

## *Emissão de CO<sub>2</sub> pela frota de ônibus de transporte público da região metropolitana de Natal/RN*

A Região Metropolitana de Natal (RMN) tem vivenciado os problemas que os grandes centros urbanos sofrem com o aumento da frota veicular na última década e sua influência na qualidade do ar. A presença de programas que visem a redução das emissões atmosféricas e a manutenção da qualidade do ar é uma estratégia que auxilia positivamente nestas questões. Na RMN os ônibus da frota de transporte público de passageiros são acompanhados pelo Programa DESPOLUIR no que diz respeito aos níveis de opacidade através de aferições veiculares com base nos padrões estabelecidos pelo o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). Existem poucos trabalhos publicados a respeito da realidade das emissões atmosféricas por ônibus urbanos, semiurbanos e rodoviários no RN. Sendo assim esse artigo tem por objetivo avaliar as emissões atmosféricas de CO<sub>2</sub>, na Região Metropolitana de Natal utilizando a análise dos dados referentes às aferições fornecidos pela coordenação do Programa DESPOLUIR nos anos de 2010 a 2014. O cálculo da emissão de CO<sub>2</sub> levou em consideração o Índice de Consumo de Combustível (ICC) em km/L e o Fator de Emissão de CO<sub>2</sub> em kg/L por combustível a diesel. Observou-se uma diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> ao longo dos anos e constatou-se que a variação da emissão de CO<sub>2</sub> está diretamente relacionada com a variação do percentual de reprovação da frota nas aferições realizadas e diretamente ligada ao ICC. Recomenda-se a proposição de políticas públicas voltadas para a qualidade ambiental do ar, com o foco nas fontes móveis, que leve em consideração a utilização de combustíveis com menor fator de emissão e estabelecimento de aferições como medida preventiva para minimizar emissões de CO<sub>2</sub> pelos transportes de passageiros.

**Palavras-chave:** Programa Depoluir; Aferições Veiculares; Emissão de CO<sub>2</sub>.

## *CO<sub>2</sub> emission by the public transportation bus fleet of the metropolitan region of Natal/RN*

The Metropolitan Region of Natal (RMN) has experienced the problems that the great urban centers suffer from the increase of the vehicular fleet in the last decade and its influence on air quality. The presence of programs that aim at reducing atmospheric emissions and maintaining air quality is a strategy that positively assists these issues. In RMN the buses of the public passenger transport fleet are monitored by the Depollute Program with regard to the levels of opacity through vehicular measurements based on the standards established by the Air Pollution Control Program for Automotive Vehicles (PROCONVE). There are few published works about the reality of the atmospheric emissions by urban, semi-urban and road buses in RN state. Therefore, this article aims to evaluate the atmospheric CO<sub>2</sub> emissions in the Natal Metropolitan Region using the analysis of data from the measurements provided by the Coordination of the Depollute Program in the years 2010 to 2014. The calculation of the CO<sub>2</sub> emission took into consideration the Fuel Consumption Index (ICC) in km/L and the CO<sub>2</sub> Emission Factor in kg/L per diesel fuel. There was a decrease in CO<sub>2</sub> emissions over the years and it was found that the variation of the CO<sub>2</sub> emission is directly related to the variation of the percentage of failure of the fleet in the measurements made and directly linked to the ICC. It is recommended the purpose of public policies aimed at the environmental quality of the air, with a focus on mobile sources that takes into account the use of fuels with a lower emission factor and establishing measurements as a preventive measure to minimize CO<sub>2</sub> emissions by transport of passengers.


**Keywords:** Depollute Program; Vehicle Measurements; CO<sub>2</sub> Emission.


Topic: **Sistemas de Gestão Ambiental**


Received: **14/12/2017**

Approved: **24/01/2018**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

**Luara de Oliveira Musse**   
Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/6669056902685479>  
<http://orcid.org/0000-0003-0177-4481>  
[luara.musse@ifpa.edu.br](mailto:luara.musse@ifpa.edu.br)

**Régia Lucia Lopes**   
Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/8562147942949637>  
<http://orcid.org/0000-0001-7435-1258>  
[regia.lopes@ifrn.edu.br](mailto:regia.lopes@ifrn.edu.br)

**Jean Leite Tavares**   
Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/5264177368997967>  
<http://orcid.org/0000-0002-5772-0493>  
[jean.tavares@ifrn.edu.br](mailto:jean.tavares@ifrn.edu.br)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2018.002.0027

### Referencing this:

MUSSE, L. O.; LOPES, R. L.; TAVARES, J. L.. Emissão de CO<sub>2</sub> pela frota de ônibus de transporte público da região metropolitana de Natal/RN-Brasil. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.9, n.2, p.335-350, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.002.0027>

## INTRODUÇÃO

A cidade de Natal, capital do Estado do Rio Grande do Norte foi considerada durante muito tempo como uma cidade com boa qualidade do ar, devido às suas características geográficas e climatológicas e sendo assim, em 1993, foi reconhecida pela NASA como a cidade com ar “mais puro das Américas” (HOEL et al., 1993). Esse título se deu devido à ventilação natural, uma vez que Natal possui sua zona urbana em ambiente litorâneo e diariamente tem o ar renovado em consequência do fenômeno da brisa marítima, onde as massas de ar e as correntes de vento submetem esta região a uma melhor qualidade atmosférica (SILVA et al., 2016).

De acordo com o Departamento de Transito (DETRAN/RN), se verifica que a região tem tido um crescimento da frota de veículos, assim como de indústrias, nas últimas décadas, além de um acelerado processo de uso e ocupação do solo. Dessa forma começa a apresentar os problemas relacionados aos centros urbanos, podendo haver impacto no que diz respeito à poluição atmosférica, assim como em várias capitais do Brasil.

Os efeitos respiratórios relacionados à exposição da população a contaminantes atmosféricos podem ser atribuídos aos poluentes particulados e gasosos, emitidos por diferentes fontes, incluindo veículos automotores. Esta exposição tem levado a um aumento nos sintomas de doenças respiratórias, na procura por atendimentos em serviços de emergência e no número de internações e de óbitos provenientes de afecções do trato respiratório (ARBEX et al., 2012; ROMAN et al., 2015; SUREDRA et al., 2016).

As principais fontes poluidoras são os veículos automotivos e as indústrias, que estão presentes em todos os grandes centros urbanos. Nos últimos 30 anos houve um aumento dos estudos e, conseqüentemente, um melhor conhecimento das origens, composições, comportamentos, interações e mecanismos de ação dos poluentes atmosféricos considerados inimigos da saúde pública (COLVILLE et al., 2001; RAMACHANDRA et al., 2009; SUREDRA, et al., 2016; TEOLDI et al., 2017; ANDRADE et al., 2017). Este conhecimento tem direcionado políticas públicas com a finalidade de combater a crescente poluição atmosférica.

O Rio Grande do Norte (RN), a Cidade de Natal e sua região metropolitana (RMN), concentram 57,15% das indústrias do estado, sendo elas principalmente têxteis, do vestuário e de alimentos. Não há como afirmar que estas indústrias possuem ou não uma alta emissão atmosférica, uma vez que não há dados publicados a este respeito. Porém, a RMN pode apresentar uma crescente poluição atmosférica devido, principalmente, ao grande aumento da frota veicular na última década, estando entre os poluentes, os Gases de Efeito Estufa (GEE) e materiais particulados emitidos pelos veículos, que são nocivos à saúde, ao meio ambiente e ao patrimônio material.

