

5

Efeito da política pública de restrição ao tráfego de veículos pesados na qualidade do ar no município de São Paulo: estudo de caso¹

Evandro Davi Cobo
João Vicente de Assunção

INTRODUÇÃO

Os veículos automotores a combustão, classificados como fontes móveis, são responsáveis por emissão de poluentes atmosféricos nocivos à saúde e ao meio ambiente.

A deterioração da qualidade do ar ocasiona mais ida a hospitais e perdas de dias de trabalho para atendimento médico, também ocasiona maior número de mortes (ESTEVEZ et al., 2004).

Os principais poluentes emitidos por veículos a diesel causam danos à saúde e ao meio ambiente. O óleo diesel é o principal combustível

¹ Este capítulo tem como base a dissertação do primeiro autor. COBO, Evandro Davi. Efeito de política pública de restrição ao tráfego de veículos pesados na qualidade do ar do município de São Paulo: estudo de caso. 2021. Dissertação (Mestrado em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

utilizado no transporte de cargas, do modal rodoviário fortemente utilizado na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). A emissão de poluentes por esses veículos movidos a diesel também causa prejuízos econômicos por essa degradação. Por outro lado, a redução dos poluentes nas vias do município relaciona-se com melhores condições à qualidade de vida.

O grande número de veículos pesados, usando óleo diesel circulando pelas vias da cidade de São Paulo é responsável por quantidades elevadas de emissão de poluentes, que ocasionam deterioração do ar. Dentre os diversos poluentes atmosféricos, os principais provenientes de fontes de veículos diesel são Material Particulado (MP), óxidos de nitrogênio (NO_x), e dióxido de enxofre (SO_2). Diante disso torna-se importante o estudo da influência na qualidade do ar do tráfego destes veículos nos principais corredores viários no município de São Paulo.

Utilizando-se de medidas restritivas municipais, em especial da Portaria da Secretaria Municipal de Transportes (SMT) nº 84 de 24 de agosto de 2010 (SÃO PAULO, 2010), que estabeleceu a restrição de veículos pesados a partir de 2010 nas Vias Estruturais Restritas (VER), que inclui a Avenida dos Bandeirantes, torna-se possível realizar um comparativo do impacto na qualidade do ar das emissões desses veículos no período sem restrição e no período pós restrição.

OBJETIVO

Objetivo Geral

Verificar a influência de políticas públicas, em relação à restrição de circulação de veículos pesados, na qualidade do ar, em São Paulo, por meio de estudo de caso.

Objetivos Específicos

Identificar como as emissões de veículos pesados impactam a qualidade do ar tendo como referência os poluentes $\text{MP}_{2,5}$, MP_{10} e NO_x e SO_2 e as restrições à circulação de veículos pesados na Av. dos Bandeirantes, no município de São Paulo.

Elaborar produto bibliográfico técnico sugerindo medidas complementares para melhorar a eficácia de políticas públicas de restrição à circulação de veículos, em relação a poluição do ar.

MÉTODO

Foi utilizado o método do estudo de caso, considerando a Portaria SMT 84/2010, que inclui a Avenida dos Bandeirantes, a qual serviu de base para este estudo.

A Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) realizou, de 1977 a 1987, pesquisas anuais de volume de tráfego, medindo simultaneamente os volumes de tráfego de veículos e os tempos de percurso em 15 dos principais corredores de tráfego da cidade de São Paulo. Estas atividades foram suspensas em 1988 e retomadas em 1991. Em 1992, o total de rotas pesquisadas passou de 15 para 30, possibilitando o acompanhamento das condições de tráfego não só no sistema viário das áreas centrais como nas periféricas (CET, 2006).

Foram considerados os períodos de tráfego permitido de caminhões da Av. dos Bandeirantes de 2005 a 2010 e o período de restrição de 2010 a 2015 de acordo com a Portaria SMT 84/2010 regulamentando a proibição do trânsito de caminhões de segunda-feira a sexta-feira das 5h00 às 21h00 e aos sábados das 10h00 às 14h00.

Utilizando-se dos dados dos relatórios da CET (2020) e a Portaria SMT 84/2010, viu-se a oportunidade de analisar a qualidade do ar com essa restrição. Para isso foi realizada uma pesquisa exploratória com estudo de caso tendo como base a Av. dos Bandeirantes, que é uma importante ligação entre a Marginal Pinheiros e Baixada Santista, com trânsito intenso de veículos pesados. Foram considerados como período de estudo, cinco anos anteriores a restrição de veículos pesados na via, e cinco anos posteriores a restrição, a fim de apresentar um comparativo sobre esses dois períodos. Utilizou-se a média do tráfego do total de caminhões extraídos dos relatórios da CET (2020), de 2006 a 2016, sobre a monitorização da fluidez do sistema viário no município de São Paulo, dos caminhões de dois eixos, três eixos e quatro eixos ou +, com pontos de contagens bidirecionais no período da manhã (07h00 às 10h00), e período da tarde (17h00 às 20h00), sendo esses os períodos com maiores volumes de tráfego. Os valores de volumes de tráfego de caminhões foram somados e divididos pelo número de horas da amostragem nos respectivos horários de contagem dos períodos da manhã e tarde gerando a unidade volume/hora.

Foram considerados para este trabalho os poluentes MP, NO_x e SO₂, sendo os caminhões, geralmente movidos a óleo diesel, os principais emissores destes poluentes conforme Figura 1.

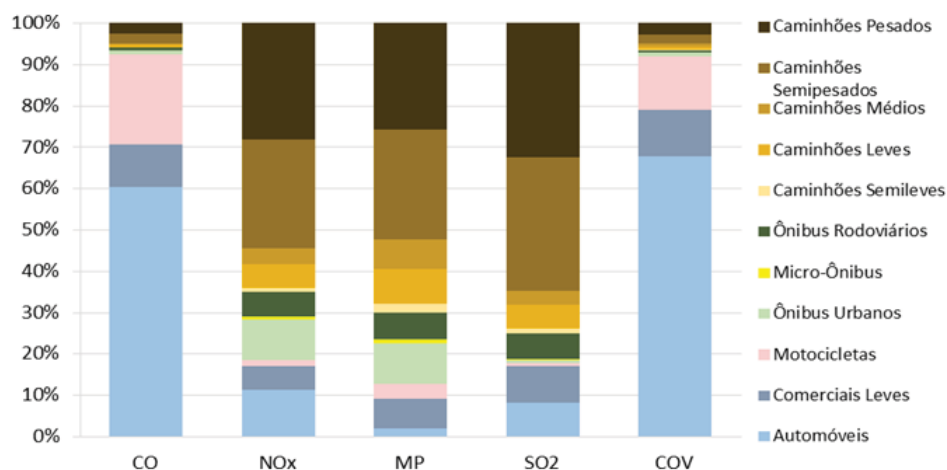


Figura 1 - Contribuição relativa de cada categoria na emissão de poluentes no Estado de São Paulo

Fonte: CETESB (2020a)

1. Contribuição conforme estudo de modelo receptor para partículas inaláveis.

A contribuição dos veículos (40%) foi rateada entre os veículos de acordo com os dados de emissão disponíveis.

nd: não disponível.

Obs.: Ano de referência do inventário de fontes móveis: 2015.

