UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE MEDICINA

FABRÍCIO DOS SANTOS CIRINO

Efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde de crianças em seis municípios
com diferentes perfis de fontes de poluentes

SÃO PAULO
2018

FABRÍCIO DOS SANTOS CIRINO

Efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde de crianças em seis municípios
com diferentes perfis de fontes de poluentes

Tese apresentada à Faculdade de Medicina da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Doutor em Ciências.

Versão corrigida. Resolução CoPGr 6018, de
13 de outubro de 2011. (Versão original
disponível na Biblioteca da FMUSP)

Área de concentração: Patologia.

Orientador: Prof. Dr. Alfésio Luis Ferreira
Braga

São Paulo
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Preparada pela Biblioteca da
Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

©reprodução autorizada pelo autor

Cirino, Fabrício dos Santos

Efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde de
crianças em seis municípios com diferentes perfis de
fontes de poluentes / Fabrício dos Santos Cirino. --
São Paulo, 2018.

Tese (doutorado) -- Faculdade de Medicina da
Universidade de São Paulo.

Programa de Patologia.

Orientador: Alfésio Luis Ferreira Braga.

Descritores: 1. Doenças respiratórias 2. Criança
3. Poluição do ar 4. Material particulado 5. Poluente
PM10 6. Admissão hospitalar

USP/FM/DBD-527/18

Responsável: Erinalva da Conceição Batista, CRB-8 6755

Nome: CIRINO, Fabrício dos Santos

Título: Efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde de crianças em seis cidades com diferentes perfis de fontes de poluentes

Tese apresentada à Faculdade de Medicina da
Universidade de São Paulo para obtenção do título de
Doutor em Ciências.

Área de concentração: Patologia.

Aprovado em: _____ de _____ de _____.

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus queridos pais, Eloi Batista Cirino, mesmo que ele não se recorde deste momento em que ele tem tanta relevância, e Pedrina dos Santos Cirino, por sua força e empenho em transformar cada minuto de minha vida em uma caminhada mais leve.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha esposa Mariana, pela extrema positividade e crença em minha pessoa, pois não conheço ninguém que tenha tanto poder de vibrar por alguém como ela o fez por mim. Afinal, eu (nós) consegui(mos)!!!

Agradeço aos meus filhos Rafael e Fabiana, pela compreensão de minha ausência em alguns momentos de suas vidas, sempre com um objetivo muito claro para que vençamos todos juntos, mas também por me proporcionar diversão e distração com nossas conversas e momentos de lazer, pois vocês não sabem o quanto são importantes para mim.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Alfésio Luis Ferreira Braga, por toda parceria e confiança, mesmo após alguns revezes que sofremos neste processo, mas nunca me deixando esmorecer da importância deste projeto para a comunidade científica, e se dedicando de forma ímpar para que tenhamos conseguido chegar a este produto final.

Agradeço ao professor Dr. Luis Alberto Amador Pereira, por nossa conversa em 2012, em que meu orientador também estava presente, pela enorme receptividade neste grupo de pesquisa, e por conseguir enxergar em mim um potencial que eu mesmo duvidava.

Agradeço à professora Dra. Lourdes Conceição Martins por toda paciência na realização de nossas análises estatísticas.

Agradeço a todos os estudantes que de alguma forma me deram força e coragem para enfrentar cada batalha nesta jornada do doutorado, pela compreensão em alguma possível falha ocorrida devido a excessiva carga de trabalho ao conciliar a função de professor e pesquisador, ou pelo incentivo em concluir esta etapa.

Agradeço à minha espiritualidade pelo acalanto nos meus momentos mais tensos, trazendo serenidade para que atitudes fossem tomadas, e que minhas energias tivessem a manutenção necessária para me manter sempre em frente em busca de meus sonhos e do destino merecido.

Agradeço a todos aqueles que, mesmo como uma gota no oceano, fizeram com que eu encontrasse luz onde em alguns momentos parecia que tudo daria errado, deram-me palavras de conforto em minhas pequenas e doloridas derrotas nestes anos de dedicação a este projeto, e que fizeram de cada dia de minha vida uma ponte para este momento supremo.

Agradeço ao secretário Thiago Rezende, que por minha distância do campus, sempre foi tão claro e prestativo em suas informações, fazendo com que eu fosse mais assertivo nas atividades administrativas.

Agradeço à Isabela Muchon Perrella pela tradução e correção para a língua estrangeira de meu artigo científico, pois você foi um anjo para mim.