Nos últimos 11 anos a frota veicular do RN apresentou um aumento de 274%, apresentando em 2005 um total de 407.356 veículos para 1.151.727 veículos em 2016. A frota da capital, Natal, acompanhou este crescimento, apresentando um aumento de 207% passando de 179.451 veículos no ano de 2005 para 371.913 veículos em 2016. Este quadro de aumento da frota veicular já é observado nas últimas três décadas

em nível nacional e, em alguns estados como São Paulo, nota-se um elevado nível de poluição atmosférica e de caos urbano devido ao aumento do contingente veicular (BRITO, 2005; ARBEX et al., 2009; CARVALHO, 2011).

Outros centros urbanos brasileiros, de maior densidade demográfica como São Paulo, Rio de Janeiro, Campinas, Belo Horizonte, possuem um índice de poluição atmosférica acima do que é recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), segundo relatórios nacionais de emissões atmosféricas, trazendo prejuízos para a saúde humana, para o patrimônio material e para a fauna e flora locais, além dos prejuízos econômicos que estes trazem. Esses índices de poluição atmosférica se devem principalmente às emissões veiculares, seguido de indústrias (MCT, 2010; MMA, 2011; ANTT, 2012).

O monitoramento da qualidade do ar por meio de programas e estações de monitoramento é feito em apenas 40% das unidades federativas, em 4 regiões e o Distrito Federal, excetuando-se a Região Norte (VORMITTAG et al., 2014), porém apenas o Paraná, a Bahia e os estados do Sudeste possuem monitoramento de sua frota de maneira ampla. Como no Rio Grande do Norte, pelo seu contexto populacional, não exige a obrigatoriedade legal de ter um Programa de controle de poluição veicular (PCPV), apenas a frota de ônibus urbano, semiurbano e rodoviário é monitorada, além de alguns caminhões, por iniciativa das empresas proprietárias dos veículos.

A maioria da frota de ônibus do Estado do Rio Grande do Norte (RN) está concentrada na Região Metropolitana de Natal, e segundo o Departamento Estadual de Trânsito (DETRAN), no RN, a frota de ônibus em janeiro de 2016, era de 6.468 veículos, sendo que 2.567 (39,69%) se encontrava na capital do RN, e, somando com a frota dos doze municípios que formam a região metropolitana de Natal, este percentual chega a 58% da frota do RN. Os outros 42% estão distribuídos nos demais municípios do Estado.

Diante desse quadro, a Confederação Nacional do Transporte – CNT lançou em 2007 o Programa Ambiental do Transporte (DESPOLUIR), cujo objetivo é promover - através da aferição veicular - a redução de poluentes atmosféricos emitidos pelos veículos, contribuindo com a sociedade para a melhoria da qualidade do ar e o uso racional de combustíveis.

As aferições das emissões atmosféricas são feitas com base nos padrões estabelecidos pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), criado pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Como resultado deste programa, em 10 anos de atuação, a frota de ônibus analisada saltou de 44,08% em 2007 para 94% ao final de 2016 em relação ao índice de emissão de material particulado dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA.

Existem poucos trabalhos publicados a respeito da realidade das emissões atmosféricas por ônibus urbanos, semiurbanos e rodoviários no RN. Uma pesquisa de Brito (2005) analisou os níveis de emissões de gases gerados por veículos automotores convertidos a bicompostíveis nas modalidades gás natural, gasolina e álcool em Natal. Outra pesquisa foi conduzida por Albuquerque (2013), para a determinação da concentração de metais no material particulado (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>) do ar atmosférico em uma área urbana da cidade do Natal/RN, não relacionada a emissões específicas de veículos automotores. Estudos de mensuração das emissões de poluentes atmosféricos de origem veicular, bem como as estratégias para o

controle destas emissões na cidade de Natal foram realizados por Tavares et al. (2008) e Tavares et al. (2012). Outro estudo foi realizado por Duarte (2016) com o objetivo de elaborar uma caracterização química de aerossóis atmosféricos sólidos finos (MP<sub>2,5</sub>) na cidade de Natal/RN e concluiu que a maioria dos componentes é de origem antropogênica de acordo com o fator de enriquecimento, sendo Na, Mg, Sn, Zn, Al, Fe e Ti proveniente de fontes naturais.

Diante deste quadro, esse artigo tem por objetivo geral avaliar a emissão de CO<sub>2</sub> pela frota de ônibus da região metropolitana de Natal/RN com base nos dados das aferições realizados por meio do Programa DESPOLUIR. A partir da análise das emissões de CO<sub>2</sub> pela frota de ônibus da RMN, será possível informar à sociedade sobre possíveis impactos provocados pelas mesmas, bem como gerar resultados que subsidiarão ações de gestão e controle que visem à melhoria ou a manutenção da qualidade do ar por meio de propostas de políticas públicas para combate e controle de poluentes do ar na cidade do Natal/RN.

## REVISÃO TEÓRICA

### Poluição do ar e efeitos a saúde e ao meio ambiente

De acordo com a Resolução CONAMA nº 3 de 1990, os padrões de qualidade podem ser entendidos como as “concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral” (BRASIL, 1990). Zurita et al. (2000) afirmam que o ar está poluído quando existe uma alteração na composição ou propriedades do ar atmosférico causada por ações diretas ou indiretas do homem que gerem a emissão de poluentes em concentrações nocivas e inconvenientes à saúde e ao meio ambiente.

A poluição atmosférica pode ser causada por fontes fixas ou móveis, dependendo dos processos liberadores dos poluentes no ar. As fontes fixas são aquelas que estão fixadas ao solo e que sempre emitem o poluente no mesmo local, como as indústrias, e as fontes móveis são aquelas que estão em constante movimento e emitem poluentes por onde se locomovem, como os veículos automotores e aviões (RHIND, 2009). As fontes móveis compreendem os meios de transporte, sendo principalmente representados pelos veículos automotores, como carros, ônibus, caminhões e motocicletas, e também os trens, aviões e embarcações marítimas.

A contaminação atmosférica é uma mistura da emissão de poluentes de diversas fontes que vão desde chaminés industriais e veículos automotores ao uso individual de materiais de limpeza e pinturas domésticas. Os poluentes, incluindo materiais orgânicos sintéticos e metais pesados, são conhecidos por afetar adversamente os sistemas fisiológicos em todas as espécies animais (ZHITENKO et al., 2016).

Com a urbanização, o crescimento populacional e o aumento das frotas veiculares que utilizam os combustíveis fósseis não renováveis, a poluição tem aumentado em níveis alarmantes (COLVILE et al., 2004; COSTABILE et al., 2008; RAMACHANDRA et al., 2009). Diversas substâncias tóxicas são emitidas para a atmosfera em decorrência do uso de veículos automotivos que, em contato com o sistema respiratório humano, podem gerar efeitos adversos sobre a saúde. Os veículos se destacam nas cidades como uma das

principais fontes poluidoras da atmosfera, chegando a corresponder a cerca de 20% das emissões globais de CO<sub>2</sub>, que é um dos principais gases causador do efeito estufa, sem considerar a emissão de outros gases também nocivos ao meio ambiente (COLVILE, 2004; RHIND, 2009; NESAMANI, 2010).