De acordo com a Figura 1, a contribuição relativa das fontes de poluição do ar na RMSP apresenta o MP, NO_x e SO₂ associados em maior parte aos caminhões pesados e semipesados. Os caminhões apresentam-se como principais fontes desses poluentes, o que possibilitou a comparação anterior e posterior à restrição de veículos pesados na Av. dos Bandeirantes.

A estação de monitoramento de qualidade do ar da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) Congonhas é uma estação de microescala pela proximidade a via de tráfego intenso de veículos (CETESB, 2020b). Na Figura 2 é apresentada a localização da estação de qualidade do ar da CETESB Congonhas. Observa-se que a localização da estação de monitoramento de qualidade do ar da CETESB, próxima a Av. dos Bandeirantes, possibilitando então eficaz monitoramento da qualidade do ar nessa via, principalmente das fontes veiculares que são os maiores emissores.

Obteve-se a média horária da concentração dos poluentes MP₁₀, MP_{2,5}, NO_x e SO₂. O poluente MP_{2,5} teve início da sua medição na estação de monitoramento de qualidade do ar da CETESB Congonhas a partir de 2011,

sendo possível a coleta dos dados desse poluente dessa data em diante. Os dados foram extraídos do sistema Qualidade do Ar da CETESB (QUALAR).

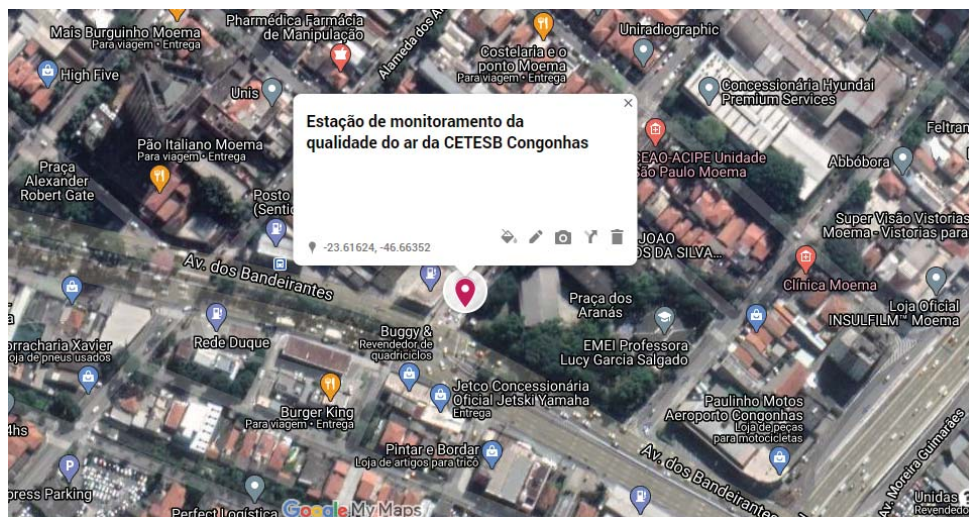


Figura 2 - Localização da estação de qualidade do ar da CETESB Congonhas

Fonte: Google Maps (2021)

Utilizando-se o *software* Microsoft EXCEL 2010, foi analisado o volume de caminhões referentes aos anos estudados. Analisou-se a média horária da evolução das concentrações dos poluentes no período 2005-2015, na estação de monitoramento da qualidade do ar Congonhas dos poluentes MP_{10} , $MP_{2,5}$, NO_x e SO_2 utilizando-se do *software* Openair (CARSLAW; ROPKINS, 2012), e gráficos da média horária desses poluentes segundo dia da semana, hora e mês.

Correlação dos poluentes com volume de caminhões na Av. dos Bandeirantes

Foi realizada estatística descritiva e análise de correlação entre o fluxo de veículos e a qualidade do ar. Com isso, por meio do *software* Microsoft EXCEL 2010, determinou-se a correlação entre os poluentes NO_x , MP_{10} , $MP_{2,5}$ e SO_2 considerando o volume de tráfego em cada sentido da via e os períodos da manhã e da tarde.

Após o cálculo da correlação de r calculou-se a significância de r , ambos realizados por meio do *software* Microsoft EXCEL 2010, a fim de interpretar se as amostras utilizadas e os resultados apresentaram confiabilidade.

Em estatística, a questão da significância é dada por hipótese nula. Essa hipótese assume que determinado valor estatístico foi obtido por acaso, e não a realidade que obteve o resultado. Para a confiabilidade de 95% quando o valor p é menor que 0,05 rejeita-se a hipótese nula e confirma a confiabilidade e significância estatística.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Média de volume anual de caminhões na Av. dos Bandeirantes, no período 2005-2015

No período de 2005-2015 foi realizado o levantamento do volume de caminhões de acordo com os anos de interesse na pesquisa, obtendo os gráficos em que pode ser observada a curva do volume/hora de caminhões (dois eixos, três eixos e quatro ou + eixos) x ano.

Os gráficos gerados permitem melhor visualização do volume/hora de caminhões nos anos referentes à pesquisa, relacionando o aumento ou queda do número de caminhões na Av. dos Bandeirantes no período de estudo.

Na Figura 3 é apresentado o valor da média de volume/hora de caminhões nos dias de semana, excluindo os finais de semana, conforme resumo do corredor de tráfego por faixa horária de caminhões na Av. dos Bandeirantes, sentido Rod. Anchieta – Marginal Pinheiros, pela manhã das 07h00 às 10h00, segundo número de eixos, no período de 2005-2015.

Observa-se aumento do volume/hora de caminhões de 2005 a 2006 com queda acentuada para os caminhões de dois eixos, até 2010, quando volta a subir em 2011 e apresenta queda nos anos seguintes e depois leve crescimento em 2015. Para os caminhões de três eixos observa-se aumento de 2005 a 2006, apresentando queda de 2006 a 2010 e leves oscilações até 2012, quando teve leve crescimento. Após 2013 registra discreta queda. Para os caminhões de quatro ou + eixos observa-se aumento de 2005 a 2006 e queda até 2008, com ligeiro aumento em 2009, e depois queda acentuada em 2009 até 2010, a partir daí apresenta leves oscilações.

Nota-se que as restrições ao trânsito de caminhões na Av. dos Bandeirantes diminuíram significativamente o volume/hora de caminhões nos anos pós 2010, no sentido Rod. Anchieta – Marg. Pinheiros. A diminuição

no volume/hora de caminhões reduz a emissão de poluentes e colabora para que o trânsito flua melhor. Opções como a construção do trecho Sul do Rodoanel favoreceram o desvio desses caminhões por outras rotas, além de outras medidas de restrição à circulação de caminhões no período 2005 a 2010 que tiveram repercussão na Av. Bandeirantes.

