20 mil mortes no Brasil e 1,15 milhões em todo mundo, correspondendo a cerca de 2% do total de óbitos (WHO, 2009 e Öberg et al, 2010). No Brasil, o uso de combustível oriundo do petróleo para o transporte é responsável

por emitir 204 MtCO_{2e}, a parcela dedicada ao uso do diesel é 55% ou 112 MtCO_{2e} (Ferreira et al, 2017).

O monitoramento da emissão de poluentes atmosféricos foi atribuído ao Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE, 2011), desenvolvido em 1986. O principal objetivo foi promover o desenvolvimento tecnológico, na utilização de combustíveis com menor grau de poluentes com acompanhamento e controle das emissões, assim como, conscientizar a população quanto à questão da poluição do ar por veículos automotores. O programa incentivou a adição de biodiesel ao diesel como forma de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), gases poluentes e material particulado (MP). Esse processo ocorreu com a autorização do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE, 2019), a adição de 2% em 2005, 3% em 2008, 4% em 2009, 5% em 2010, 6% em 2014 e 7% em 2015, sabendo que no corrente ano, o volume obrigatório é de 10% com aumento progressivo até 2023, chegando a 15%.

Entretanto, deve-se mensurar o impacto da adição do biodiesel no diesel e verificar a efetividade em relação a redução de óbitos por doenças respiratórias (ODR) no local de residência do paciente, pois entende-se a saúde pública como principal beneficiário dos resultados positivos esperados da adição do biodiesel. Segundo Van der Horst e Vermeylen (2011), a adição do biodiesel possui impactos positivos e negativos na redução de gases poluentes. Silva et al (2017), destaca os efeitos da adição de biodiesel em teste de Tukey, em até 20% de éster metílico de soja, apresentou bons resultados. O biodiesel é promissor, pois é fonte de energia renovável e não precisa realizar muitas adaptações na motorização, pois as emissões são menos nocivas ao meio ambiente.

A maior vantagem do biodiesel está na relação do balanço energético, razão da energia total gerada pelo biocombustível e a energia fóssil investida na produção (SOARES et al, 2009). De acordo com Macedo, Seabra e Silva (2008), Urquiaga, Alves e Boddey (2005) e Boddey (2008), a eficiência na aplicação da energia fóssil para a geração de energia gerada pelo biocombustível é nove vezes maior. O biodiesel é um substituto para o diesel, uma vez que o carbono emitido na combustão é absorvido durante o crescimento das plantas que fornecem o óleo. Mora, Torres e Valero (2015), Rajaeifar (2017), destacam que a utilização do biodiesel de *used cook oil* (UCO) pode reduzir em até 88% dos gases de efeito estufa e eliminar resíduos poluentes. Segundo Guo et al. (2016), a utilização de veículos elétricos híbridos (HEV)

com treinamento em *Eco-driving*, pode alcançar bons resultados, principalmente, combinado com a utilização de *Global Positioning System* (GPS) e um *Geographical Information System* (GIS). A adição do biodiesel, apresenta algumas desvantagens, como baixa estabilidade à oxidação, alta viscosidade, menor eficiência térmica e maior emissão de NOx. (Devarajan, Munuswamy e Mahalingam, 2017; CNPE, 2019).

Segundo Senna et al. (2016) e Servero et al. (2015), evidencia os benefícios da substituição do biodiesel por diesel, como ganho ambiental, e a importância da utilização de um recurso natural para a agricultura. Ainda Teles et al. (2016), considera a sustentabilidade como um fator competitivo.

A proposta da pesquisa é verificar a participação das emissões de CO₂ e MP provenientes dos transportes, e sua relação com os óbitos por doenças respiratórias. O procedimento internaliza o uso do biodiesel como fonte de redução das emissões nos anos e proporções permitidos, comparando os ODR através do método de regressão. A primeira seção a justificativa da pesquisa, na segunda parte a relação dos ODR e adição de biodiesel, na terceira seção apresenta o processo metodológico de verificação nas emissões em cidades, quarta seção demonstra a aplicação e resultado, e por última a conclusão.

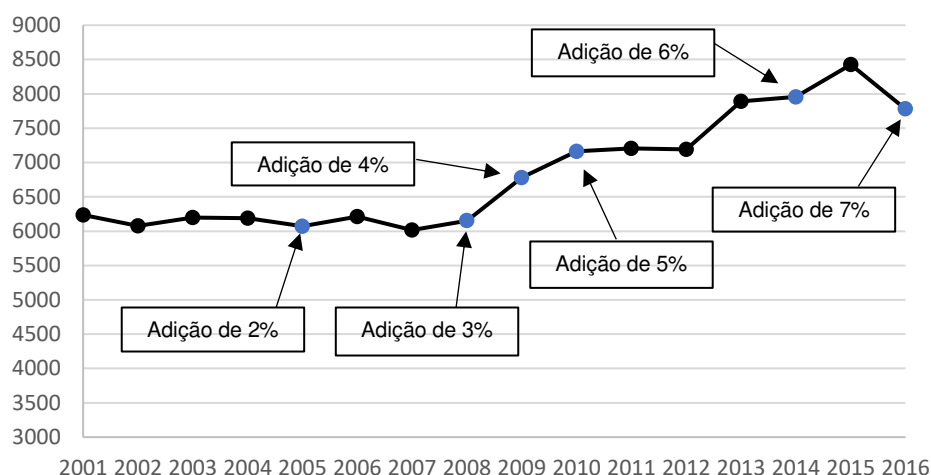
Impactos do diesel em transporte na cidade do Rio de Janeiro.