Além de trazer prejuízos para o meio, o CO<sub>2</sub> acarreta, diretamente, problemas para a vida humana pois de acordo com Bento et al. (2012), esse gás é considerado um dos mais perigosos tóxicos respiratórios para o homem pois possui propriedades – não possui cor, cheiro, nem causa irritação – que não permitem que os sentidos o captem. Bento et al. (2012) considera os veículos automotores “vilões ambientais”, não só pela quantidade de gases que eliminam, mas também pela diversidade de poluentes que produzem. Além do CO<sub>2</sub>, os veículos motorizados lançam para a atmosfera outros gases nocivos à saúde e que degradam o ambiente urbano, como o monóxido de carbono (CO), os óxidos de enxofre (SOx) e de nitrogênio (NOx), além do material particulado (MP) e outras substâncias químicas como os hidrocarbonetos (HCs) oriundos da queima dos combustíveis fósseis (CARVALHO, 2011; DRUMM et al., 2014).

Estudo de Ribeiro et al. (2005) revelam que os veículos de transporte contribuem para o aumento da poluição. Na realidade, com base nas estimativas de emissões de gases de efeito estufa no Brasil, divulgadas pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (BRASIL, 2013), com dados de 2010, observa-se que o setor de transportes é o maior contribuinte nas emissões de CO<sub>2</sub> e representa 44,7 % das emissões (WALLERIUS, 2016).

Vários estudos avaliaram ou identificaram estratégias de suavizar as emissões de poluentes atmosféricos no transporte rodoviário. A alternativa que mais se torna presente é a substituição dos combustíveis mais poluentes, como o diesel e a utilização de combustíveis alternativos, como, etanol, biodiesel ou GNC (BARTH et al., 2008, 2009a; YANG et al., 2009; GRAHAM et al., 2008; DAVIS et al., 2005; MAIMOUN et al., 2013; NORGATE et al., 2013). A segunda alternativa para diminuição dessas emissões consiste na diminuição da demanda por veículos, seja por reestruturação do uso do solo, como no caso do trabalho de Yang et al. (2009), ou pelo uso de novas tecnologias, tais como I-PCC e triagem, como proposto por Norgate et al. (2013).

Nesta direção, a Confederação Nacional do Transporte (CNT) vem desde 2007 desenvolvendo o programa DESPOLUIR, cujo objetivo é promover a melhoria na qualidade ambiental, com um dos focos de atuação, para a redução de emissão de poluentes por veículos, por meio da detecção de desregulagens e medição dos níveis de emissão de gases e particulados do setor de transporte de passageiros. No âmbito do Estado do Rio Grande do Norte a Federação de empresas de transporte do Nordeste é a responsável pelo gerenciamento do programa DESPOLUIR, que também atua nos estados da PB, PE e AL, realizando aferições de emissões de poluentes do ar.

### **Legislação referente às emissões atmosféricas no Brasil**

A Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, conhecida como a lei dos crimes ambientais, dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Nela, foram consolidadas todas as infrações e sanções previstas na legislação ambiental

federal, de modo que se passa a considerar a poluição atmosférica como crime, devendo haver a penalização daquele que a praticar (BRASIL, 1998).

No que diz respeito à legislação referente à emissão de poluentes por fontes móveis, o estabelecimento de metas para a redução da emissão de gases e materiais particulados (fuligem e gotículas oleosas) por fontes móveis no Brasil, constituídas por veículos automotores, iniciou-se em 1986, quando o CONAMA instituiu, por meio da Resolução nº 18, de 6 de maio de 1986, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE (BRASIL, 1986).

A Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993, que “dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores e dá outras providências”, reproduziu as metas estabelecidas na Resolução 18/1986 do CONAMA, que alcançavam até o ano de 2002, e delegou ao próprio CONAMA a atualização e o estabelecimento de novas metas (BRASIL, 1993). O controle da emissão de gases e materiais particulados poluentes por veículos automotores está previsto também no Código de Trânsito Brasileiro, instituído pela Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997, da qual vale ressaltar os artigos 104 e 131:

**Art. 104.** Os veículos em circulação terão suas condições de segurança, de controle de emissão de gases poluentes e de ruído avaliadas mediante inspeção, que será obrigatória, na forma e periodicidade estabelecidas pelo CONTRAN para os itens de segurança e pelo CONAMA para emissão de gases poluentes e ruído. § 5º Será aplicada a medida administrativa de retenção aos veículos reprovados na inspeção de segurança e na de emissão de gases poluentes e ruído.

**Art. 131.** O Certificado de Licenciamento Anual será expedido ao veículo licenciado, vinculado ao Certificado de Registro, no modelo e especificações estabelecidos pelo CONTRAN. § 3º Ao licenciar o veículo, o proprietário deverá comprovar sua aprovação nas inspeções de segurança veicular e de controle de emissões de gases poluentes e de ruído, conforme disposto no art. 104. (BRASIL, 1997)

Vê-se, portanto, que o controle da emissão de gases e material particulado poluente por fontes móveis (veículos automotores) está amplamente regulamentado pela legislação ambiental brasileira.

## METODOLOGIA

Esta pesquisa utilizou como aspectos metodológicos a pesquisa documental e a análise de dados do programa DESPOLUIR para a Região Metropolitana de Natal, Rio Grande do Norte. Utilizou-se os dados da frota de ônibus de todas as empresas de transporte regular de passageiros do estado do RN que possuem garagem nas cidades da RMN. O período de avaliação será os anos 2010 e 2014 pois os dados de 2015 e 2016 ainda não foram padronizados e consolidados.

A frota alvo constitui-se de ônibus com motor do ciclo diesel, que compõem a frota do sistema de transporte público da cidade de Natal/RN e que foram inspecionados no período analisado através do Programa DESPOLUIR, com base nos padrões estabelecidos pelo PROCONVE e Resolução CONAMA 418/2009, além de obedecer ao que dispõe a NBR 13.037/2001 e a ISO11614:1999. A atividade de aferição dos ônibus é realizada nas garagens, geralmente no final da rota de cada veículo. Nessa situação o motor e o catalisador do veículo encontram-se em maior temperatura devido ao uso. Esta é a condição ideal de trabalho do motor, dentro da realidade de suas emissões.

## Estimativa de emissão de CO<sub>2</sub>

Para a estimativa de CO<sub>2</sub> inicialmente foi determinado os índices de aprovação e reprovação dos veículos ano a ano baseado no teste de opacidade que tem como critério de aprovação ou reprovação os valores determinados na Resolução do CONAMA 418/2009 e a instrução normativa IBAMA Nº 6/2010. Com os índices de aprovação e reprovação dos veículos foram utilizados os dados referentes ao consumo de combustível relacionado à quilometragem rodada (km/L) ano a ano de cada veículo. Foi feita a normalização da frota, que consiste na média anual desses veículos para os anos de estudo (2010 a 2014) tendo em vista que no relatório geral de aferições, um mesmo veículo poderia ser aferido mais de uma vez ao ano e, assim sendo foram descartadas as aferições repetidas de um ônibus em um mesmo ano, de modo que foi considerada apenas uma aferição anual para cada ônibus.

Essa ação se faz necessário para que, a partir dos percentuais anuais de aprovação baseado no teste de opacidade realizada nos veículos e dos Índices de Consumo de Combustíveis (ICC) para veículos aprovados e reprovados (ICCaprov e ICCreprov), possa ser calculado o consumo de diesel anual em km/L e assim determinar a emissão média de CO<sub>2</sub> em kg/km.