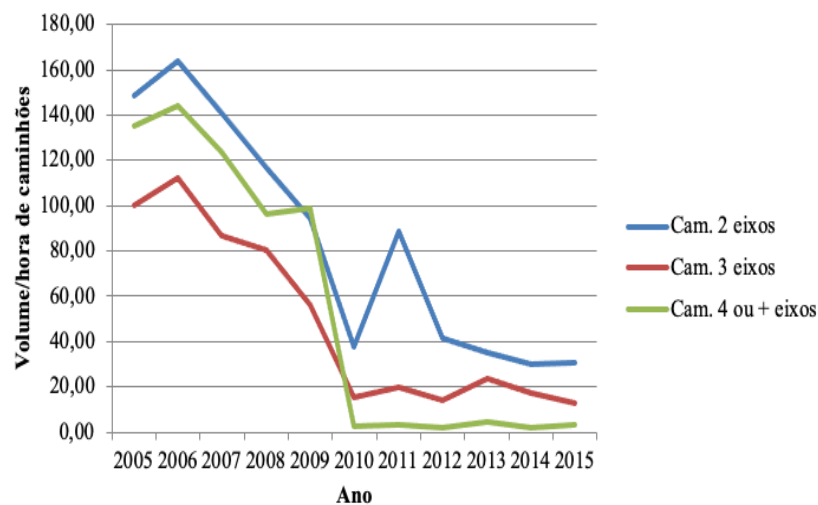


Figura 3 - Valor médio do volume/hora de caminhões na Av. dos Bandeirantes, sentido Rod. Anchieta - Marginal Pinheiros, período da manhã, segundo número de eixos, período 2005-2015

Fonte: Elaboração própria com dados da CET, 2006 a 2016

Na Figura 4 é apresentado o valor médio do volume/hora de caminhões, nos dias de semana, excluindo os finais de semana, conforme resumo do corredor de tráfego por faixa horária de caminhões na Av. dos Bandeirantes sentido Rod. Anchieta - Marginal Pinheiros, período da tarde das 17h00 às 20h00, segundo número de eixos, no período 2005-2015.

Constata-se na Figura 4 oscilações no aumento do volume/hora de caminhões de dois eixos em 2007, com queda significativa em 2010, e aumento do volume/hora em 2011, com leves oscilações nos anos seguintes. Para os caminhões de três eixos têm queda de 2005 a 2010 com ligeiro aumento em 2007 e 2009 e queda acentuada em 2010, com leves oscilações de 2010 a 2015. Para os caminhões de quatro ou + eixos observa-se pequeno

aumento no volume/hora em 2006, e queda acentuada até 2010, com leves oscilações nos anos seguintes.

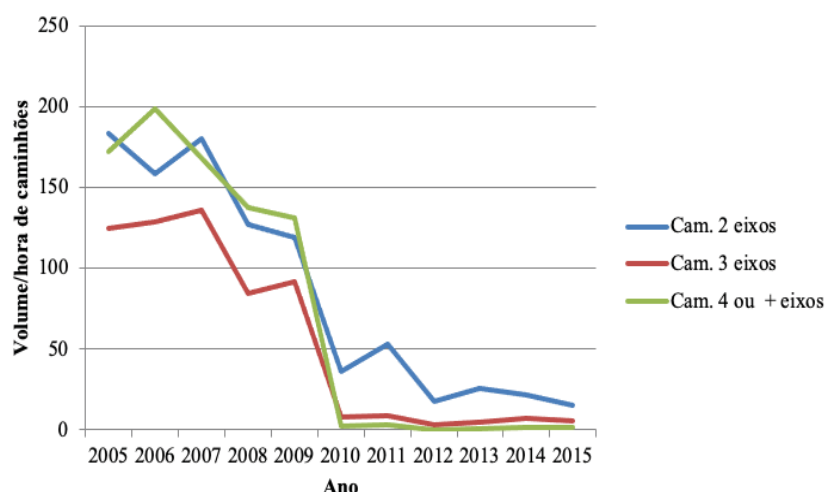


Figura 4 - Valor médio do volume/hora de caminhões na Av. dos Bandeirantes sentido Rod. Anchieta - Marginal Pinheiros, período da tarde, segundo número de eixos, período 2005-2015

Fonte: Elaboração própria com dados da CET, 2006 a 2016.

Observa-se queda brusca de caminhões na Av. dos Bandeirantes a partir de 2010.

A restrição de veículos pesados nas vias da cidade é benéfica para o município e apresenta alternativas para o trânsito de caminhões, desviando os veículos do centro da cidade.

Temos na Figura 5 o gráfico do volume/hora de caminhões dos dias de semana, excluindo os finais de semana, conforme resumo do corredor de tráfego por faixa horária de caminhões na Av. dos Bandeirantes, sentido Marginal Pinheiros - Rod. Anchieta, período da manhã das 07h00 às 10h00, segundo número de eixos, no período 2005-2015.

A Figura 5 apresenta queda no volume/hora de caminhões de 2005 a 2010 e aumento no volume/hora de caminhões de dois eixos em 2011, que de acordo com o Decreto Municipal 48338/2007 permitiu o fluxo de caminhões Veículo Urbano de Carga (VUC), que tendem a ser mais novos e menos emissor de poluentes. Essa permissão deve ter estimulado a utilização dos caminhões de dois eixos como os VUCs, após o período

de restrição dos veículos de três eixos e quatro ou + eixos de acordo com a Portaria SMT 84/2010.

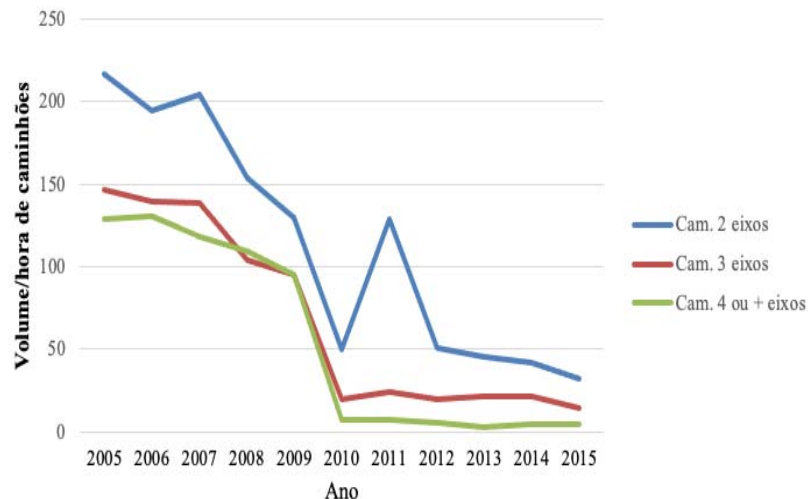


Figura 5 - Valor médio do volume/hora de caminhões na Av. dos Bandeirantes, sentido Marginal Pinheiros – Rod. Anchieta, período da manhã, segundo número de eixos, período 2005-2015

Fonte: Elaboração própria com dados da CET, 2006 a 2016

Algumas vias apresentam grande circulação de caminhões como a Av. Salim Farah Maluf e a Marginal Tietê. A ocorrência de desvio das rotas desses caminhões para outras vias, mais distantes de áreas residenciais, beneficiariam a saúde da população e contribuiriam para fluidez do trânsito. A construção do trecho norte do Rodoanel serviria como alternativa de interligação das rodovias no município de São Paulo, promovendo estímulo para caminhões de outras regiões, circularem pelas áreas marginais da RMSP.

Na Figura 6 é apresentado o gráfico do volume/hora de caminhões dos dias de semana, excluindo os finais de semana, conforme resumo do corredor de tráfego por faixa horária de caminhões na Av. dos Bandeirantes sentido Marginal Pinheiros – Rod. Anchieta período da tarde das 17h00 às 20h00, segundo número de eixos, no período 2005-2015.

Nota-se, na Figura 6, queda no volume/hora de caminhões de 2005 a 2008 com leve aumento em 2009, e queda acentuada até 2010, com aumento em 2011 e queda no ano seguinte com leves oscilações nos anos posterior-

res. Assim como nos outros sentidos e períodos a diminuição do volume/hora, de 2005 a 2010, foi acentuada, resultando nas consequências anteriormente citadas.