A pesquisa se concentrou na cidade do Rio de Janeiro com população de 6,32 milhões de pessoas e uma densidade de 5.573 hab/km² (IBGE, 2010), pois observou que houve uma redução no consumo de diesel e um aumento de ODR na classificação Internacional de Doenças CID-10BR (X73 – X77) ou CID-10 (J00-J99). A adição de biodiesel tem o objetivo de reduzir as emissões de gases poluentes, pois o fator de emissão é menor do que diesel combustível. Deve-se verificar o impacto do diesel consumido no transporte, em relação as ODR. Segundo Khreis, May e Nieuwenhuijsen (2017), os principais impactos que o transporte causa na saúde, em geral, ocorrem via motorização, poluição atmosférica por tráfego, ilhas de calor, falta de áreas verdes, inatividade física, alterações climáticas e exclusão social por concentração de poluição em determinado local.

O gráfico 1 e 2 destacam que ambas as curvas possuem comportamento semelhante até 2014, porém a adição de biodiesel no diesel não foi determinante para redução dos ODR, que neste caso, deve ser confrontada com as emissões de MP e

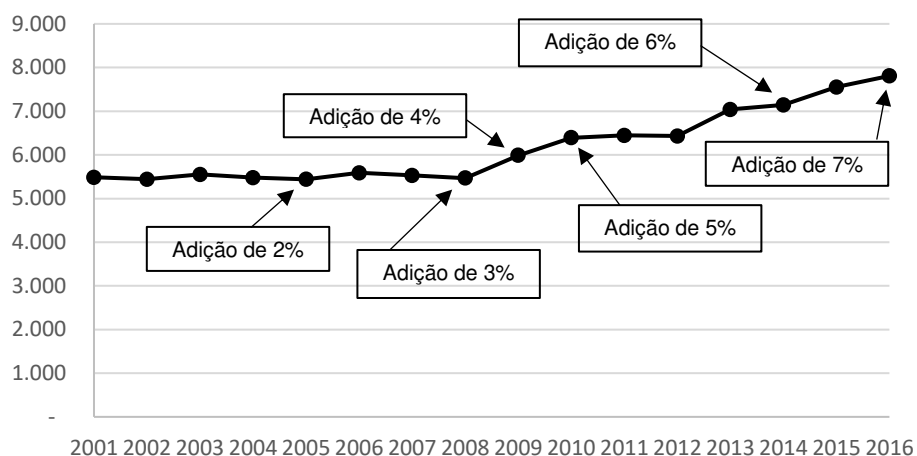
apurar a sensibilidade da mudança. A pesquisa direcionou esforços para mensurar a emissões de MP provenientes do consumo do diesel, freios, pneus e pista, visto que entre 2001 e 2016 houve um aumento de 136% na frota de veículos a diesel cadastrados na cidade do Rio de Janeiro.

Gráfico 1: Diesel (m³) consumido em transporte na cidade do Rio de Janeiro (2001 - 2016) e o período de adição de biodiesel.



Fonte: produção própria. Dados: Agência Nacional do Petróleo (ANP).

Gráfico 2: Óbitos por doenças respiratórias na cidade do Rio de Janeiro e o período de adição de biodiesel.



Fonte: produção própria. Dados: DataSus.

O aumento na venda de veículos rodoviários a diesel pode explicar parte das ocorrências de óbitos, pois os gases emitidos através de consumo dos combustíveis provenientes de fontes fósseis são grandes causadores de doenças do sistema respiratório. Segundo Arbex (2012), a explicação mais aceita é a alta concentração de oxidantes e pró-oxidante. Um estudo realizado por McCreanor et al. (2007) em