EPIÍGRAFE

“Já não há meio ambiente... Mas preservemos o terço de ambiente que nos resta.”

Veríssimo Andrade

RESUMO

CIRINO, Fabrício dos Santos. **Efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde de crianças em seis municípios com diferentes perfis de fontes de poluentes**. 2018. 85f. Tese (Doutorado em Ciências) – Departamento de Patologia, Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

Esta tese analisou o efeito da poluição atmosférica nas doenças respiratórias em crianças de 0 (zero) a 6 (seis) anos de idade incompletos residentes em Campinas, Cubatão, Santos, São José dos Campos, São José do Rio Preto e Santo André, caracterizados por seus diferentes perfis de emissão de poluentes do ar, no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2014. As concentrações dos poluentes (PM_{10} , NO_2 , SO_2 e O_3) foram extraídas de relatórios da CETESB. Foram usados modelos de defasagem com distribuição polinomial, além de uma metarregressão para o PM_{10} , identificando um padrão de efeito deste poluente, independentemente de sua composição. O NO_2 e o SO_2 não apresentaram concentrações fora dos padrões de qualidade do ar em nenhum dos municípios. O O_3 se apresentou em concentrações acima dos padrões de qualidade do ar em diversos dias no período estudado, em todos os municípios, trazendo grande preocupação com relação aos agravos à saúde oriundos deste poluente. O efeito do interquartil ($13,81\mu g/m^3$) na concentração de PM_{10} na saúde respiratória das crianças em Campinas foi um aumento de 10,45% (IC95%: 6,39-14,51) dos casos de internação, com efeito já no dia 0; em Cubatão o aumento das internações foi de 14,49% (IC95%: 5,56-23,42); em São José dos Campos o aumento foi de 8,64% (IC95%: 2,41-14,86) nos casos de internações, com uma elevação nestes dados a partir do dia 1; em São José do Rio Preto, no dia da exposição à elevação de concentração de PM_{10} o aumento de internações nas crianças já foi de 5,75% (IC95%: 1,26-10,25), maior que a somatória dos eventos em uma semana; Santo André, teve um incremento nas internações a partir do dia 1, com uma somatória de 7,30% (IC95%: 1,34-13,25) após seis dias de exposição. Santos não possui significância no efeito adverso em nenhum dos dias após o dia de exposição, nem na somatória dos eventos, mesmo com uma elevação apresentada na ordem de 4,81%. Confirma-se o padrão de efeito, independente do perfil de emissão do PM_{10} com efeito adverso estatisticamente significativo nos dias 0 e 1, respectivamente com 1,84% (IC95%: 1,78-1,89) e 1,03% (IC95%: 1,00-1,07) de aumento nos casos de internações nas crianças expostas. **Descritores:** doenças respiratórias; criança; poluição do ar; material particulado; PM_{10} ; admissão hospitalar.

ABSTRACT

Cirino, Fabrício dos Santos. **Effects of atmospheric pollution on the health of children in six municipalities with different sources of pollutants**. 2018. 85f. Thesis (PhD in Sciences) – Department of Pathology, Faculty of Medicine, University of São Paulo, São Paulo, 2018.