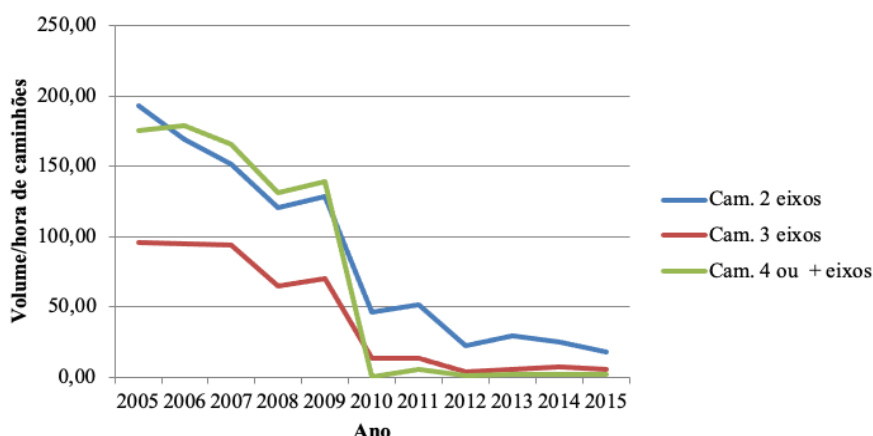


Figura 6 - Valor médio do volume/hora de caminhões, na Av. dos Bandeirantes sentido Marginal Pinheiros – Rod. Anchieta, segundo número de eixos, período 2005-2015

Fonte: Elaboração própria com dados da CET, 2006 a 2016

Algumas restrições legais podem ter impactado o volume/hora na Avenida Bandeirantes no período 2005 a 2010 até entrar em vigor a Portaria SMT 84/2010.

Um exemplo é o Plano Diretor Estratégico, Lei nº 13.430, de 13 de setembro de 2002 complementado pela Lei nº 13.885, de 25 de agosto de 2004 (SÃO PAULO, 2004), que estabeleceu restrição a caminhões nas ZER's (Zonas Exclusivamente Residenciais). Esta lei pode ter causado menor trânsito de caminhões na Av. dos Bandeirantes por ter restringido o acesso por vias com menores fluxos. Eventualmente pode ter concentrado o fluxo nas vias que suportam maior fluxo.

Outro exemplo é o Decreto municipal de São Paulo nº 48338 de 10 de maio de 2007 (SÃO PAULO, 2007) estabeleceu normas para o trânsito de caminhões e para operações de carga e descarga em estabelecimentos situados no município de São Paulo, introduzindo a figura do VUC, de menor porte e com exigência de atendimento a fases mais recentes do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores (PROCONVE) criada pela Resolução CONAMA nº18 de 1986, e as Zonas de Máxima Res-

trição à Circulação (ZMRC). Esse decreto pode ter impactado a circulação de caminhões mais pesados e mais poluentes na Av. dos Bandeirantes ocasionando menor fluxo deles. O horário estabelecido para restrição foi de segunda a sexta-feira das 10h00 às 20h00 e aos sábados das 10h00 às 14h00. As operações de carga e descarga foram limitadas a horários reduzidos, podendo ser realizadas somente das 0h00 às 6h00 e das 22h00 às 24h00, de segunda a sexta-feira, aos sábados das 0h00 às 6h00 e das 14h00 às 24h00, sendo proibidas aos domingos e feriados.

Evolução das concentrações médias horárias dos poluentes no período 2005-2015, na estação Congonhas

Durante os anos de pesquisa, a estação de monitoramento da qualidade do ar Congonhas permitiu observar a evolução dos níveis de concentrações médias horárias de poluentes no período anterior e posterior à restrição de caminhões na Av. dos Bandeirantes, bem como o período do ano, dia e horários em que ocorrem as maiores concentrações de poluentes.

Os dados foram extraídos do sistema QUALAR da CETESB (<https://cetesb.sp.gov.br/ar/qualar/>), campo consulta, exportar dados avançados, estação Congonhas. A princípio foram selecionados três parâmetros máximos permitidos MP_{10} , $MP_{2,5}$ e NO_x do dia 1º do mês de janeiro ao dia 31 do mês de dezembro dos anos de 2005 a 2015. Após exportar os dados desses poluentes, em seguida foi exportado para o parâmetro SO_2 no mesmo período.

Apresentou-se maior concentração de MP_{10} nos anos de 2005, 2006, 2007 e 2008. Ocorreram maiores concentrações nos meses de inverno, quando a concentração do poluente é mais intensa. No período anterior a restrição de caminhões na Av. dos Bandeirantes, há concentrações elevadas do MP_{10} no período de tráfego intenso, assim como no período noturno como das 0h00 às 6h00 horas, quando a concentração de poluentes também se mostra maior se comparada a outros horários, como próximo das 12h00, período com menor concentração de MP_{10} .

Nos anos seguintes a partir de 2009 a concentração do poluente passa a ser inferior aos anos anteriores, conforme há redução de caminhões na via, o que ocorre de forma mais acentuada a partir de 2009.

O período de julho de 2005 a abril de 2006 não apresentou dados no sistema QUALAR, impossibilitando a obtenção dos dados deste poluente neste período.

Para o $MP_{2,5}$ a concentração se apresenta maior nos meses de inverno, devido a condições mais estáveis da atmosfera e menor volume de chu-

vas. O $MP_{2,5}$ está relacionado com as emissões dos veículos diesel. Maiores concentrações no período entre 23h00 e 6h00 com menores concentrações desse poluente no período da tarde.

O NO_x apresentou grande concentração do poluente NO_x , nos anos de 2005 a 2009, e a queda da concentração em 2010, apesar da ocorrência, de significativa presença do poluente. A partir de 2011 até 2015, ocorreu menor concentração de NO_x que coincide com o início do período de restrição de caminhões na Av. dos Bandeirantes pela Portaria SMT 84/2010.

O período de outubro de 2005 a maio de 2006 e abril de 2013 a novembro de 2013 não apresentou dados no sistema QUALAR, impossibilitando a obtenção dos dados de concentração de poluentes neste período. No horário da 01h00 também não houve registro dos dados devido à calibração do equipamento.

O SO_2 apresentou maiores concentrações de 2005 a 2010 e queda a partir de 2010, com a restrição dos caminhões pela Portaria SMT 84/2010. A diminuição do teor de enxofre no óleo diesel também contribuiu para que ocorressem menores emissões desse poluente. No período de abril de 2006 a dezembro de 2006 não houve registro dos dados, assim como as 04h00 período que ocorre a calibração do equipamento de leitura dos gases.

Variação das concentrações dos poluentes segundo dia da semana, hora e mês, na estação Congonhas

A variação das concentrações médias horárias dos poluentes conforme dia da semana, hora e mês, na estação de monitoramento da qualidade do ar Congonhas, permite visualizar os dias da semana, o horário e os meses com maiores concentrações de poluentes no ano.

Na Figura 7 é apresentada a variação das concentrações médias horárias de MP_{10} na estação de monitoramento da qualidade do ar Congonhas no período 2005-2015, que pode ser observada maior concentração de acordo com os períodos sem restrição de veículos pesados na Av. dos Bandeirantes.

Observa-se, na Figura 7, o pico de concentração do poluente no período noturno próximo às 0h00 que tende a diminuir nos horários posteriores, apresentando crescimento no período da manhã e oscilando nos horários posteriores, apresentando pico acentuado no início da noite e queda nos horários posteriores, voltando a subir até atingir o pico próximo às 0h00.