Utilizou-se neste trabalho um fator de emissão médio de 2,6 kg de CO<sub>2</sub> para cada litro de diesel queimado na combustão, que somado com o valor médio de 0,5 kg de CO<sub>2</sub> emitidos para produzir e distribuir o combustível, chegou-se a uma taxa final de emissão em torno de 3,2 kg de CO<sub>2</sub> em Km/L de diesel consumido. Estes valores estão de acordo com a metodologia utilizada pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), que referencia a emissão máxima possível de CO<sub>2</sub>, mostrando o pior cenário que pode acontecer (IPEA, 2011).

Após calcular o percentual de veículos aprovados e reprovados foi definido o ICCmédio a partir dos ICC's de 2012 e 2013, uma vez que esses dados foram fornecidos pelo programa DESPOLUIR, por empresa. A partir dos ICC's dos anos de 2012 e 2013 e considerando a frota anual, foi ponderado o ICCmédio para todos os anos em Km por litro de Diesel.

O ICCmédio foi desmembrado em ICC de veículos aprovados (ICCaprov) e ICC dos veículos reprovados (ICCreprov) utilizando-se como referência a base de 10 anos de estudos do programa DESPOLUIR aonde se comprovou que a frota aprovada é 6% mais eficiente no consumo de combustível do que a frota reprovada. Assim sendo, foram calculados o ICCaprov e o ICCreprov, conforme as equações 1 a 3.

$$\text{ICCaprov} = 1,06 \text{ ICCreprov} \quad (\text{Eq. 01})$$

$$\text{ICC} = \frac{\text{ICCaprov} + \text{ICCreprov}}{2} \quad (\text{Eq. 02})$$

Substituindo equação 01 na equação 2, temos:

$$\text{ICC} = \frac{1,06 \text{ ICCreprov} + \text{ICCreprov}}{2}$$

$$3,016 = \frac{1,06 \text{ ICCreprov} + \text{ICCreprov}}{2}$$

$$3,016 \times 2 = 2,06 \text{ ICCreprov}$$

$$\text{ICCreprov} = \frac{6,032}{2,06} = 2,928 \frac{\text{km}}{\text{Litro}} \quad (\text{Eq. 03})$$

Substituindo a equação 3 na equação 2 temos:

$$3,016 = \frac{\text{ICCaprov} + 2,928}{2}$$

$$6,032 = \text{ICCaprov} + 2,928$$

$$\text{ICCaprov} = 6,032 - 2,928 = 3,10 \frac{\text{km}}{\text{Litro}}$$

Tendo-se os valores de ICC aprovados e reprovados, foi calculado o ICC anual a partir das distribuições dos percentuais de aprovação e reprovação, considerando os ICCaprov e ICCreprov calculados. Com todos os dados de consumo de combustível, foi feito o cálculo de emissão de CO<sub>2</sub> por quilômetro, considerando o Fator de Emissão de 3,2 Kg de CO<sub>2</sub> por litro de Diesel e foi projetada a emissão anual de CO<sub>2</sub> por quilômetro rodado por cada veículo e posteriormente a emissão total anual pela frota. Em seguida foi calculado o percentual de variação anual do percentual total de aferições aprovadas e calculado o percentual de variação anual da emissão de CO<sub>2</sub>. Por fim, foi demonstrada a correlação entre % de aferições aprovadas e emissão de CO<sub>2</sub> através da elaboração de um gráfico de dispersão (XY).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

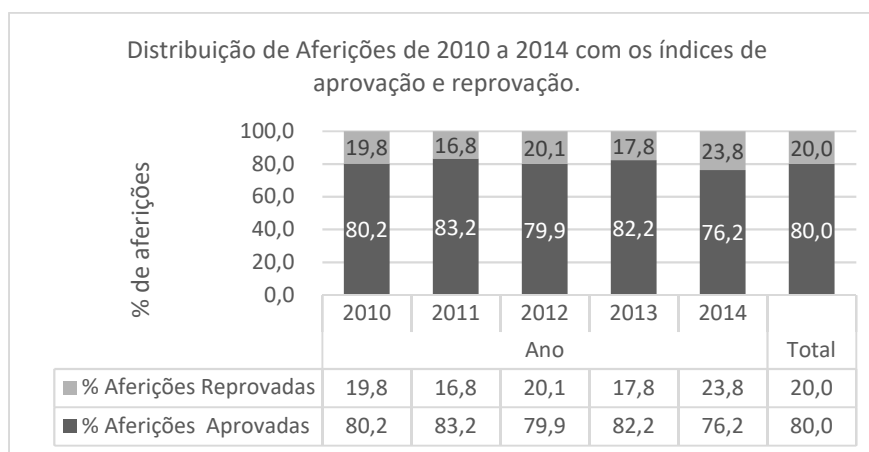
### Frota de veículos na RMN e as aferições veiculares

De acordo com o DETRAN/RN, de 1992 a 2010 a frota potiguar cresceu 526,81%, tendo um aumento de 121.557 veículos em 1992 para mais de 760 mil veículos em 2010. O ano de 2014 foi encerrado em Natal com um aumento de veículos de 41,04% comparado com 2010, e em todo o estado o crescimento foi de 42,51% nesse período. Em 2010 eram 730.807 veículos emplacados no RN, em contraste com os 1.112.028 no início de 2016. Cerca de 44% da frota do RN é composta por automóveis, seguido das motocicletas, com cerca de 35%. Os ônibus são apenas 0,58% da frota de todo o RN, sendo que 40% dos ônibus estão na capital, Natal.

A frota de ônibus dos doze municípios da Região Metropolitana de Natal, compreende cerca de 60% desses veículos no RN, porém, os municípios com maior concentração são Natal, Parnamirim e São Gonçalo do Amarante. Ou seja, dos 167 municípios do estado, 3 deles concentram 60% da frota de ônibus, o que enseja necessidade de atuação de políticas públicas para prevenção de poluição do ar nessa região.

Na RMN, foi filtrado no banco de dados do Programa DESPOLUIR cuja quantidade de aferições realizadas na região totalizou 10.873 aferições veiculares entre os anos de 2010 e 2014. Estes dados são referentes apenas à categoria ônibus da frota do Sistema de Transporte Público Coletivo. Dos 10.873 registros de aferição, apenas 645 registros possuem a informação referente ao ano de fabricação do motor. Por este motivo a correlação entre consumo de combustível e emissões atmosféricas não foi feita com a idade do motor. No total foram avaliadas as aferições realizadas em 1.769 ônibus diferentes do sistema de transporte público de passageiros, distribuídos na RMN no período de 2010 a 2014 de uma frota total de 3.416 ônibus no Estado que engloba outros usos. A figura 1 mostra a distribuição de aferições realizadas no período de 2010 a 2014 com os índices de aprovação e reprovação.





**Figura 1:** Distribuição de Aferições de 2010 a 2014 com os índices de aprovação e reprovação.

As aferições realizadas dentro do Programa DESPOLUIR, e usados nesta pesquisa, estão de acordo com as melhores práticas de aferição para obtenção de resultados mais confiáveis (JACONDINO et al., 2003; AGUIAR et al., 2014). Verifica-se que as aferições dos veículos dentro dos padrões, com frota aprovada se manteve com um índice médio de 80% de aprovações e de 20% de reprovações. Dados do período 2007 a 2009 mostram que o índice de aprovação era de 44,08% no ano de 2007, tendo evoluído para uma média de 70% em 2008 e 2009.