This thesis analyzed the effect of atmospheric pollution on respiratory diseases in children from 0 (zero) to 6 (six) years of age incomplete residing in Campinas, Cubatão, Santos, São José dos Campos, São José do Rio Preto and Santo André, characterized by their different emission profiles of air pollutants in the period from January 2011 to December 2014. The concentrations of pollutants (PM₁₀, NO₂, SO₂ and O₃) were extracted from CETESB reports. Lag models with polynomial distribution were used, in addition to a metaregression for PM₁₀, identifying a pattern of effect of this pollutant, regardless of its composition. NO₂ and SO₂ did not present concentrations outside the air quality standards in any of the municipalities. O₃ was present in concentrations above air quality standards in several days during the study period, in all municipalities, bringing great concern regarding health problems arising from this pollutant. The effect of interquartile (13,81µg/m³) on the concentration of PM₁₀ in the respiratory health of children in Campinas was an increase of 10.45% (95%CI: 6,39-14,51) of the cases of hospitalization, with effect already on day 0; in Cubatão, the increase in hospitalizations was 14.49% (95%CI: 5.56-23,42); in São José dos Campos the increase was 8.64% (95%CI: 2,41-14,86) in cases of hospitalizations, with an elevation in these data from day 1; in São José do Rio Preto, on the day of exposure to the elevation of PM₁₀ concentration, the increase in hospitalizations in children was 5.75% (95%CI: 1.26-10,25), higher than the sum of the events in one week; Santo André, had an increase in hospitalizations from day 1, with a summation of 7.30% (95%CI: 1.34-13,25) after six days of exposure. Santos does not have any significance in the adverse effect in any of the days after the day of exposure, nor in the summation of the events, even with an elevation presented in the order of 4.81%. The effect pattern is confirmed regardless of the PM₁₀ emission profile with a statistically significant adverse effect on days 0 and 1, respectively with 1.84% (95%CI: 1.78-1,89) and 1.03% (95%CI: 1.00-1.07) of increase in cases of hospitalizations in children exposed. **Descriptors:** respiratory diseases; child air pollution; Particulate Matter; PM₁₀; hospital admission.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	19
1.1. Controle de emissão de poluentes atmosféricos e crescimento de frota veicular.....	26
1.2. Poluentes atmosféricos mais relevantes.....	27
1.3. Padrões dos poluentes atmosféricos nas legislações vigentes no estado de São Paulo.....	30
1.4. Epidemiologia e Fisiopatologia das doenças respiratórias.....	32
1.5. Justificativa.....	35
1.6. Hipótese.....	36
2. OBJETIVOS.....	37
2.1. Objetivo geral.....	37
2.2. Objetivos específicos.....	37
3. MÉTODOS.....	38
3.1. Desenho do estudo.....	38
3.2. Dados de saúde.....	38
3.3. Monitoramento da qualidade do ar.....	39
3.4. Análise estatística.....	40
4. RESULTADOS.....	42
4.1. Análise descritiva.....	42
4.2. Estimativa de efeito.....	71
5. DISCUSSÃO.....	75
6. CONCLUSÃO.....	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87

1. INTRODUÇÃO

Desde o século passado o veículo automotor tem sido o grande vilão ambiental pela quantidade e tipos de poluentes emitidos. Uma fração da responsabilidade dos veículos automotores sobre a emissão de poluentes e, portanto, sobre a qualidade do ar atmosférico em áreas urbanas é, em geral, oriundo da desinformação e da forma inadequada de utilização dos veículos. (BENTO et al, 2012)

Assim, se faz necessário correlacionar as concentrações dos poluentes com os dados de internações, evidenciando a causa dos agravos à saúde de uma população exposta. Fazer uma pesquisa sobre os efeitos agudos destes poluentes é mais comum, tornando-se mais numeroso na literatura, pois avaliam-se desfechos como morbimortalidade, sintomatologia, hospitalizações e atendimentos em emergência, associados às concentrações de poluentes atmosféricos em um estudo de base populacional agregada de séries de tempo. (JASINSKI; PEREIRA; BRAGA, 2011)

Foram escolhidos seis municípios de diferentes características de área, densidade demográfica e razão de frota por habitante. Na Tabela 1 podemos verificar estas informações:

Tabela 1: Descrição dos municípios amostrados em comparação com dados nacionais, regionais e estaduais.

Localidades	Área (Km ²)*	Dens. Demo. (hab/km ²)*	Frota (hab./veíc.)
Brasil	8.515.767,049****	22,43**	2,23
Sudeste	924.511,292****	86,92**	1,90
Estado de São Paulo	248.209,426****	166,23	1,65
Campinas	795	1.359,60	1,35
Cubatão	143	830,91	2,35
Santos	280,67 [39,4 (ins.) + 241, 25 (cont.)]	1.494,26 [10.572,26 (ins.) / 11,83 (cont.)***]	1,60
São José dos Campos	1.099	572,96	1,69
São José do Rio Preto	432	945,12	1,21
Santo André	176	3.848,01	1,41

Fonte:

*www.cidades.ibge.gov.br

**<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>

*** <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/santos/panorama>

****http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm

Os municípios estudados aqui possuem diferentes características de fontes emissoras de poluentes atmosféricos, com variação em suas formações históricas e econômicas, podendo ter impacto na maior frota, maior atividade industrial ou de queimada de áreas rurais, ou ainda possuir uma densidade demográfica capaz de aumentar o número de exposto a estes poluentes. A seguir são descritas algumas características de cada município escolhido para este estudo:

Campinas

Nos marcos de sua formação colonial, a cidade de Campinas surgiu na primeira metade do século XVIII como um bairro rural da Vila de Jundiaí, com a instalação de um pouso de tropeiros ("Campinas do Mato Grosso") e impulsionou o desenvolvimento de várias atividades de abastecimento e promoveu uma maior concentração populacional, que ganhava forma também uma outra dinâmica econômica, política e social na região, associada à chegada de fazendeiros procedentes de Itú, Porto Feliz, Taubaté, entre outras. (PREFEITURA DE CAMPINAS, 2019)