Em relação à sazonalidade, o período de inverno apresentou maiores concentrações, devido à menor dispersão dos poluentes e menor umidade, tendo a concentração reduzida nos períodos de maior umidade, melhor

condição de dispersão de poluentes, como o verão, com maior ocorrência de chuvas.

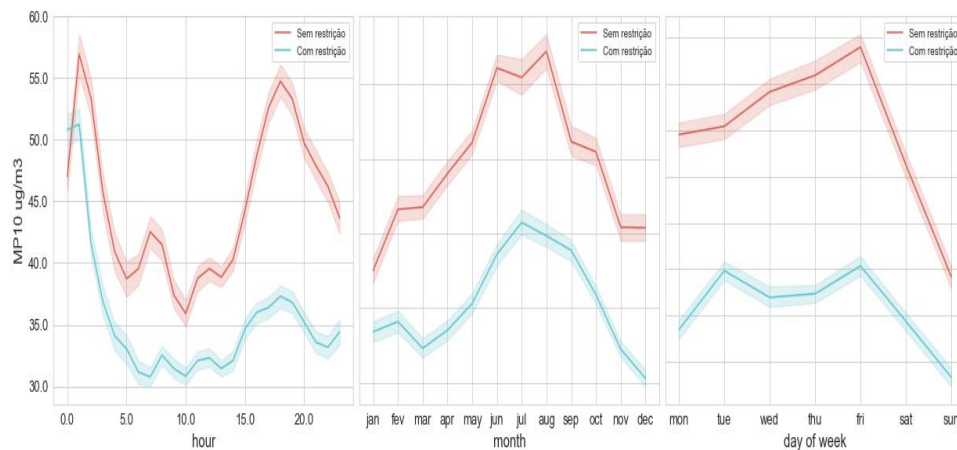


Figura 7 - Variação das concentrações médias horárias de MP_{10} segundo dia da semana, hora e mês, na estação de monitoramento da qualidade do ar Congonhas, período 2005-2015

Fonte: Elaboração própria com dados da CETESB/QUALAR

Na distribuição de poluentes pelos dias da semana e horários, observa-se que entre terça-feira e sexta-feira a concentração de poluentes se apresenta maior do que sábado e domingo, aumentando na segunda-feira e voltando a apresentar maiores concentrações de terça-feira a sexta-feira. Isso está associado ao maior fluxo de veículos durante a semana que tende a diminuir aos fins de semana.

Na Figura 8 é apresentada a variação das concentrações médias horárias de $MP_{2,5}$ segundo dia da semana, hora e mês, na estação de monitoramento da qualidade do ar Congonhas, no período 2011-2015, onde podem ser observados períodos de maior ocorrência da concentração de poluentes.

Observa-se, na Figura 8, a concentração de $MP_{2,5}$ mais elevada no período noturno assim como ocorre para o MP_{10} , apresentando queda após as 0h00, quando volta a subir após as 10h00 oscilando no período da tarde, voltando a subir a noite, a restrição de veículos pesados durante o dia e a permissão da circulação de veículos pesados durante a noite pode ter aumentado as concentrações de $MP_{2,5}$ durante a madrugada, devido as emissões dos caminhões nesse período. Referente aos meses do ano, o $MP_{2,5}$ apresenta maior concentração nos meses de inverno período em que as con-

dições de dispersão de poluentes são piores e os dias são menos chuvosos, apresentando menor concentração de poluentes nos meses mais chuvosos. Sobre os dias da semana apresenta-se com menores concentrações aos finais de semana, dias estes com menor volume de tráfego de veículos.

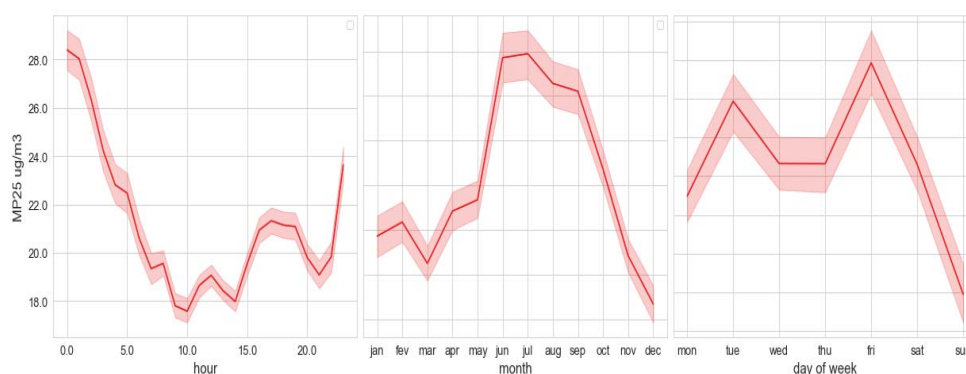


Figura 8 - Variação das concentrações médias horárias de $MP_{2.5}$ segundo dia da semana, hora e mês, na estação de monitoramento da qualidade do ar Congonhas, período 2011-2015

Fonte: Elaboração própria com dados da CETESB/QUALAR

Na Figura 9 é apresentada a variação das concentrações médias horárias de NO_x segundo dia da semana, hora e mês, na estação de monitoramento da qualidade do ar Congonhas, no período 2005-2015, onde pode ser observado a ocorrência da concentração de poluentes de acordo com os períodos sem restrição de veículos pesados e com restrição de veículos pesados na Av. dos Bandeirantes, pela Portaria SMT 84/2010.

Nota-se, na Figura 9, a concentração de NO_x , no período sem restrição e com restrição. No período sem restrição de veículos pesados pela Portaria SMT 84/2010 apresenta picos de concentração no período da manhã e no final da tarde. No período com a restrição em referência observa-se pico no período da manhã e menor pico de concentração de poluentes no final da tarde, comparado ao período a sem restrição em referência.

Assim como ocorre com o MP_{10} a maior concentração do poluente no ano se dá nos meses de inverno devido a menor dispersão atmosférica e baixa umidade.

Durante os dias da semana ocorrem maiores concentrações dos poluentes de terça-feira a sexta-feira, diminuindo aos fins de semana que volta

a subir às segundas-feiras. Assim como o MP_{10} isso se dá pela maior circulação de veículos durante a semana do que nos fins de semana.

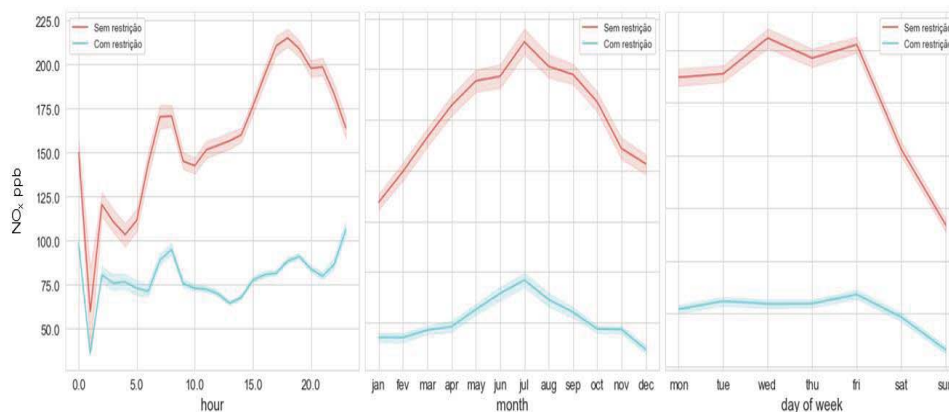


Figura 9 - Variação das concentrações médias horárias de NO_x segundo dia da semana, hora e mês, na estação de monitoramento da qualidade do ar Congonhas, período 2005-2015

Fonte: Elaboração própria com dados da CETESB/QUALAR

Na Figura 10 é apresentada a variação das concentrações médias horárias de SO_2 segundo dia da semana, hora e mês, na estação de monitoramento da qualidade do ar Congonhas, no período 2005-2015, que pode ser observado maior ocorrência da concentração de acordo com os períodos, sem restrição de veículos pesados e com restrição de veículos pesados na Av. dos Bandeirantes.