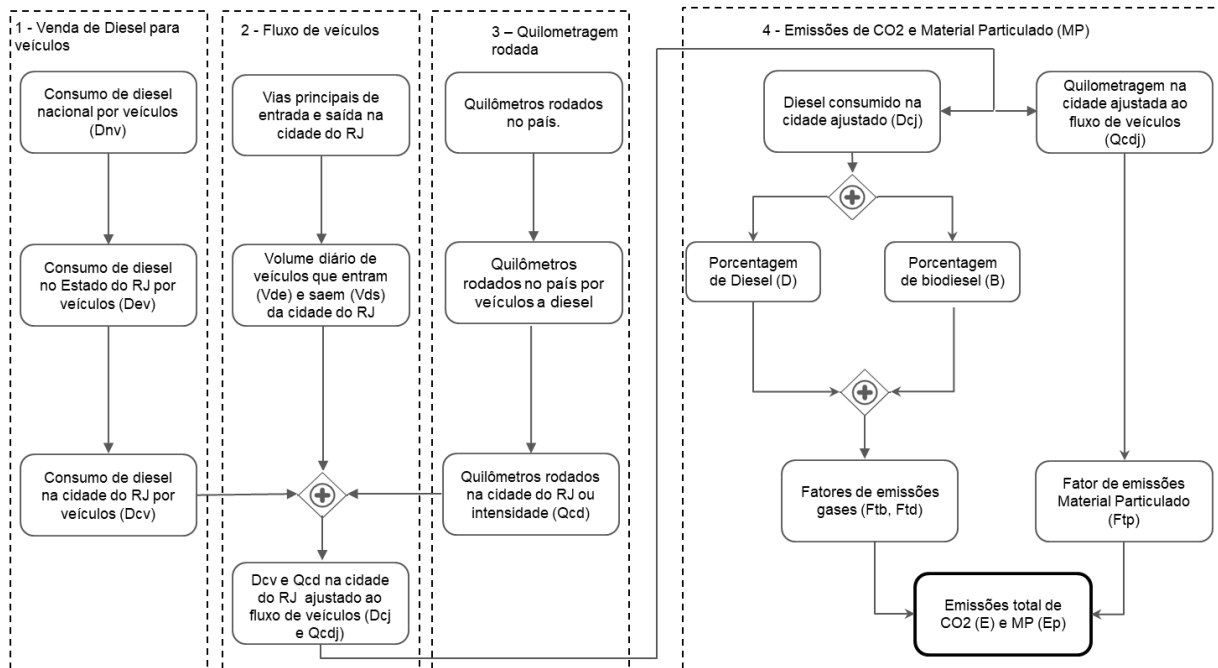
Londres, na Inglaterra, comparou parâmetros de funções pulmonares de 60 adultos portadores de asma leve ou moderada. Foram selecionados dois lugares distintos com maiores emissões de gases poluentes emitidos por veículos no transporte rodoviário. Duas horas de caminhada na Oxford Street, corredor comercial e tráfego intenso de veículos movido a diesel, e duas horas de caminhada pelo Hyde Park. As concentrações de MP_{2,5} e NO_x, eram 3,0 e 6,5 vezes maiores na Oxford Street do que no Hyde Park, respectivamente. A pesquisa apontou os males causando por veículos a diesel.

3. Metodologia

O objetivo da pesquisa é estimar os impactos da adição do biodiesel no diesel e relacionar com as ocorrências de ODR. Desta forma, deve-se pesquisar as emissões no consumo total de diesel em transporte na cidade do Rio de Janeiro e as consequências relacionadas aos ODR. O processo metodológico é desenvolvido através do volume de diesel consumido de forma regional e não da frota circulante de veículos, essa diferenciação é adequada para mensurar as emissões em cidades que não possuem dados da frota circulante e nem da curva de sucateamento. Segundo Dodman (2009) existem algumas falhas na padronização para realizar inventários, pois como foram feitos em anos diferentes, há uma dificuldade nas comparações de resultados.

A proposta é uma abordagem *top-down*, utilizando a metodologia do GHG *Protocol* (2006) e *GLEC Framework* (2016), pois as metodologias permitem adaptações conforme as características das cidades e dos dados. O procedimento divide-se em quatro partes indissociáveis para calcular as emissões de CO₂ e MP (combustível, freios, pneus e pista) conforme a figura 1.

Figura 1: Processo metodológico para mensurar as emissões de CO₂ e MP de forma regional a partir do volume de diesel no ano.



Fonte: produção própria. Legenda: Dnv = diesel nacional por veículos; Dev = diesel estadual por veículos, Dcv = diesel da cidade por veículos; Vde = veículos diário que entram na cidade; Vds = veículos diário que saem da cidade; Qcd = quilômetros rodados na cidade por veículos a diesel; Dcj = consumo de diesel na cidade ajustado; $Qcdj$ = quilometragem na cidade por veículos a diesel ajustado; D = diesel; B = biodiesel; Ftd = fator total das emissões de diesel; Ftb = fator total de biodiesel; Ftp = fator total de cada material particulado; E = emissões de CO_2 e Ep = Emissões totais de material particulado.

Venda de diesel para veículos

Na primeira etapa, é utilizada para mensurar o consumo de diesel na cidade, que dependendo do nível de confiabilidade da pesquisa, a obtenção dos dados a nível *bottom-up* é um incremento de confiabilidade no consumo de diesel de forma regional. De qualquer forma, o processo exemplifica a obtenção dos dados a nível nacional, utilizando a frota de veículos para calibrar; Cv , o consumo de diesel por veículos; Dv , para obter o volume total de diesel consumido por veículos, neste caso, desde o nível nacional, estados ou cidade, utiliza-se a nomenclatura a para um nível superior e b para um nível inferior.