Cafezais foram cultivados do interior das fazendas de cana de açúcar, impulsionando o desenvolvimento da cidade, que passou a concentrar um grande contingente de trabalhadores escravos e livres, levando a uma intensa "modernização" dos seus meios de transporte, de produção e de vida, permanecendo vivo até hoje na memória da cidade, aspectos diversos destas transformações. (PREFEITURA DE CAMPINAS, 2019)

Após a crise da economia cafeeira em 1930, Campinas assumiu uma fisionomia mais industrial e de serviços, sendo marcado pela migração e pela multiplicação de bairros nas proximidades das fábricas, dos estabelecimentos e das grandes rodovias em implantação - Via Anhanguera, (1948), Rodovia Bandeirantes (1979) e Rodovia Santos Dumont, (década de 1980). (IBGE, 2019a)

Atualmente, caracterizado como um município em que a atividade tecnológica e científica é um grande diferencial para a região, indicado pela presença de um grande pólo universitário, com programas de graduação e pós-graduação, a densidade demográfica se tornou bastante elevada. (IBGE, 2019a)

Para este estudo, o município de Campinas foi considerado como sendo a sua frota veicular o maior impactante à emissão de poluentes atmosféricos. Sua estrutura de controle de qualidade do ar é composta por três estações fixas de monitoramento.

Cubatão

Até a segunda metade do século XIX, a subsistência de Cubatão estava centrada na sua função portuária, sendo a ligação entre a Baixada e o Planalto Paulista. Com a construção da Estrada de Ferro Santos-Jundiaí, em 1867, a região entrou em franco declínio, uma vez que a

ferrovia passou a absorver grande parte do transporte de produtos. (PREFEITURA MUNICIPAL DE CUBATÃO, 2019)

A agricultura passou a ser a alternativa viável para a sobrevivência da região. No entanto, basicamente, o cultivo da banana foi o produto de grande expressão econômica, tornando-se monocultura básica para a cidade. Ao lado da atividade agrícola, a extração de areia e pedras compunha outra fonte de renda para a cidade. (PREFEITURA MUNICIPAL DE CUBATÃO, 2019)

O desenvolvimento industrial teve antecedentes com os primitivos engenhos de açúcar. Muito depois, os curtumes ganharam importância, representando a fase primária da industrialização na região, utilizando o tanino, extraído das folhas dos mangues e, mesmo, vendendo a lenha. (PREFEITURA MUNICIPAL DE CUBATÃO, 2019)

Também se instalaram em Cubatão indústrias de tintas e vernizes, papel e uma usina hidrelétrica que fornecia 40% da energia para a operação de atividades. Com a Grande Depressão Econômica Mundial de 1929, o governo federal passou a concentrar esforços na industrialização do País. (CUBATÃO, 2016)

A escolha dessa região se deu exclusivamente pela sua posição geográfica privilegiada: proximidade com o porto de Santos e a capital, obtenção de energia abundante e barata, além das condições favoráveis do sistema viário e ferroviário. Todo este desenvolvimento levou à emancipação político-administrativa em relação à Santos em 1º de janeiro de 1949, com o primeiro prefeito da cidade assumindo em 9 de abril, tornando esta data o dia em que se comemora o aniversário da Cidade. (CUBATÃO, 2016)

Em 1953, instituiu-se o monopólio do petróleo no Brasil, e conseqüente criação da Petrobrás, dando origem as petroquímicas, assim como siderúrgicas e de produtos químicos e fertilizantes, e mais recentemente, gases. Hoje existem em Cubatão cerca de 23 indústrias, ainda fazendo dele um dos maiores pólos industriais da América Latina. (CUBATÃO, 2016)

Porém, nenhum plano orientou a instalação do parque industrial cubatense, que com o decorrer dos anos, começaram a surgir sérios problemas ambientais, com a poluição do ar, água e solo do município. Portanto, neste estudo a atividade industrial foi considerada a principal fonte emissora de poluentes atmosféricos, utilizando da rede de monitoramento da qualidade do ar e suas três estações fixas. Também se considera fonte de emissão a frota veicular, nem tanto pelos veículos automotores licenciados no município, mas muito pela presença das

rodovias que cruzam o município, fazendo com que o tráfego da região se mostre bastante saturado.