O pico de concentração de SO_2 ocorre no final da tarde, observa-se que a concentração começa apresentar queda no início da noite até o início da manhã, voltando a subir durante o dia.

Na Figura 10 atenta-se a variação das concentrações de SO_2 de acordo com os dias da semana. As concentrações apresentaram crescimento de segunda-feira a sexta-feira e menores concentrações nos finais de semana, associadas à menor circulação de veículos nesses dias.

Durante o ano observa-se que as concentrações de SO_2 são maiores nos meses de inverno, período que ocorrem piores condições de dispersão de poluentes, tendo seu pico em agosto para o período com restrição pela Portaria SMT 84/2010. Para o período sem restrição foram observadas maiores concentrações nos meses de inverno e em outubro. Nos meses de

verão as concentrações são menores devido ao período de chuvas e melhores condições de dispersão de poluentes.

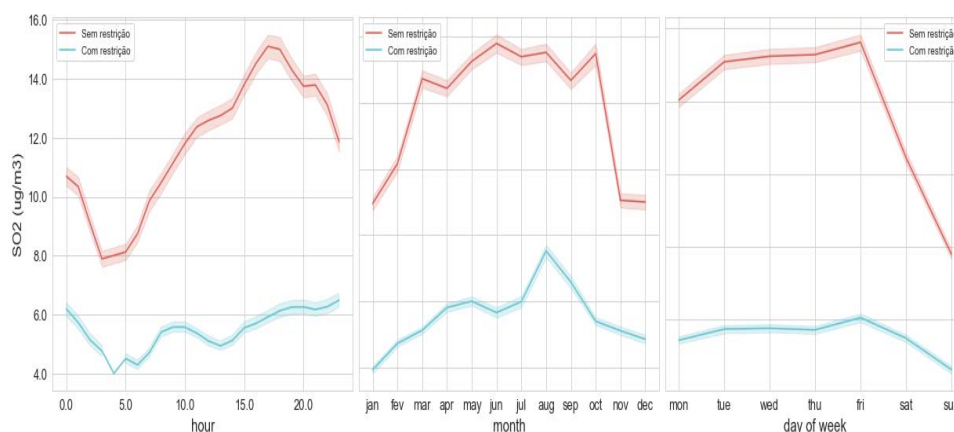


Figura 10 - Variação das concentrações médias horárias de SO₂ segundo dia da semana, hora e mês, na estação de monitoramento da qualidade do ar Congonhas, período 2005-2015

Fonte: Elaboração própria com dados da CETESB/QUALAR

Análise estatística

Serão apresentados os resultados encontrados da regressão linear da média do volume/hora de caminhões (eixo X) e média horária da respectiva concentração de poluentes (eixo Y) que permite avaliar o comportamento destas duas variáveis. O valor do coeficiente de correlação de Pearson (r) e respectivo valor p permite avaliar se há significância estatística na correlação. Foi adotado o nível de confiança de 95%.

A regressão linear do volume/hora de caminhões e respectiva média horária de concentração de NO_x com valores de correlação e significância, na Av. dos Bandeirantes sentido Rod. Anchieta-Marginal Pinheiros (período da manhã) apresentou uma correlação muito forte entre a média horária da concentração do poluente NO_x e o volume/hora de caminhões, com $r = 0,9432$, e valor $p = 0,000013$ apresentando significância estatística.

A regressão linear do volume/hora de caminhões e respectiva média horária de concentração de NO_x com valores de correlação e significância, na Av. dos Bandeirantes sentido Rod. Anchieta-Marginal Pinheiros

(período da tarde) apresentou uma correlação muito forte entre a média horária da concentração do poluente NO_x e o volume/hora de caminhões, com $r = 0,9516$, e valor $p = 0,000007$ apresentando significância estatística.

A regressão linear do volume/hora de caminhões e respectiva média horária de concentração de NO_x com valores de correlação e significância, na Av. dos Bandeirantes sentido Marginal Pinheiros-Rod. Anchieta (período da manhã) apresentou uma correlação muito forte entre a média horária da concentração do poluente NO_x e o volume/hora de caminhões, com $r = 0,9435$, e valor $p = 0,000013$ apresentando significância estatística.

A regressão linear do volume/hora de caminhões e respectiva média horária de concentração de NO_x com valores de correlação e significância, na Av. dos Bandeirantes sentido Marginal Pinheiros-Rod. Anchieta (período da tarde) apresentou uma correlação muito forte entre a média horária da concentração do poluente NO_x e o volume/hora de caminhões, com $r = 0,9519$, e valor $p = 0,000006$ apresentando significância estatística.

A regressão linear do volume/hora de caminhões e respectiva média horária de concentração de MP_{10} com valores de correlação e significância, na Av. dos Bandeirantes sentido Rod. Anchieta-Marginal Pinheiros (período da manhã), apresentou uma correlação muito forte entre a média horária da concentração do poluente MP_{10} e o volume/hora de caminhões, com $r = 0,9136$, e valor $p = 0,000084$ apresentando significância estatística.

A regressão linear do volume/hora de caminhões e respectiva média horária de concentração de MP_{10} com valores de correlação e significância, na Av. dos Bandeirantes sentido Rod. Anchieta-Marginal Pinheiros (período da tarde) apresentou uma correlação forte entre a média horária de concentração do poluente MP_{10} e o volume/hora de caminhões, com $r = 0,8845$, e valor $p = 0,000299$ apresentando significância estatística.

A regressão linear do volume/hora de caminhões e média horária da respectiva concentração de MP_{10} com valores de correlação e significância, na Av. dos Bandeirantes sentido Marginal Pinheiros-Rod. Anchieta (período da manhã) apresentou uma correlação muito forte entre a média horária da concentração do poluente MP_{10} e o volume/hora de caminhões, com $r = 0,9078$, e valor $p = 0,00011$ apresentando significância estatística.

A regressão linear do volume/hora de caminhões e média horária da respectiva concentração de MP_{10} com valores de correlação e significância, na Av. dos Bandeirantes sentido Marginal Pinheiros-Rod. Anchieta (período da tarde) apresentou uma correlação forte entre a média horária da

concentração do poluente MP_{10} e o volume/hora de caminhões, com $r = 0,8899$, e valor $p = 0,000243$ apresentando significância estatística.