$$Cv_a = \frac{Fd_a}{Ft_a} \quad (1)$$

$$Prop. comb_{b/a} = \frac{Fd_b}{Fd_a} \quad (2)$$

$$Dv_a = Cv_a * Dt_a \quad (3)$$

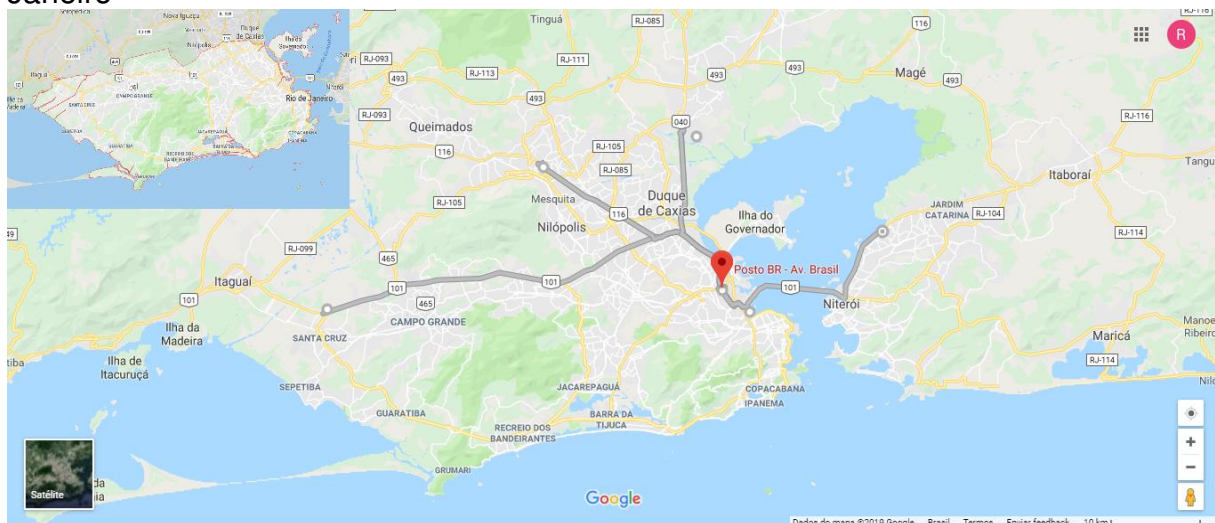
$$Dv_b = Prop.comb_{b/a} * Dv_a \quad (4)$$

Na primeira etapa, o principal objetivo é verificar o consumo de diesel por veículos nas cidades.

Fluxo de veículos

A segunda etapa é utilizada para calcular o fator de compensação entre o fluxo de entrada e saída de veículos rodoviários que consomem diesel na cidade. A pesquisa de contagem de tráfego foi realizada por uma equipe de quatro pessoas: duas duplas em cada fluxo, alternado cada uma por duas horas entre 06:00 até 10:00 e 16:00 até 20:00 na terça-feira, quarta-feira e quinta-feira durante quatro semanas no mês de setembro de 2018. O objetivo era calibrar os dados disponíveis na Companhia de Engenharia de Tráfego da cidade do Rio de Janeiro – CET-RIO. A escolha da localização foi a rodovia Avenida Brasil Km 4,2, pois é o ponto de maior tráfego entre a entrada e saída de veículos a diesel. A rodovia é confluência de outras quatro rodovias. A figura 2 demonstra as principais vias de entrada na cidade do Rio de Janeiro, o ponto marcado no mapa destaca o principal local de entrada na cidade com o maior fluxo.

Figura 2: Mapa com as principais rodovias de entrada e saída na cidade do Rio de Janeiro



Fonte: produção própria extraído do mapas 2019® Google. Ponto marcado em vermelho corresponde o local de pesquisa: avenida Brasil nº 4365 (-22.875164, -43.243091).

Os dados foram coletados no mês de setembro dos anos de 2016, 2017 e 2018, pela Companhia de Engenharia de Tráfego – CET-RIO, apresentado conforme a tabela 1. A discrepância entre as pesquisas foi de 5% no mesmo ponto do posicionamento global.

Tabela 1: Contagem de tráfego na Avenida Brasil nº4.320 de veículos de combustão a diesel.

Year	Vce	Vcs	Cv_c	Vde	Vds	Flx
2016	99.837	123.104	13,02%	12.996	16.025	0,8520%
2017	92.629	114.216	12,92%	11.970	14.759	0,7778%
2018	94.339	116.325	12,93%	12.196	15.038	0,7776%

Fonte: produção própria adaptada da CET-RIO. Legenda: Vce = volume diário de veículos que entram na cidade, Vcs = volume diário de veículos que saem da cidade, Cv_c = impacto da frota diesel na frota total da cidade, Vde = volume de veículos a diesel que entram na cidade, Vds = volume de veículos a diesel que saem, e Flx = fluxo de veículos a diesel na cidade.