Santos

A trajetória de Santos se confunde com a história de seu Porto, um gigante com 13 quilômetros de extensão, responsável por aproximadamente 26% da balança comercial brasileira. (PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTOS, 2019)

Inaugurado em 2 de fevereiro de 1892, o porto trouxe um salto de desenvolvimento econômico da cidade, exportando todo tipo de insumo: açúcar, café, laranja, algodão, adubo, carvão, sucos cítricos, soja, veículos, grãos líquidos. Entretanto, o Porto para atracação teve início no século XVI. Três séculos depois, a economia do Estado de São Paulo ganhou uma injeção de ânimo com a São Paulo Railway, que passou a operar em 1867, época de expansão na produção do café, ligando Baixada Santista à capital e interior. Os investimentos no Porto para escoar carga foram inevitáveis. (IBGE, 2016b)

O município possui uma característica peculiar que o diferencia dos demais municípios deste estudo: ele é separado em área insular e área continental. Santos concentra 99,32% de sua população na área insular, ou seja, 416.547 pessoas moram em 39,4 km². Portanto, nessa região a densidade demográfica é de 10.572,26 hab./km². Já o território continental, com área de 241,247 km², abarca 2.853 pessoas e apresenta densidade demográfica de 11,83 hab./km². (PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTOS, 2013)

Com base nas suas atividades econômicas, Santos acabou por se tornar um município com diversos problemas comuns às metrópoles, pela movimentação de pessoas, uma alta frota veicular fixa, porém acrescida de uma frota móvel bastante frequente em períodos de férias, feriados e finais de semana pelos turistas, e no decorrer da semana pelos trabalhadores locais residentes em municípios vizinhos.

Por estas características, o grande emissor de poluentes em Santos acaba por ser o trânsito de uma frota veicular altíssima em um espaço territorial pequeno, e o tráfego de veículos pesados que fazem o transporte de cargas no maior porto da América Latina. Para o levantamento dos dados dos poluentes atmosféricos foram utilizadas as informações das duas estações fixas presentes no município.

São José dos Campos

São José dos Campos uma cidade que une cultura, tradição e tecnologia. No núcleo urbano estão localizados institutos federais de pesquisa científica, empresas de tecnologia de ponta, prédios de arquitetura arrojada, universidades, faculdades e centros de formação de mão de obra qualificada. Por outro lado, a zona rural concentra quase 70% do território do município, boa parte em áreas de proteção ambiental. (PREFEITURA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2019)

São José dos Campos ganhou destaque nacional na chamada fase sanatorial, quando inúmeros pacientes procuravam seu clima em busca de cura para a tuberculose, aumentando a estrutura de atendimento da cidade. (IBGE, 2016c)

Somente em 1935, com os investimentos do governo de Getúlio Vargas e a transformação do município em estância climatérica e hidromineral, o município pode investir em infraestrutura, principalmente na área de saneamento básico, que no futuro viria a ser um trunfo a mais para a atração de investimentos destinados ao desenvolvimento industrial. (IBGE, 2016c)

A industrialização de São José dos Campos tomou impulso a partir da instalação, em 1950, do então Centro Técnico Aeroespacial (CTA) - hoje Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) - e inauguração da Via Dutra, em 1951. Nas décadas seguintes, com a consolidação da economia industrial, o município apresentou crescimento demográfico expressivo, que também acelerou o processo de urbanização, sendo hoje um centro regional de compras e serviços, com atendimento a aproximadamente 2 milhões de habitantes do Vale do Paraíba e sul de Minas Gerais. (PREFEITURA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2019)

Logo, São José dos Campos foi classificado como gerador misto de poluentes atmosféricos, configurando emissões de contaminantes por parte tanto da atividade industrial quanto da sua frota veicular. Suas três estações de monitoramento cederam informações para os dados deste estudo.