Branco et al. (2013) realizaram uma pesquisa sobre o Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso na cidade de São Paulo (I/M\_SP) e constataram que a rotina de inspeção e aferição veicular vem produzindo resultados com benefícios ambientais crescentes, mostrando que a redução progressiva das médias de emissões de poluentes ao longo do tempo indica uma nova cultura de manutenção dos veículos, melhores serviços e maior conscientização por parte da sociedade. Esses mesmos autores observaram que os veículos com fabricação de motor a partir de 2006 possuem um índice de aprovação maior que os de fabricação anterior a este ano. Os motores mais recentes possuem tecnologia diferenciada com o objetivo de redução de emissões poluentes - material particulado (MP), NOx e HC - conforme o estabelecido em cada fase P do PROCONVE. Assim, a idade do motor tem influência direta nos resultados dos testes para a sua aprovação quanto à emissão de material particulado, obtida pelo teste de opacidade.

Branco et al. (2014) mostraram que a rotina de aferições tem um impacto positivo nas emissões veiculares, uma vez que os veículos reprovados nas primeiras aferições passam a ser acompanhados e são aprovados nas aferições seguintes. Em estudo na Eslováquia, concluíram que “para reduzir a produção de emissões é necessário melhorar a eficiência dos motores de combustão interna, ou adotar a legislação mais rigorosa no campo da proteção ambiental”.

De um modo geral observa-se que, ao aumentar o número de aferições e o quantitativo de ônibus aferidos, as empresas promovem mudanças de posturas operacionais buscando a melhoria das emissões atmosféricas. Essas aferições permitem, ao longo do tempo, ter informações sobre o controle da emissão de gases e material particulado poluente por fontes móveis (veículos automotores), que estão amplamente regulamentados pela legislação ambiental brasileira.

A partir da necessidade do controle da poluição atmosférica por fontes móveis tais como veículos

automotores a legislação ambiental brasileira evoluiu por meio do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). Esse fato fez com que a indústria brasileira se atualizasse tecnologicamente quanto à fabricação dos motores fabricados nacionalmente, passando para veículos com sistema de injeção eletrônica de combustíveis, que emitem menos de um décimo de poluentes de seus similares fabricados na década de 1980, além do desenvolvimento de combustíveis e de catalisadores que permitir menores fatores de emissão de poluentes para a atmosfera.

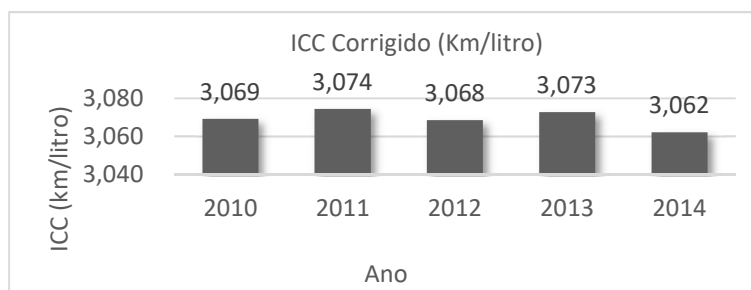
### Estimativa da emissão de CO<sub>2</sub> pela frota de ônibus

A tabela 1 mostra a quantidade de veículos aprovados e reprovados ano a ano utilizando-se a frota média calculada no período e os percentuais de aprovação e reprovação determinados no Programa DESPOLUIR.

**Tabela 1:** Normalização da frota aprovada e reprovada.

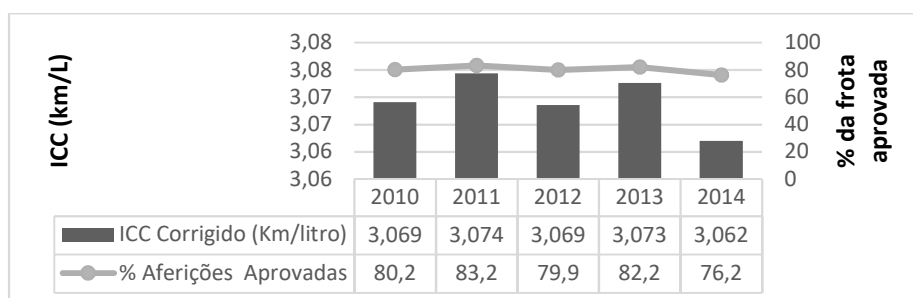
Ano	2010	2011	2012	2013	2014	Média
Frota Aprovada	858	889	854	879	815	855
Frota Reprovada	211	180	215	190	254	214

O ICC<sub>médio</sub> foi calculado com base nos dados fornecidos pelo Programa DESPOLUIR, no valor de 3,016 km/litro de diesel por veículo, independentemente de ter sido aprovado ou reprovado. Com base no valor médio do ICC foi calculado o ICC dos veículos aprovados e reprovados de acordo com as equações 01 a 03 mostrado na metodologia.



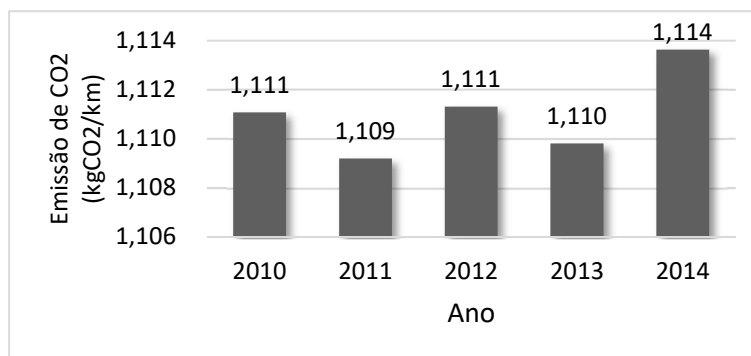
**Figura 2:** ICC anual calculado.

De conhecimento desses valores foi calculado o ICC anual a partir da distribuição das porcentagens de aprovação e reprovação, considerando os ICC<sub>aprov</sub> e ICC<sub>reprov</sub> calculados. Os resultados estão mostrados na Figura 2. A figura 3 mostra o percentual da frota aprovada ano a ano e o consumo de combustível por quilômetro médio da frota aferida.



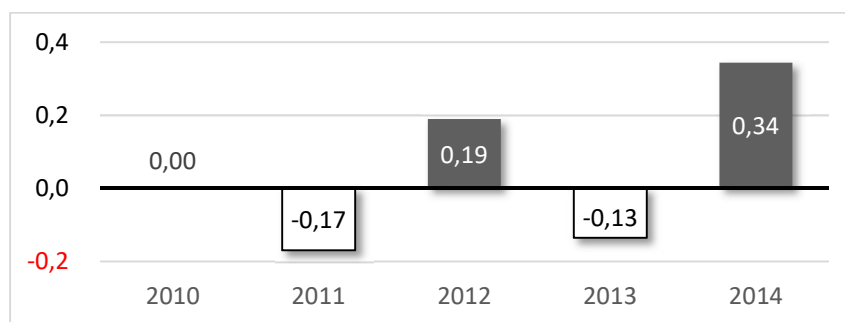
**Figura 3:** % Frota Aprovada x ICC anual.

Observa-se na figura 3 que os anos que tiveram maior índice de aprovação são os que tiveram maior ICC, ou seja, houve um menor consumo de combustível por quilômetro rodado. Um percentual maior de aprovação dos veículos nas aferições revela que estes possuem maior eficiência, percorrendo maiores distâncias com cada litro de combustível. A figura 4 mostra a emissão de CO<sub>2</sub> em kgCO<sub>2</sub>/km utilizando-se o resultado do cálculo do ICC, e considerando a relação de 3,2 Kg de CO<sub>2</sub> por litro de Diesel consumido (IPEA, 2011), como mostrado na metodologia.