O fator de fluxo de veículos é utilizado para determinar a compensação dos veículos que consomem diesel, uma vez abastecidos, emitem gases fora dos limites da cidade de abastecimento. Os dados demonstraram que, em média, o número de veículos a diesel reduz 0,8025% entre os veículos que entrem e saem na cidade do Rio de Janeiro. O item (5) exemplifica o fator do fluxo de veículo a diesel, Flx ;

$$Flx = \frac{Vds}{Vde} \quad (5)$$

Quilometragem rodada

A terceira etapa é calcular a quilometragem média por veículos a diesel na cidade, e realizar o ajuste conforme o fluxo de veículos a diesel. O dado necessário foi a quilometragem rodada na cidade ou a intensidade, Qr_c . No item (6) o resultado foi obtido através do produto da proporção do total de veículos a diesel na cidade pela quilometragem rodada nacional por veículos de consumo a diesel.

$$Qr_b = Qr_a * Prop.comb_{b/a} \quad (6)$$

Emissões de CO₂ e MP

O fator de fluxo de veículo é utilizado para compensar o volume real de veículos a diesel na cidade, desta forma, pode determinar o consumo de diesel ajustado na cidade Dvj_c , e a quilometragem rodada ajustada na cidade Qrj_c . O resultado é o produto do item (5) com o item (4) para o cálculo do consumo de diesel ajustado (7), e o produto do item (5) com o item (6) para quilometragem rodada ajustada (8).

$$Dvj_a = Flx_a * Dv_a \quad (7)$$

$$Qrj_a = Flx_a * Qr_a \quad (8)$$

Para calcular as emissões de CO₂ nas cidades que utilizam a adição de biodiesel no diesel, deve-se verificar a proporção e o fator de emissão de cada combustível da mistura nos anos e proporções permitidas.

$$CO_2(g) = Dvj_a[(\%D * Ftd) + (\%B * Ftb)] \quad (9)$$

Para calcular as emissões de MP nas cidades, deve-se verificar o fator de emissão de cada particulado (combustível, freios, pneus e pista) em relação a Qrj_a .

$$MP_{total}^{10} \text{ g/km} = Qrj_a(Fpc + Ftppf + Ftppi) \quad (10)$$

Os ODR catalogados na DataSus para a cidade do Rio de Janeiro aumentaram 42% entre os anos de 2001 e 2016, até que alcançaram o pico no período de análise. Os poluentes lançados na atmosfera interagem com as condições meteorológicas da cidade, desta forma, o sistema de transporte, principalmente os veículos a diesel, tem contribuído como causa para o aumento de doenças respiratórias. De acordo com Ventura e Pinto (2013), Costa e Henkes (2013) e Loureiro (2005), as condições meteorológicas com o processo de combustão direto e indireto contribui para que o hidrocarbonetos (HC) e Óxido de nitrogênio (NO_x) desenvolva a formação de ozônio (O₃), pois é o mais perigoso para os seres humanos, além disso, as emissões veiculares não respeitam fronteiras políticas ou geográficas, se propagando pela atmosfera.

O PROCONVE (2011), possui fases de melhoria da qualidade dos combustíveis e os limites de emissão para veículos a diesel classificados como pesado (P). Em 1989, no início do programa em P1, as emissões de MP em combustível eram de 0,6 g/km, e a partir de 2012 o limite máximo em P7 é de 0,02 g/km. No mesmo programa e período, as emissões de oxido de enxofre (SO_x) que formam MP secundário eram entre 3.000ppm a 10.000ppm, reduziu para 10ppm, restringindo as emissões de ácido sulfúrico (H_2SO_4), um dos responsáveis pela chuva ácida. Segundo Sehnem et al. (2015), o governo está impondo regras rígidas de produção, a fim de evitar a degradação ambiental, assim como ações proativas de qualificação do transporte na cadeia de suprimento.

Estima-se que o consumo de diesel possa apresentar grande degradação na qualidade do ar, visto que, a queima de combustível fóssil para a geração de energia produz gases da combustão incompleta que são nocivos ao meio ambiente (Ventura e Pinto, 2013). A poluição do ar relacionada ao trânsito está associada a diversos problemas à saúde como obesidade, e diabetes, e ainda é grande responsável pela baixa produtividade. (Carteni, Cascetta, Campana, 2015; Martins et al., 2016).

4. Aplicação e resultados

Para analisar os dados, é proposto uma análise da variância (ANOVA) com a variável dependente ODR (y), e as variáveis independente de emissões de dióxido de carbono (CO_2) e material particulado total (MP_{total}^{10}). As variáveis do item (9) estão em grama para nivelar a escala de dados.

$$y = \alpha_0 + \beta_1 CO_2(g) + \beta_2 MP_{total}^{10} \text{ g/km} + \varepsilon \quad (11)$$

O resultado demonstra que o benefício da adição de biodiesel no diesel é limitado, pois a adição de 7% não representa grandes impactos na redução de ODR. Desta forma, o benefício no aumento da quantidade de biodiesel acima do pesquisado, não atua como grande indutor da redução de ODR, porém atua como fonte de melhoria da qualidade do ar. A análise indica a participação do MP como um dos responsáveis pelo aumento de óbito. De acordo com Woodcock (2009), Air Quality Expert Group (2007) e Carslaw (2005), o aumento do incentivo de carro elétricos e outras fontes de energia renovável, não elimina as emissões de MP, pois as emissões

provenientes dos pneus e freios, assim como do desgastes da pista, é maior que as MP emitida na queima do combustível. O MP_{total}^{10} é a soma das emissões por combustível, pneus e freios, e pista. O impacto do MP emitido por pneus e freios é 30 vezes maior que emitido por combustível e 2 vezes maior por pista em quilômetro rodado.