São José do Rio Preto

Desbravamento e ocupação do solo do sertão brasileiro. Assim começa a história de São José do Rio Preto, quando, a partir de 1840, mineiros fixaram-se aqui e deram início à exploração agrícola e à criação de animais domésticos. (PREFEITURA DE RIO PRETO, 2019)

Em 1852, Luiz Antônio da Silveira doou parte de suas terras ao seu santo protetor, São José, para que o patrimônio originasse uma cidade. Em 19 de março daquele ano, considerado o dia da fundação da cidade, João Bernardino de Seixas Ribeiro, que já havia construído uma casa de sapé nas terras do patrimônio, liderou os moradores da vizinhança para erguer um cruzeiro de madeira e edificar uma pequena capela. (PREFEITURA DE RIO PRETO, 2019)

A origem do nome do município vem da junção do padroeiro da cidade — São José — e do rio que corta o município, o Rio Preto. A partir de 1906, a cidade teve seu nome reduzido para Rio Preto. Somente em 1945, foi retomado o nome original de São José do Rio Preto. (IBGE, 2016d)

Com a chegada da Estrada de Ferro Araraquarense (EFA), em 1912, a cidade assumiu uma importante posição de pólo comercial de concentração de mercadorias produzidas no então conhecido "Sertão de Avanhandava" e de distribuição de materiais vindos da capital. (IBGE, 2016d)

Mesmo possuindo atividade industrial, este município é caracterizado pela sua intensa atividade agrícola, conjuntamente com o comércio e prestação de serviços aquecidos.

Assim, São José do Rio Preto caracteriza-se com um município com uma quase nula atividade industrial, e uma frota veicular não preocupante, entrando no estudo como fonte de poluentes atmosféricos oriundos de queimadas em suas atividades agrícolas, para que esta variável possa ser controlada na metarregressão, por meio dos dados de sua estação de monitoramento.

Santo André

A história de Santo André teve início no século XVI. Em 1553, o lugar foi elevado à categoria de vila e nomeado Santo André da Borda do Campo. Alguns anos depois, em 1560, o vilarejo foi integrado à cidade de São Paulo como bairro. (SANTO ANDRÉ, 2019)

Em meados do século XIX, a instalação da ferrovia visando a melhoria do transporte de produtos agrícolas do interior para o Porto de Santos, começou a atrair indústrias que se aproveitavam das facilidades de transporte, da disponibilidade de áreas próximas à linha férrea e ao rio, além dos incentivos fiscais apresentados pelo município. Logo, a economia do município começou a se destacar na década de 1960, com a instalação de muitas montadoras de automóveis na região. Nesse período, os setores de autopeças, eletrônicos, produtos de borracha e componentes para refrigeração se desenvolviam em ritmo acelerado. (SANTO ANDRÉ, 2019)

As indústrias fizeram gerar pequenos negócios como carpintarias, funilarias, sapatarias, barbearias, pequenas pensões e restaurantes, que foram dando uma feição mais urbana à região do Grande ABC. (IBGE, 2016e)

O distrito de Santo André, com um misto de produção industrial e artesanal, abrigava na década de 1930 várias indústrias importantes, como a Companhia Chimica Rhodia S/A e a Companhia Brasileira de Seda Rhodiaseta, e possuía a Estação de São Bernardo por onde era transportada grande parte dos produtos aqui produzidos e tinha entre seus moradores vários políticos influentes. Tal situação levou à transferência da sede do município de São Bernardo para Santo André, em 1939, passando toda a região do Grande ABC a ser denominada pelo nome Santo André. (IBGE, 2016e)

Após os movimentos emancipadores, na década de 1950, mudanças puderam ser sentidas no que se refere à tipologia das indústrias da região. Este fenômeno expansionista ocorre até a década de 1970, com o chamado “milagre econômico”, pois na década seguinte há a recessão dos anos 80, continuando com uma desaceleração nos anos 90, e fazendo com que os incentivos se voltem a outras regiões do estado de São Paulo, fazendo com que o ABC e, em especial Santo André, perdessem várias indústrias. (IBGE, 2016e)

A caracterização dos emissores de poluentes atmosféricos neste município foi considerada misto, levando-se em conta as características de atividade industrial da região, e a grande frota veicular circulante pelo Grande ABC, tendo suas três estações de monitoramento fixo sido empregadas para extração dos dados de poluentes atmosféricos.

1.1. Controle de emissão de poluentes atmosféricos e crescimento de frota veicular

O aumento da motorização individual, causado pela ineficiência dos sistemas de transporte coletivo, tem intensificado o tráfego nos grandes centros urbanos, causando congestionamentos que trazem danos ao meio ambiente e à saúde humana, portanto devem ser criadas medidas de controle de emissão de poluentes veiculares. (IBAMA, 2011)

Para isso, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) criou, em 2002, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) e o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (PROMOT) por meio de Resoluções que estabelecem diretrizes, prazos e padrões legais de emissão admissíveis para as diferentes categorias de veículos automotores, nacionais e importados, sempre baseado em normativas internacionais, porém adequando os índices à realidade brasileira, e induzindo um melhor desenvolvimento tecnológico dos fabricantes.