**Figura 4:** Emissão de CO<sub>2</sub> (kgCO<sub>2</sub>/km).

Comparando-se a Figura 1 com a Figura 4, verifica-se que as emissões de CO<sub>2</sub> estão relacionadas com os índices de aprovação e reprovação dos veículos, comprovando-se a necessidade de aferições regulares visando manutenções corretivas para minimização de emissões de CO<sub>2</sub>. A figura 5 mostra a variação percentual da emissão de CO<sub>2</sub> determinada na Figura 4, sendo mostrada a diferença positiva ou negativa de um ano para outro, tendo-se como ano base o ano de 2010, como mostrado na Figura 5.



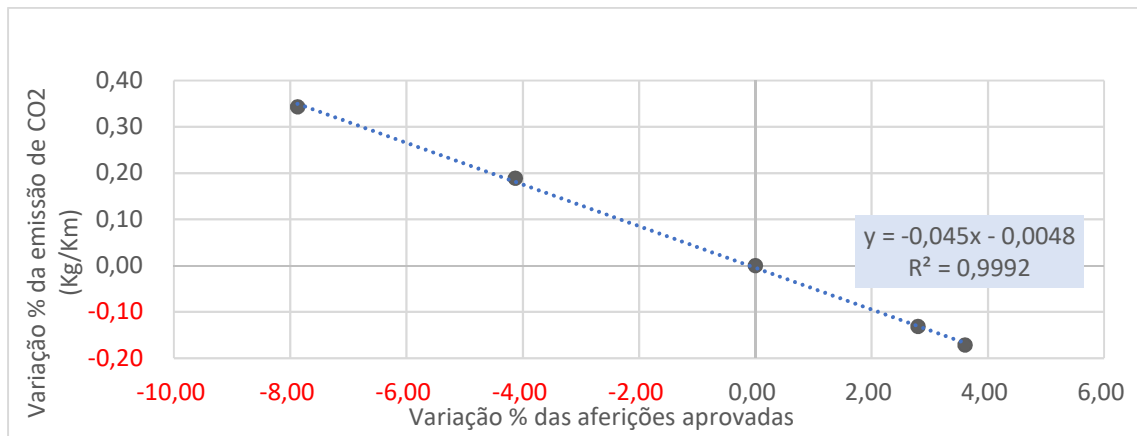
**Figura 5:** Variação do percentual da emissão de CO<sub>2</sub>.

O aumento da variação do percentual não quer dizer que as emissões de CO<sub>2</sub> aumentaram quantitativamente nos anos de 2012 e 2014, mas sim que o índice de reprovação aumentou como pode ser observado na Figura 1. A Figura 6 mostra a correlação entre o percentual de variação das aferições aprovadas ano a ano, e a variação das emissões de CO<sub>2</sub>, ano a ano ( ).

Pode-se perceber que quanto maior a variação positiva do índice de aprovação da frota, a emissão terá sua variação inversamente proporcional. Portanto, podemos afirmar que quanto maior o índice de aprovação da frota, menor será sua emissão de CO<sub>2</sub>. Para verificação e validação desta equação foi calculado o coeficiente de correlação, que se mostrou fortemente correlato, com resultado de R<sup>2</sup> = 0,99926.

Esses resultados mostram que a redução de emissões de poluentes por motores de ônibus depende

da melhoria da eficiência dos motores de combustão interna, ou cumprimento da legislação ambiental mais rigorosa. Esse atendimento, está intimamente relacionada então com as manutenções preventivas que devem ser uma prática rotineira da empresa, o que reforça a importância de programas como o DESPOLUIR.



**Figura 6:** Evolução das variações (correlação entre % aprovação e emissão de CO<sub>2</sub>).

Na tabela 2 é feita a estimativa da quantidade de CO<sub>2</sub> emitida pela frota alvo desta pesquisa que representa 0,2% da frota total da RMN. A tabela mostra o quantitativo real de veículos aferidos ano a ano e o quantitativo médio desta frota. Com os valores de emissão de CO<sub>2</sub> emitido por veículo, é possível calcular a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido para a atmosfera, ano a ano pela frota.

**Tabela 2:** Quantitativo de CO<sub>2</sub> (kg/km) emitido por veículo e pela frota ano a ano.

	ANO					TOTAL
	2010	2011	2012	2013	2014	
<b>Total de ônibus real</b>	799	1.156	1.226	1.055	1.109	5.345
<b>Total de ônibus médio</b>	1069	1069	1069	1069	1069	5.345
<b>Emissão de CO<sub>2</sub> por ônibus (kg/km)</b>	1,043	1,041	1,043	1,041	1,045	-
<b>Total de CO<sub>2</sub> real emitido (kg/km)</b>	833,4	1.203,4	1.278,7	1.098,2	1.158,9	5.572,6
<b>Total de CO<sub>2</sub> médio emitido (kg/km)</b>	<b>1.115,0</b>	<b>1.112,8</b>	<b>1.115,0</b>	<b>1.112,8</b>	<b>1.117,1</b>	<b>5.572,7</b>

Verifica-se que o ano de 2010 apresentou a menor emissão real de CO<sub>2</sub>, em função do número de veículos ser menor, e para o ano de 2011 houve um aumento da frota de 44,6%. Nos anos seguintes as emissões são muito próximas devido não ter havido aumento significativo na frota. Comparando o ano de 2011 com o ano de 2014, é possível observar que houve uma diminuição na emissão de CO<sub>2</sub> de 1.203,40 kg de CO<sub>2</sub> por cada km percorrido para 1.158,90 kg de CO<sub>2</sub> por cada quilômetro percorrido. De maneira individualizada esta melhora pode parecer baixa, mas quando se multiplica pela quilometragem anual rodada pela frota, este valor passa a ser expressivo.

Observa-se que no ano de 2012 houve um aumento das emissões, sendo decorrente, provavelmente da aquisição de veículos novos e aumento da frota estudada, assim como houve mudanças de metodologia nas aferições, sendo exigido além da medida da opacidade, outros parâmetros tais como medidor de rotação, tornando as aferições mais rígidas, e dessa forma apresentando maior número de reprovações. Pereira (2014) quantificou as emissões de CO<sub>2</sub> pela frota de ônibus urbano de Juiz de Fora/MG e concluiu que a frota emitiu 48.964,74 toneladas de CO<sub>2</sub> com um total de 139.795,94 km rodados no ano de 2013. Os ônibus estudados na RMN emitiriam esta mesma quantidade de CO<sub>2</sub> se a frota rodasse cerca de 42.300 km por dia

no ano de 2014.

Araújo (2013) inventariou as emissões atmosféricas por fontes móveis em Juiz de Fora/MG para o ano base de 2011 e quantificou as emissões pela frota de ônibus neste ano em 594.048,2 toneladas de CO<sub>2</sub>. Além disso, o autor observou que as emissões são predominantemente oriundas dos automóveis, exceto para as emissões de NO<sub>x</sub>, onde o maior responsável é a frota de ônibus da cidade. Comparando-se com esses estudos os ônibus da RMN emitiriam esta mesma quantidade de CO<sub>2</sub> se a frota rodasse em torno de 494.000 km no ano de 2014. Nas duas situações a frota de ônibus da RMN teria que percorrer uma distância menor para emitir a mesma quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera, mostrando que esta emissão é alta. Isso é devido ao uso de biodiesel em parte da frota de Juiz de Fora.