Segundo Carvalho et al. (2014) e Ventura e Pinto (2013), os veículos pesados, que utilizam diesel são os principais responsáveis por emissões de MP, pois partículas de hidrocarboneto auxiliam na formação do NO_x e SO_x , que contribuem para o aumento de doenças respiratórias. A tabela 2 apresenta o resultado da ANOVA, onde rejeita a hipótese nula. Para analisar as violações estatísticas, optou-se pelos teste de RESET (indica que a inclusão de variáveis independentes não-lineares não altera os resultados), teste de normalidade (verifica se os erros possuem distribuição normal), teste de White (aponta que os fenômenos das variáveis são independentes), e teste de Chow (verifica se a comparação entre Emissões CO_2 e MP_{total}^{10} g/km é adequada).

O resultado foi gerado pelo *Software Gretl 2019^a*, onde não apresenta violações. Os dados estão em gramas, justamente para alinhar a escala entre Emissões CO_2 (g) e MP_{total}^{10} g/km.

Tabela 2: Modelo MQO, usando as observações 1-16. Variável dependente: Óbito por doenças respiratórias.

	Coeficiente	Erro Padrão	razão-t	p-valor
Constante	4631,53	757,357	6,115	<0,0001 ***
Emissões CO_2 (g)	-2,05090e-06	8,71467e-07	-2,353	0,0350 **
MP_{Total}^{10} g/km	4,38009e-07	6,27377e-08	6,982	<0,0001 ***

Média var. dependente	6174,688	D.P. var. dependente	822,8336
Soma res. quadrados	709110,3	E.P. da regressão	233,5529
R-quadrado	0,930177	R-quadrado ajustado	0,919435
F (2, 13)	86,59254	P-valor (F)	3,06e-08
Log da verossimilhança	-108,2964	Critério de Akaike	222,5929
Critério de Schwarz	224,9106	Critério Hannan-Quinn	222,7116

Teste RESET para especificação -
 Hipótese nula: a especificação é adequada
 Estatística de teste: $F(2, 11) = 3,33091$
 com p-valor = $P(F(2, 11) > 3,33091) = 0,0739546$

Teste da normalidade dos resíduos -
 Hipótese nula: o erro tem distribuição Normal

Estatística de teste: Qui-quadrado (2) = 1,37498
com p-valor = 0,502837

Teste de White para a heteroscedasticidade -
Hipótese nula: sem heteroscedasticidade
Estatística de teste: LM = 1,4464
com p-valor = P (Qui-quadrado (5) > 1,4464) = 0,919171

Teste de Chow para a falha estrutural na observação 8 -
Hipótese nula: sem falha estrutural
Estatística de teste: F (3, 10) = 2,7308
com p-valor = P (F (3, 10) > 2,7308) = 0,0997645

Entre os anos de 2001 e 2016 houve um crescimento nas emissões de CO₂ de 13,83% e MP em 78,74%, logo admitindo o mesmo crescimento nos próximos 15 anos, o número de ODR será de 11.964. Políticas de mitigação na mesma proporção os ODR será de 1.798. Isso ocorre com o aumento da eficiência no transporte de carga, pois o maior impacto está no diesel consumido e na quilometragem rodada, o tornando mais sustentável. Segundo Woodcock et al. (2009) trabalhos bem-sucedidos foram desenvolvidos nas cidades de Londres e Deli com políticas de baixa emissões de carbono, aumento da eficiência no volume transportado e boas práticas de sustentabilidade em transporte.

5. Conclusão

A poluição externa é responsável por 2% de todas as mortes no mundo, onde o transporte tem grande participação nas emissões de gases poluentes, principal causador de doenças respiratórias. A adição de biodiesel no diesel contribui como mitigador nas emissões, reduzindo o impacto no número de mortes. Contudo, a adição acima de 7%, não apresentou benefícios diretos como redutor no número de óbitos. Os resultados demonstraram que o material particulado (MP), proveniente do desgaste de pneus e freios, é o principal responsável por óbitos por doenças respiratórias. Acredita-se que medidas de mitigação, com enfoque no MP, aumenta a percepção da sustentabilidade nos tipos de transporte.

Os benefícios da adição do biodiesel são limitados, por isso, futuras pesquisas devem dar enfoque na redução do MP, principalmente relacionados a pneus e freios, de maneira a ampliar novas investigação na participação das emissões dos gases por

modos de transporte e seus efeitos nas doenças respiratórias por faixa etária e gênero.