Esta ação se faz necessária, pois de acordo com a Tabela 2, o número de veículos automotores em território nacional cresce a cada ano, podendo ser verificado dois fenômenos preocupantes: o envelhecimento da frota veicular, cujo desgaste natural do veículo o torna mais poluente; e o número de veículos circulantes em áreas urbanas aumentando e expondo a população à riscos para sua saúde.

Tabela 2: Quantidade de veículos automotores, em unidades, de qualquer tipo, licenciados entre 2011 e 2014.

Localidades	2011	2012	2013	2014
Brasil	70.543.535	76.137.191	81.600.729	86.700.490
Sudeste	35.843.080	38.277.054	40.598.455	42.756.172
Estado de São Paulo	21.968.359	23.286.890	24.560.202	25.718.248
Campinas	744.550	788.232	824.987	844.035
Cubatão	45.150	47.473	49.987	51.981
Santos	250.081	259.625	266.627	269.620
São José dos Campos	341.097	360.639	379.145	393.924
São José do Rio Preto	303.444	321.334	338.565	351.138
Santo André	442.533	467.575	485.765	493.654

Com a tabela acima podemos verificar a quantidade de veículos automotores nos municípios de interesse deste estudo e confronta-la com a evolução desta frota em níveis estaduais, regionais e nacionais.

Para facilitar esta interpretação, na Tabela 3 pode-se verificar que existe uma média de crescimento da frota veicular entre os municípios participantes deste estudo na média de 11,59%, demonstrando que municípios sem histórico de atividade industrial, e em que a emissão de poluentes é caracterizada pela atividade de queimadas (atualmente proibidas pela legislação brasileira), como São José do Rio Preto, possuem elevada taxa de crescimento de sua frota, tornando o ambiente igualmente poluído a outras regiões.

Tabela 3: Percentual de crescimento da frota veicular, segundo dados do Departamento Nacional de Trânsito de 2011 a 2014, e a representatividade da frota veicular de cada município em território nacional.

Localidade	Crescimento da frota (%)	Representatividade (%)
Brasil	18,63	100,00
Sudeste	16,15	49,31
Estado de São Paulo	14,58	29,66
Campinas	11,79	0,97
Cubatão	13,14	0,06
Santos	7,27	0,31
São José dos Campos	13,41	0,45
São José do Rio Preto	13,58	0,40
Santo André	10,36	0,57

Nesta mesma tabela, podemos verificar que os municípios da Região Metropolitana da Baixada Santista são aqueles que menor possuem representatividade quando comparados à frota veicular nacional, mas tornam-se igualmente preocupantes quanto a poluição atmosférica pela sua intensa atividade industrial, no caso de Cubatão, e pela enorme densidade demográfica na região insular de Santos, em que elevam-se o número de indivíduos expostos.

1.2. Poluentes atmosféricos mais relevantes

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, considera-se poluente atmosférico, toda substância presente no ar e que, possa tornar-se impróprio, nocivo ou ofensivo para a saúde pela exposição em suas concentrações, causando inconveniente ao bem-estar público, danos aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Há uma variedade enorme de substâncias que podem ser encontradas na atmosfera, o que torna difícil a tarefa de estabelecer uma classificação. No intuito de facilitar esta classificação, os poluentes são divididos em duas categorias (CETESB, 2019):

- Poluentes primários: são aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão.
- Poluentes secundários: aqueles formados na atmosfera através de reações químicas entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera.

Para este estudo, não foram incluídas as classes dos poluentes de compostos orgânicos, compostos halogenados e metais pesados, devido ao fato destes não serem causadores de problemas respiratórios, ou não serem provenientes de emissão por veículos automotores.

O monóxido de carbono não foi incluído entre os poluentes atmosféricos investigado nesta pesquisa pelo fato de que as fontes de dados são de caráter secundário, e nos municípios estudados, as estações de monitoramento de qualidade do ar da CETESB não monitorarem este poluente.

Uma breve descrição de cada poluente que será avaliado neste trabalho pode ser apresentada da seguinte forma:

Material particulado de até 10µm de diâmetro (PM₁₀)

Esse é um conjunto de poluentes de baixa massa, permanecendo suspenso na atmosfera, com composição diversa, caracterizado pela fonte emissora, podendo ser apenas poeira, fumaça e outros materiais sólidos e líquidos, ou ainda formado na atmosfera a partir de gases como SO₂, NO_x e compostos orgânicos voláteis, que são emitidos principalmente em atividades de combustão, transformando-se em partículas como resultado de reações químicas no ar (CETESB, 2019)

Em uma revisão sistemática, Tufik e colaboradores (2017) afirmam que o material particulado é classificado de acordo com seu tamanho, sendo o PM₁₀, o poluente atmosférico mais estudado, cujo diâmetro não excede 10µm. Florez e Hurtado (2015) afirmaram que o PM₁₀ é o poluente mais abundante no ar e seus efeitos prejudiciais para a saúde são mais graves, pois é facilmente respirável.