De acordo com as informações obtidas nesse estudo, pode-se afirmar que o Programa DESPOLUIR possui impacto positivo e comprovado nas emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, uma vez que, sem as atividades do programa, uma quantidade maior de veículos não realizariam as manutenções que promovem melhor eficiência e conseqüentemente menores índices de consumo de combustível, aumentando assim, as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. No caso estudado o aumento das emissões calculadas no período se deve principalmente ao aumento do quantitativo da frota. Estes valores poderiam ser mais precisos se houvesse os dados reais da idade do motor, fabricante e ICC real de cada veículo aferido, porém esses dados não estão disponíveis para todos os ônibus considerados nesta pesquisa.

De um modo geral observa-se que ao aumentar o número de aferições, o programa atinge um maior número da frota de veículos de transporte de passageiros e com isso promove às empresas participantes mudanças de posturas operacionais buscando a melhoria das emissões atmosféricas do setor de transporte. Essas aferições permitem, ao longo do tempo se ter informações sobre o controle da emissão de gases e material particulado poluente por fontes móveis (veículos automotores) que está amplamente regulamentado pela legislação ambiental brasileira.

## CONCLUSÕES

O Programa DESPOLUIR tem um impacto positivo na redução de consumo de combustível e nas emissões de poluentes atmosféricos, uma vez que tem apresentado resultados positivos nas aprovações de veículos em suas aferições, havendo hoje uma tendência em diminuir a cada ano de atuação o número de ônibus reprovados. De acordo com os resultados apresentados pode-se concluir que a emissão de CO<sub>2</sub> é inversamente relacionada com a variação do percentual de aprovação da frota nas aferições realizadas. Ou seja, o programa DESPOLUIR induzindo as mudanças de posturas operacionais e manutenções preventivas, promove a redução de materiais particulados e emissões atmosféricas provenientes de fontes móveis, tendo, portanto, um impacto positivo na redução das emissões destas fontes.

A frota pesquisada corresponde a um percentual de 0,2% da frota veicular total da RMN e é responsável por emitir uma média de 1.115kg de CO<sub>2</sub> por cada quilômetro rodado. Portanto, se 0,2% é responsável por este quantitativo de emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, pode-se inferir que os outros 99,8% da frota veicular da RMN tem uma contribuição bastante significativa nas emissões de gases poluentes,

necessitando, portanto, de políticas públicas voltadas também esses tipos de veículos.

Outra recomendação para a redução das emissões desses poluentes é o estímulo da sociedade e do poder público para investimentos em transporte público haja vista esses representarem um percentual menor de veículos presentes nas cidades, assim como uso de biodiesel e outros combustíveis menos poluentes, tendo em vista que estes apresentam menor índice de emissão de CO<sub>2</sub> por litro queimado na combustão, assim como nas etapas de produção e distribuição.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, S. O.; SILVA, G. M. M.; RODRIGUES, K. A.; ARAÚJO, R. S.; OLIVEIRA, M. L. M.. Perfis das emissões instantâneas (CO, NO e SO<sub>2</sub>) derivadas de veículos ciclos otto e diesel para diferentes tipos de combustível e condições de rotação do motor, p. 7299-7306. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 20. **Anais**. São Paulo: Blucher, 2014.

ALBUQUERQUE, M. H. O.. **Determinação da concentração de metais no material particulado (PM10 e PM2,5) do ar atmosférico em uma área urbana da cidade do Natal/RN**. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

ANDRADE, M. S.; MALDONADO, E. M. Q.; VARGAS, A. O.; PÉREZ, Y. S.; CUELLAR, C. M. G.. Air pollution and genomic instability: The role of particulate matter in lung carcinogenesis. **Environmental Pollution**, v.229, p.412-422, 2017.

ANTT. Agencia Nacional de Transporte Terrestre. **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas do Transporte Ferroviário de Cargas**. Núcleo de Meio Ambiente, Agência Nacional de Transportes Terrestres. Brasília, 2012.

ARAÚJO, C. S.; NOGUEIRA, I. A.; PROCOPIO, A. S.. Inventário de Fontes Móveis Emissoras de Poluentes Atmosféricos na Cidade de Juiz de Fora/MG. **Revista Principia**, Juiz de Fora, v.17, p.81-89, 2013.

ARBEX, M. A.; CONCEIÇÃO, G. M. S.; CENDON, S. P.; ARBEX, F. F.; LOPES, A. C.; MOYSES, E. P.; BRAGA, A. L. F.. Urban air pollution and chronic obstructive pulmonary disease-related emergency department visits. **Journal of Epidemiology & Community Health**, v.63, n.10, p.777-783, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/jech.2008.078360>

ARBEX, M. A.; SANTOS, U. P.; MARTINS, L. C.; SALDIVA, P. H. N.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F.. A poluição do ar e o sistema respiratório. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v.38, p.643-655, 2012.

BARTH, M.; BORIBOONSOMSIN, K.. Energy and emissions impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v.14, n.6, p.400-410, 2009a.

BARTH, M.; BORIBOONSOMSIN, K.. Real-World Carbon Dioxide Impacts of Traffic Congestion. **Transportation Research Record**, n.2058, p.163-171, 2008.

BENTO, M. H. S.; BARRETO, P. L.; GODOY, L. P.; SCHMIDT, A. S.. Efeitos da poluição do ar causada por veículos

automotores na saúde humana e no meio ambiente. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Curitiba, v.4, n.3, p.19-34, 2012.

BRANCO, F. C.; BRANCO, G. M.. Benefícios ambientais e resultados do programa de inspeção e manutenção de São Paulo. In: XXI SIMEA Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva, 21. **Anais**. São Paulo: AEA, 2013.

BRANCO, G. M.; BRANCO, F. C.; SZWARC, A.; FARAH, E. L.. Redução da emissão evaporativa do veículo em movimento e no reabastecimento de combustível. **Blucher Engineering Proceedings**, v.1, n.2, 2014.

BRASIL. **Decreto Lei n. 1.413**: Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais Brasília: DOU, 1975.

BRASIL. **Portaria MINTER n. 100**: Dispõe sobre a emissão de fumaça por veículos movidos a óleo diesel. Brasília: DOU, 1980.

BRASIL. **Lei n. 6.938**: Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília: DOU, 1981.

BRASIL. **Resolução CONAMA n. 18**: Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores – PROCONVE. Brasília: DOU, 1986.

BRASIL. **Resolução CONAMA n. 03**: Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Brasília: DOU, 1990.

BRASIL. **Lei n. 8.723**: Dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores e dá outras providências. Brasília: DOU, 1993.

BRASIL. **Lei n. 9.503**: Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Brasília: DOU, 1997.

BRASIL. **Lei nº 9.605**: Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília: DOU, 1998.

BRASIL. **Resolução CONAMA n. 418**: Dispõe sobre critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular - PCPV e para a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso - I/M pelos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente e determina novos limites de emissão e procedimentos para a avaliação do estado de manutenção de veículos em uso. Brasília: DOU, 2009.

BRASIL. **Lei n. 12.587**: Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana; revoga dispositivos dos Decretos-Leis nos 3.326, de 3 de junho de 1941, e 5.405, de 13 de abril de 1943, da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), aprovada pelo Decreto-Lei no 5.452, de 1o de maio de 1943, e das Leis nos 5.917, de 10 de setembro de 1973, e 6.261, de 14 de novembro de 1975. Brasília: DOU, 2012.