São apresentados os dados da regressão linear do volume/hora de caminhões e média horária da respectiva concentração de $MP_{2,5}$ com valores de correlação e significância, na Av. dos Bandeirantes sentido Rod. Anchieta-Marginal Pinheiros (período da manhã). Neste caso se referem somente ao período posterior à Portaria SMT 84/2010, por ausência de medição deste poluente no período anterior a ela, apresentou uma correlação moderada entre a média horária da concentração do poluente $MP_{2,5}$ e o volume/hora, com $r = 0,5357$, e valor $p = 0,352122$ acima de 0,05 que mostra que correlação não é estatisticamente significativa.

Apresenta-se os dados da regressão linear do volume/hora de caminhões e média horária da respectiva concentração de $MP_{2,5}$ com valores de correlação e significância, na Av. dos Bandeirantes sentido Rod. Anchieta-Marginal Pinheiros (período da tarde). Neste caso se referem somente ao período posterior à Portaria SMT 84/2010, por ausência de medição deste poluente no período anterior a ela, apresentou uma correlação forte entre a média horária da concentração do poluente $MP_{2,5}$ e o volume/hora de caminhões, com $r = 0,7155$, e valor $p = 0,174214$ acima de 0,05 que mostra que correlação não é estatisticamente significativa.

Os dados da regressão linear do volume/hora de caminhões e média horária da respectiva concentração de $MP_{2,5}$ com valores de correlação e significância, na Av. dos Bandeirantes sentido Marginal Pinheiros-Rod. Anchieta (período da manhã) é apresentado. Neste caso se referem somente ao período posterior à Portaria SMT 84/2010, por ausência de medição deste poluente no período anterior a ela, apresentou uma correlação moderada entre a média horária da concentração do poluente $MP_{2,5}$ e o volume/hora de caminhões, com $r = 0,6469$, e valor $p = 0,238068$ acima de 0,05 que mostra que a correlação não é estatisticamente significativa.

Observa-se a regressão linear do volume/hora de caminhões e média horária da respectiva concentração de $MP_{2,5}$ com valores de correlação e significância, na Av. dos Bandeirantes sentido Marginal Pinheiros-Rod. Anchieta (período da tarde). Neste caso os dados se referem somente ao período posterior à Portaria SMT 84/2010, por ausência de medição deste poluente no período anterior a ela, apresentou uma correlação moderada entre a média horária da concentração do poluente $MP_{2,5}$ e o volume/hora de caminhões, com $r = 0,6883$, e valor $p = 0,198889$ acima de 0,05 que mostra que a correlação não é estatisticamente significativa.

Os valores utilizados para cálculo de regressão linear da média do volume/hora de caminhões e respectiva concentração de $MP_{2,5}$ foram uti-

lizados a partir de 2011, período que já havia a restrição de caminhões na Av. dos Bandeirantes, apresentando diferença na quantidade de dados da média horária da respectiva concentração de $MP_{2,5}$ comparados a média horária das concentrações dos poluentes MP_{10} , NO_x e SO_2 , que foram coletados em período anterior e posterior ao início da restrição de caminhões na via pela Portaria SMT 84/2010.

A regressão linear do volume/hora de caminhões e a média horária da respectiva concentração de SO_2 com valores de correlação e significância, na Av. dos Bandeirantes sentido Rod. Anchieta-Marginal Pinheiros (período da manhã) apresentou correlação muito forte entre a média horária da concentração do poluente SO_2 e o volume/hora de caminhões, com $r = 0,9171$, e valor $p = 0,000070$ apresentando significância estatística.

A regressão linear do volume/hora de caminhões e a média horária da respectiva concentração de SO_2 com valores de correlação e significância, na Av. dos Bandeirantes sentido Rod. Anchieta-Marginal Pinheiros (período da tarde) apresentou correlação muito forte entre a média horária da concentração do poluente SO_2 e o volume/hora de caminhões, com $r = 0,9148$, e valor $p = 0,000080$ apresentando significância estatística.

A regressão linear do volume/hora de caminhões e a média horária da respectiva concentração de SO_2 com valores de correlação e significância, na Av. dos Bandeirantes sentido Marginal Pinheiros-Rod. Anchieta (período da manhã) apresentou correlação muito forte entre a média horária da concentração do poluente SO_2 e o volume/hora de caminhões, com $r = 0,9257$, e valor $p = 0,000044$ apresentando significância estatística.

A regressão linear do volume/hora de caminhões e a média horária da respectiva concentração de SO_2 com valores de correlação e significância, na Av. dos Bandeirantes sentido Marginal Pinheiros-Rod. Anchieta (período da tarde) apresentou correlação muito forte entre a média horária da concentração do poluente SO_2 e a queda do volume/hora de caminhões, com $r = 0,9391$, e valor $p = 0,000018$ apresentando significância estatística.

De acordo com as correlações e significância obtidas entre o volume/hora de caminhões e as concentrações dos poluentes NO_x , SO_2 e MP_{10} , observa-se que quanto maior o número de caminhões trafegando maior a concentração destes poluentes, com correlação estatisticamente significativa. O mesmo resultado foi obtido no estudo de Zhang et al. (2019), que realizou análise de correlação espacial de emissões de NO_x , PM e SO_2 , de caminhões pesados a diesel em 200 distritos de Pequim-Tianjin-Hebei, na China. O estudo mostrou que houve correlações positivas para os veículos pesados a diesel nos 200 distritos estudados da região.

CONCLUSÃO

Medidas de restrição à circulação de caminhões em vias do município de São Paulo se mostram favoráveis à menor emissão de poluentes. Após a restrição ao tráfego de veículos pesados (caminhões) na Av. dos Bandeirantes, em agosto de 2010, observou-se diminuição da concentração dos poluentes analisados, MP_{10} , NO_x e SO_2 , de acordo com os dados obtidos no período anterior e posterior a restrição dos veículos pesados na via. O que mostra que a política pública de restrição de veículos pesados na Av. dos Bandeirantes também foi eficaz na redução da poluição do ar provocada pela diminuição de emissões de veículos diesel.

Observou-se que a concentração de poluentes diminui aos fins de semana quando ocorre menor circulação de veículos na via, como era esperado.

De acordo com os resultados da análise estatística, a correlação da média do volume/hora de caminhões e concentração dos poluentes NO_x , MP_{10} e SO_2 , obtidos no período anterior e após a restrição ao tráfego de caminhões na Av. dos Bandeirantes, apresentou alta confiabilidade, mostrando correlação positiva estatisticamente significativa, com maior concentração de poluentes relacionado com maior número de caminhões trafegando na via. Demonstra que, quanto maior o volume de caminhões circulando em determinadas vias da cidade, maior deverá ser o impacto à saúde da população da região referente às emissões de MP_{10} , NO_x e SO_2 dos veículos diesel.

Em relação ao $MP_{2,5}$ não foram obtidas correlações com significância estatística, provavelmente devido ao menor período de coleta dos dados pela CETESB em relação aos outros poluentes deste estudo e ser posterior ao início da restrição de veículos pesados na Av. dos Bandeirantes, imposta pela Portaria SMT 84/2010. Dessa forma, não é possível afirmar que o poluente $MP_{2,5}$ apresenta o mesmo impacto que os outros poluentes estudados. No entanto, o $MP_{2,5}$ é parte do MP_{10} e existe relação entre as concentrações destes dois poluentes, conforme (WHO, 2006) e assim, pode-se esperar correlação semelhante à obtida para MP_{10} se os períodos de dados fossem iguais.

Com este estudo conclui-se que algumas medidas de restrição de tráfego são relevantes para diminuição da concentração de poluentes dos veículos diesel em vias da cidade de São Paulo.