Referência Reference

- Air Quality Expert Group. *Air quality and climate change: a UK perspective*. London: Department for Environment, Food and Rural Affairs; 2007
- Arbex et al. (2012). A poluição do ar e o sistema respiratório. *J Bras Pneumol*. 2012;38 (5):643-655.
- Boddey, R., Alves, B. J. R., Soares, L.H.B., Urquiaga, S. (2008). Biological nitrogen fixation and the mitigation of greenhouse gas emissions. *Agronomy Monograph*.doi:10.2134/agronmonogr52.c14.
- Carslaw DC. Evidence of an increasing NO₂/NO_x emissions ratio from road traffic emissions. *Atmos Environ* 2005; 39: 4793–802.
- Carteni, A., Cascetta, F., Campana, S. (2015). Underground and ground-level particulate matter concentrations in an Italian metro system. *Atmos. Environ*. 101,328–337.
- Carvalho et al. (2014). *Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários – Ano base 2012*. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA.
- CET-RIO – Companhia de Engenharia de Tráfego do Rio de Janeiro. (2018). Indicador Global de Volume (IGVOL). Rio de Janeiro.
- CNPE - Conselho Nacional de Política Energética. (2019). Relatório de consolidação dos testes e ensaios para validação da utilização de Biodiesel B15 em motores e veículos. Brasília.
- Costa, F. A. A., Henkes, J. A. (2013). Uma Breve Análise da Qualidade do Ar da Cidade De São Paulo. *R. gest. sust. ambient*. v.2, n.1, p. 250 – 264.
- DATASUS - Tecnologia da Informação a Serviço do SUS (2018). MS/SVS/CGIAE - Sistema de Informações sobre Mortalidade – SIM.
- Devarajan, Y., Munuswamy, D. B., Mahalingam, A. P. (2017). Performance, combustion and emission analysis on the effect of ferrofluid on neat biodiesel. *Process Safety and Environment Protection*. S0957-5820(17)30235-5.
- Dodman, D. (2009). Blaming cities for climate change? An analysis of urban greenhouse gas emissions inventories. *Environment and Urbanization* 21: 185.

- Ferreira et al. (2017). *Emissões dos Setores de Energia, Processos Industriais e Uso de Produtos - SEEG*. Instituto de Energia e Meio Ambiente – IEMA.
- Glaeser, E. L., Kahn, M. E. (2010). The greenness of cities: Carbon dioxide emissions and urban development. *Journal of Urban Economics*, 67, 404–418.
- Guo, L., Gao, B., Gao, Y. Chen, H. (2017). Optimal Energy Management for HEVs in Eco-driving Applications Using Bi-Level MPC. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. V: 18 , 8. 2153 – 2162.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018). *Estimativas da população residente para os municípios e para as unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2018*. Rio de Janeiro.
- Khreis, H., May, A. D., Nieuwenhuijsen, M. J. (2017). Health impacts of urban transport policy measures: A guidancenote for practice. *Journal of Transport & Health*, v: 6 209–227.
- Loureiro, C. F. B. et al. (2005). Complexidade e dialética: contribuições à práxis política e emancipatória em educação ambiental. *Educação e Sociedade*, Campinas, v. 26, n. 93, p.1473-1494.
- Macedo, I. C., Seabra, J. E., Silva, J. E. (2008). Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020. *Biomass and Bioenergy*, 32, p. 582-595.
- Martins, V., Moreno, T., Mendes, L., Eleftheriadis, K., Diapouli, E., Alves, C.A., Duarte, M., De Miguel, E., Capdevila, M., Querol, X., 2016. Factors controlling airquality in different European subway systems. *Environ. Res.* 146, 35–46.
- McCreanor J., Cullinan P., Nieuwenhuijsen MJ, Stewart- Evans J, Malliarou E, Jarup L, et al. Respiratory effects of exposure to diesel traffic in persons with asthma. *N Engl J Med*. 2007;357(23):2348-58.
- Mora, E. F., Torres, C., Valero, A. (2015). Thermo-economic Analysis of Biodiesel Production from Used Cooking Oils. *Sustainability* 2015, 7, 6321-6335.
- Oberg M, Jaakkola, M. S., Woodward, A., Peruga, A., Prüss-Ustün, A. (2011). Worldwide burden of disease from exposure to second-hand smoke: a retrospective analysis of data from 192 countries. *Lancet*. 377(9760):139-46.
- PROCONVE - *Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores*. (2011). Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. 3 ed. Brasília.