BRITO, H. P.. **Análise das emissões atmosféricas por veículos automotores em Natal/RN**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

CARVALHO, C. H. R. C.. Emissões relativas de poluentes do transporte urbano. **Boletim regional, urbano e ambiental**, v. 05, p. 123-139, jun. 2011

CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Oficina Nacional: transporte e mudança climática**. Brasília, 2009.

COLVILE, R. N.; HUTCHINSON, E. J.; MINDELL, J. S.; WARREN, R. F.. The transport sector as a source of air pollution. **Atmospheric Environment**, v.35, p.1537-1565, 2001.

COLVILE, R. N.; KAUR, S.; BRITTER, R.; ROBINS, A.; BELL, M. C.; SHALLCROSS, D.; BELCHER, S. E.. Sustainable development of urban transport systems and human exposure to air pollution. **Science of the Total Environment** v.334, n.335, p.481–487, 2004. DOI: <http://10.1016/j.scitotenv.2004.04.052>

COSTABILE, F.; ALLEGRI, I.. A new approach to link transport emissions and air quality: An intelligent transport system based on the control of traffic air pollution. **Environmental Modelling & Software**, v.23, n.3, p.258-267, 2008. DOI: <http://10.1016/j.envsoft.2007.03.001>

DAVIS, N.; LENTS, J.; OSSES, M.; NIKKILA, N.; BARTH, M.. Developing countries: development and application of an international vehicle emissions model. **Journal of the Transportation Research Board**, p.155-165, 2005.

DRUMM, F. C.; GERHARDT, A. E.; FERNANDES, G. D.; CHAGAS, P.; SUCOLOTTI, M. S.; KEMERICH, P. D. C.. Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.18, n.1, p.66, 2014.

DUARTE, E. S. F.. **Análise e caracterização do material particulado atmosférico fino em uma região metropolitana de Natal/RN**. Dissertação (Mestrado em Ciências Climáticas) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

GRAHAM, L. A.; RIDEOUT, G.; ROSENBLATT, D.; HENDREN, J.. Greenhouse gas emissions from heavy-duty vehicles. **Atmospheric Environment**, v.42, n.19, p.4665-4681, 2008.

HOEL, J. M.; DAVIS, D. D.; GREGORY, G. L.; MCNEAL, R. J.; BENDURA, R. J.; DREWRY, J. W.; BARRICK, J. D.; KIRCHHOFF, V. W. J. M.; MOTTA, A. G.; NAVARRO, R. L.; DORKO, W. D.; OWEN, D. W.. Operational overview of the NASA GTE/CITE 3 airborne instrument intercomparison for sulfur dioxide hydrogen, sulfide, carbonyl sulfide, dimethyl sulfide and carbon disulfide. **Journal of geophysical research**, v.98, n.D12, p.23291-23304, 1993. DOI:

<https://doi.org/10.1029/93JD00453>

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros**. Brasília: IPEA, 2011.

JACONDINO, G. B.; CYBIS, H. B. B.. Análise do efeito da agregação das variáveis do tráfego a estimativa de emissões veiculares. In: SEMANA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E TRANSPORTES, 3. **Anais**. Porto Alegre: UFRGS, 2003.

MAIMOUN, M. A.; REINHART, D. R.; GAMMOH, F. T.; BUSH, P. M.. Emissions from US waste collection vehicles. **Waste management**, v.33, n.5, p.1079-1089, 2013.

MCT. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília, 2010.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Compromisso pela Qualidade do Ar e Saúde Ambiental**. Brasília, 2011.

NESAMANI, K. S.. Estimation of automobile emissions and control strategies in India. **Science of the Total Environment**, v.408, n.8, p.1800–1811, 2010.

NORGATE, T.; HAQUE, N.. The greenhouse gas impact of IPCC and ore-sorting technologies. **Minerals Engineering**, v.42, p.8, 2013.

PEREIRA, D. D. B.. **Cenários de Emissões de Poluentes Atmosféricos pela Frota do Transporte Coletivo de Juiz De Fora/MG**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora/, 2014.

RAMACHANDRA, T. V.; SHWETMAL, A.. Emissions from India's transport sector: Statewise synthesis. **Atmospheric Environment**, v.43, n.34, p.5510–5517, 2009.

RHIND, S. M.. Anthropogenic pollutants: a threat to ecosystem sustainability?. **Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci**, v.364, n.1534, p.3391-3401, 2009.

RIBEIRO, S. K., MATTOS, L. B. R.. **A importância do setor de transporte rodoviário no aquecimento global: caso da cidade do Rio de Janeiro**. 2005.

ROMAN, V. V. L.; CARVALHO JR., J. A.; NASCIMENTO, L. F.; CESAR, A. C. G.. Efeitos de poluentes do ar e doenças respiratórias utilizando dados estimados por modelo matemático. **Rev. Ambient. Água**, v.10, n.4, p.825-831, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1592>

SALDIVA, P.; BRAGA, A.; BÖHM, M. G.; AMADOR, L. A.. Poluição Atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, São Paulo, n.51, p.58-71, 2001.

SILVA, C. M. S.; SANTOS, A. R. S. E.. Perspectivas da qualidade do ar na cidade de Natal/RN. **Parque da cidade em Revista**, v.5, n.5, p.18-23, 2016.

SUREDAN, D. E.; GHUDE, S. D.; BEIG, G.; JENA, C.; CHATE, D. M.. Quantifying the sectoral contribution of pollution transport from South Asia during summer and winter monsoon seasons in support of HTAP-2

experiment. **Atmospheric Environment**, v.145, p.60-71. 2016. DOI: <http://10.1016/j.atmosenv.2016.09.011>

TAVARES, J. L.; DANTAS, J. T.; NOGUEIRA, E. B.; FERRAZMOURA, C. G. B.. Estratégias para o Controle de Emissões Gasosas da Frota de Ônibus Urbanos do Município do Natal - RN. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 13. **Anais**. Rio de Janeiro: ABES, 2008.

TAVARES, J. L.; FERREIRA, A. G.. Mensuração das emissões de poluentes atmosféricos de origem veicular na cidade de Natal/RN. In: CONNEPI - CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 7. **Anais**. Palmas, 2012.

TEOLDI, F.; LODI, M.; BENFENATI, E.; COLOMBO, A.; BADERNA, D.. Air quality in the Olona Valley and in vitro human health effects. **Science of The Total Environment**, v.579, p.1929-1939, 2017.

VORMITTAG, E. M. P. A. A.; COSTA, R. R.; BRAGA, A. A.; MIRANDA, M.; NASCIMENTO, N. C.; SALDIVA, P. H. N..

**Monitoramento da Qualidade do Ar no Brasil**. Brasília: Instituto Saúde e Sustentabilidade, 2014.

WALLERIUS, H. C.. Renovação da frota de caminhões como medida de mitigação de emissões de poluentes atmosféricos. **Tecnologia**, v.5, n.2, p.163-179, 2016.

YANG, C.; MCCOLLUM, D.; MCCARTHY, R.; LEIGHTY, W.. Meeting an 80% reduction in greenhouse gas emissions from transportation by 2050: A case study in California. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v.14, n.3, p.147-156, 2009.

ZHITENKO, L. P.; KISELEVA, I. N.; KHOMUTOVA, E. G.. Methods for Studying Anthropogenic Environmental Pollution with Platinum Group Metals (Review). **Inorganic Materials**, v.52, n.14, p.5-11, 2016.

ZURITA, M. L. L.; TOLFO, A. M. A.. **A qualidade do ar em Porto Alegre**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2000.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.