Os poluentes do ar provenientes de emissões veiculares, em especial os provenientes das emissões de veículos diesel, como o MP , NO_x e SO_2 causam efeitos adversos à saúde e ao meio ambiente.

Medidas complementares para melhorar a eficácia de políticas públicas de restrição à circulação de veículos em relação à poluição do ar são benéficas, como metas mais restritivas, atendendo o Decreto Estadual 59113/2013 (SÃO PAULO, 2013), relacionadas à concentração de poluentes atmosféricos, para diminuir os impactos dos poluentes na saúde da população.

Manutenção preventiva periódica e eficaz dos veículos em uso e combustíveis de melhor qualidade serve como alternativa para minimização da concentração de poluentes na atmosfera.

Políticas municipais e estaduais para minimização da emissão de poluentes, e o programa PROCONVE, atuando na tecnologia veicular e legislações para regulação da emissão de poluentes, se apresentam como essenciais para melhoria da qualidade do ar.

A renovação da frota e incentivos para financiamentos de novos veículos e retirada de circulação de veículos com grande emissão de poluentes surgem como alternativas para circulação de veículos com melhores tecnologias e, por consequência, menores emissões de poluentes.

A fiscalização de emissão veicular de veículos em uso, movidos a diesel, apresenta-se como uma forma de combate ao excesso de emissão veicular e a penalidade deveria ser ampliada aos veículos de todos os Estados da Federação, uma vez que rodovias importantes do país atravessam a RMSP e veículos de outros estados também por aqui transitam.

A ampliação de outros modais de transporte como ferrovias podem beneficiar menores emissões de veículos diesel, substituindo transporte rodoviário com criação de zonas industriais e comerciais próximos a centros de distribuição abastecidos pela rede ferroviária a fim de diminuir os quilômetros percorridos por veículos diesel.

Alternativas de rotas para os veículos que atravessam o município de São Paulo poderiam ser utilizadas como o Rodoanel, que teve seus trechos ampliados nos últimos anos favorecendo o fluxo de veículos pesados, sem passar pelas áreas mais centrais da cidade.

A implementação de outras áreas de restrição de caminhões no município de São Paulo, em vias próximas a áreas residenciais que comportam grande fluxo de caminhões como Av. Salim Farah Maluf, corredor de acesso direto da Rodovia Presidente Dutra com a Rodovia Anchieta, se mostra relevante na diminuição do impacto das emissões de veículos pesados na qualidade do ar da cidade.

Pode ser sugerido, por exemplo, que de acordo com o ano-modelo de fabricação e fases do PROCONVE os veículos com menores emissões de poluentes teriam acesso a áreas restritas, denominadas de zonas de baixa

emissões de poluentes, enquanto os veículos com maiores emissões teriam restrição de circulação nessas áreas.

Todas essas medidas contribuem para menor impacto na saúde da população e promoção do desenvolvimento sustentável.

Finalmente, algumas limitações referentes ao estudo devem ser ressaltadas: vários fatores além daquele tido como base influenciam na concentração de poluentes devido a variáveis como condições meteorológicas que impactam na concentração dos poluentes na atmosfera. Outros fatores também podem impactar a emissão de poluentes no período estudado, como renovação da frota com novas fases de controle estabelecidas pelo PROCONVE que apresentam menor emissão de poluentes e redução do enxofre nos combustíveis que diminui a concentração de MP. Veículos leves podem contribuir para aumento de emissão de poluentes como o NO_x , que pode ter sido influenciado pelo aumento do volume de tráfego após a restrição de veículos pesados. Por não se tratar de um experimento controlado não é possível isolar as variáveis a fim de que seja direcionado apenas aos elementos estudados no trabalho.

REFERÊNCIAS

CARSLAW, D.C; ROPKINS, K. Openair - An R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software*, Manno, v. 27-28, p. 52-61, 2012.

CET - COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO. *Pesquisa de monitoração da fluidez*. Desempenho do sistema viário. Volumes 2005. Novembro/2006. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/media/228079/2005%20%20volumes%20e%20velocidades.pdf> Acesso em: 15 out. 2020.

CET - COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO. *Desempenho do sistema viário*. 2020. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/sobre-a-cet/relatorios-corporativos.aspx>. Acesso em: 15 out. 2020.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Emissões veiculares no Estado de São Paulo*, série relatórios, 2019. São Paulo, 2020a. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2020/11/Relatorio-Emissoes-Veiculares-no-Estado-de-Sao-Paulo-2019.pdf> Acesso em: 23 jun. 2020.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Relatório de qualidade do ar*, série relatórios, 2019. São Paulo, 2020b. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2020/07/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-do-Ar-2019.pdf> Acesso em: 04 jul. 2020.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Sistema QUALAR*. Disponível em: <https://qualar.cetesb.sp.gov.br/qualar/home.do>. Acesso em: 15 nov. 2020.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 18, de 6 de maio de 1986. Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores – PROCONVE. *Diário Oficial da União*, 17 de junho de 1986, Seção 1, p. 8792-8795.

ESTEVES, R. T.; BARBOSA, S. R. C. S.; SILVA, E P.; ARAÚJO, P. D. *Estimativa dos efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde humana: algumas possibilidades metodológicas e teóricas para a cidade de São Paulo*. NIPE/FEM/Unicamp. Campinas, 2004.

EXCEL 2010. Microsoft Computer software. [S.l.]: 2010.

GOOGLE MAPS. Google, INC. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps> Acesso em: 31 jan. 2021.

SÃO PAULO. Lei nº 13.430 de 13 setembro de 2002. Plano Diretor Estratégico. *Diário oficial do Município de São Paulo*, São Paulo, 14 de setembro de 2002, p.1.

SÃO PAULO. Lei nº 13.885 de 25 agosto de 2004. Estabelece normas complementares ao Plano Diretor Estratégico, institui os Planos Regionais Estratégicos das Subprefeituras, dispõe sobre o parcelamento, disciplina e ordena o Uso e Ocupação do Solo do Município de São Paulo. *Diário oficial do Município de São Paulo*, São Paulo, 06 de outubro de 2004, p.1.

SÃO PAULO. Decreto nº 48.338 de 10 de maio de 2007. Estabelece normas para o trânsito de caminhões e para operações de carga e descarga em estabelecimentos situados no Município de São Paulo. *Diário oficial do Município de São Paulo*, São Paulo, 11 de maio de 2007, p.1.

SÃO PAULO. Portaria Secretaria Municipal de Transportes – SMT nº 84 de 24 de agosto de 2010. Dispõe sobre o trânsito de caminhões em determinadas vias do município e estabelece suas excepcionalidades. *Diário oficial do Município de São Paulo*, São Paulo, 25 de agosto de 2010, p.21.

SÃO PAULO. Decreto nº 59.113, de 23 de abril de 2013. Estabelece novos

padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas. *Diário Oficial do Estado de São Paulo*, São Paulo, 25 de abril de 2013, p. 3.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*. Global update 2005. Geneva, 2006. Summary of risk assessment. WHO. Disponível em: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf?sequence=1. Acesso em: 23 maio 2019.

ZHANG, B.; WU, S.; CHENG, S.; LU, F.; PENG, P. Spatial characteristics and factor analysis of pollution emission from heavy-duty diesel trucks in the Beijing-Tianjin-Hebei Region, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Basel, v. 16, n. 24, 4973, 2019. <https://doi.org/10.3390/ijerph16244973>