- Rajaeifar, M. A. et al. (2017). Attributional and consequential environmental assessment of using waste cooking oil- and poultry fat-based biodiesel blends in urban buses: a real-world operation condition study. *Biofuel Research Journal* 15, 638-653.
- Russell, Stephen. 2016. "A Recommended Methodology for Estimating and Reporting the Potential Greenhouse Gas Emissions from Fossil Fuel Reserves." Working Paper. Washington, DC: World Resources Institute.
- Sehnm, S., Jabbour, C. J. C., Rossetto, A. M., Campos, L. M. S., Sarquis, A. Bessa. (2015). Green Supply Chain Management: uma análise da produção científica recente (2001-2012). *Production*, v. 25, n. 3, p. 465-481.
- Senna, P. et al. (2016). A three-stage stochastic optimization model for the Brazilian biodiesel supply chain. *Production*, 26 (3), 501-515.
- Severo, E. A., Guimarães, J. C. F., Dorion, E. C. H., & Nodari, C. H. (2015). Cleaner production, environmental sustainability and organizational performance: an empirical study in the Brazilian metal-mechanic industry. *Journal of Cleaner Production*, 96, 118-125. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.027>.
- Silva et al. (2017). (2017). Comparative study of NOx emissions of biodiesel-diesel blends from soybean, palm and waste frying oils using methyl and ethyl transesterification routes. *Fuel* 194, 144–156.
- Smart Freight Centre, 2016. GLEC Framework for Logistics Emissions Methodologies, Soares, J., Mariano, A. P., De Angelis, D.D., (2009). Biodegradation of biodiesel/diesel blends by *Candida viswanathii*. *Afr. J. Biotechnol.* 8, 2774–2778.
- Teles, C. D., Dutra, C. C., Ribeiro, J. L. D., Guimarães, L. B. M. (2016). Uma proposta para avaliação da sustentabilidade socioambiental utilizando suporte analítico e gráfico. *Production*, 26(2), 417-429.
- Urquiaga, S. Alves, B.J.R., Boodey, R. M. Produção de biocombustíveis A questão do balanço energético. *Revista de política agrícola*. V. 14, 1, 42-46.
- Van der Horst, D., Vermeulen, S. (2011). Spatial scale and social impacts of biofuel production. *Biomass and Bioenergy*. V. 35, 6, 2435-2443.
- Ventura, L. M; B., Pinto, F. O. (2013). *Inventário Emissões de Fontes Veiculares Região Metropolitana Do Rio De Janeiro*. Instituto Estadual do Ambiente (RJ). Version 1.0.
- Woodcock, J. (2009). Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. *The lancet*, vol 374, 1930 – 1943.

World Health Organization. (2009). *Global health risks. Mortality and burden of disease attributable to selected major risks*. Geneva: World Health Organization.

Apêndice 1: Descrição nominal das siglas

a = indicação do nível da variável: nacional estadual ou cidade;
 b = indicação do nível da variável: nacional estadual ou cidade, para todo $b < a$;
 Cv = calibragem de veículos;
 Fd = frota a diesel;
 Ft = frota total;
 Dv = diesel consumido por veículo;
 $Prop.comb$ = proporção combustível para veículos;
 Dt = venda total de diesel;
 Flx = fluxo de veículos a diesel;
 Vds = volume de veículos a diesel que saem;
 Vde = volume de veículos a diesel que entra
 Qr = quilômetros rodados por veículos a diesel
 Dvj = consumo de diesel ajustado;
 Qrj = quilometragem rodada por veículos a diesel ajustado;
 $CO_2(g)$ = emissão de dióxido de carbono em gramas;
 $\%D$ = fator de participação do diesel (D);
 $\%B$ = fator de participação do biodiesel (B);
 Ftd = fator de emissão de diesel;
 Ftb = fator de emissão de biodiesel;
 MP_{total}^{10} = material particulado total com diâmetro menor que 10 micrômetros;
 Fpc = fator total de emissão de particulado por combustível;
 $Ftppf$ = fator total de emissão de particulado por pneus e freios;
 $Ftppi$ = fator total de emissão de particulado por pista.

Apêndice B: Fatores de conversão

Ftd = Fator de emissão de diesel	2,603	g/L
Ftb = Fator de emissão de biodiesel	2,431	g/L
Fpc^{10} = Fator total de emissão de particulado por combustível	0,02	g/km

F_{tpf}^{10} = Fator total de emissão de particulado por pneus e freios	0,5900	g/km
F_{tppi}^{10} = Fator total de emissão de particulado por pista	0,0380	g/km
Flx = Fluxo de veículos a diesel que saem da cidade	0,0080246	fluxo

Apêndice C: Dados proposto utilizado na ANOVA para a cidade do Rio de Janeiro

Ano de Ocorrência	MP_{total}^{10} g/km	Emissões CO ₂ (g)	Óbito no local de residência*
2001	7.884.401.845	1.392.382.754	5.488
2002	7.979.573.112	1.429.795.966	5.441
2003	8.119.515.575	1.368.999.097	5.551
2004	8.435.479.082	1.324.638.256	5.481
2005	8.444.036.663	1.334.813.244	5.440
2006	8.279.770.796	1.311.965.506	5.587
2007	8.969.917.706	1.401.066.276	5.534
2008	9.827.836.589	1.447.248.493	5.469
2009	10.006.019.507	1.474.331.991	5.988
2010	11.167.560.433	1.590.197.312	6.390
2011	12.082.445.587	1.729.105.200	6.450
2012	13.067.667.649	1.791.034.669	6.430
2013	13.847.484.658	1.775.140.508	7.041
2014	14.613.246.824	1.807.785.455	7.141
2015	14.476.411.352	1.780.734.723	7.556
2016	14.092.751.581	1.585.001.598	7.808

Fonte: DataSus - Tecnologia da Informação a Serviço do Sistema Único de Saúde. * Local de ocorrência do óbito no mesmo local de residência.