Técnicas analíticas como cromatografia de íons e a espectroscopia de absorção atômica são muito eficazes para quantificação de metais traços e ânions na composição química do material particulado, sendo os principais componentes na composição do particulado identificados pela literatura o Pb, Cd, Mn, Cr, Cu e Fe, NH₄⁺, SO₄⁻², NO₃⁻ (BRITO; ARAUJO; SILVA, 2018; SOUZA, 2009), além do C (“black”, elementar e orgânico) Na, S, Zn, Mg, P,

Cl, K, Ca. (ARANA, 2014). Esses dados são cruciais para que se entendam a diferenciação de efeitos em concentrações diferentes devido a característica das fontes emissoras.

Dióxido de nitrogênio (NO₂)

Este gás é produzido por combustão, em que grandes cidades têm como principal emissor os veículos que produzem a queima de combustível, mas também tendo como fonte emissora as termoeletricas, o que torna preocupante períodos de estiagem, em que a diminuição de concentração de água nos reservatórios faz com que este tipo de usina seja ativada para a produção de energia elétrica. (CETESB, 2019)

Dióxido de Enxofre (SO₂)

O SO₂ resulta principalmente da queima de combustíveis fósseis, englobando os veículos automotivos, e todas as atividades industriais, independente do seu processo de produção, sendo um dos principais gases formadores de chuva ácida, além de provocar redução de visibilidade na atmosfera. (CETESB, 2019)

Ozônio (O₃)

Esse poluente é classificado como secundário por não haver fonte de emissão do mesmo, e além de prejuízos à saúde, o ozônio pode causar danos à vegetação. É sempre bom ressaltar que o ozônio encontrado na faixa de ar próxima do solo, onde respiramos, chamado de “mau ozônio”, é tóxico. Entretanto, na estratosfera (a cerca de 25 km de altitude) o ozônio tem a importante função de proteger a Terra, como um filtro dos raios ultravioletas emitidos pelo Sol. O ozônio é formado na atmosfera por reações fotoquímicas na presença de luz solar e poluentes precursores, como os óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis, sendo destruído por reações com NO₂ e depositado no solo. (CETESB, 2019)

Apesar das análises trabalharem com modelos que incluem um ou, no máximo, dois poluentes, é difícil atribuir a apenas um deles os efeitos deletérios da poluição do ar na saúde. A mistura desses elementos na atmosfera pode modificar toxicidades individuais, potencializando os efeitos individuais. Isso porque materiais particulados, fumaça, dióxido de nitrogênio e ozônio apresentam efeitos na saúde de crianças. (BAKONYI et al, 2004)

1.3. Padrões dos poluentes atmosféricos nas legislações vigentes no estado de São Paulo

A Resolução nº 3 de 28 de junho de 1990 dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR, definindo os limites tolerados de cada poluente, em diferentes condições atmosféricas e de exposição. Os padrões nacionais foram estabelecidos pelo IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e aprovados pelo CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente, por meio da Resolução acima citada.

Em 2009, com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº418, estabeleceu-se a obrigatoriedade da elaboração dos Planos de Controle de Poluição Veicular (PCPV) pelos órgãos ambientais estaduais com revisões periódicas a cada três anos, para servirem de instrumentos para gestão da qualidade do ar e indicarem ações para o controle da emissão de poluentes e a redução do consumo de combustíveis por veículos, em especial nas áreas comprometidas pela emissão de poluentes atmosféricos.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) ao apresentar ao Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA) o PCPV 2011/2013 do estado de São Paulo, propôs uma série de ações e recomendações para diminuir o impacto das emissões veiculares na qualidade do ar das cidades paulistas. E um dos produtos desta ação foi a publicação do Decreto Estadual nº 59113, em 23 de abril de 2013, uma legislação baseada nos padrões de qualidade do ar da Organização Mundial de Saúde (OMS), em que fica estabelecida uma tolerância gradualmente mais severa objetivando adotar os padrões do órgão mundial.

Esses padrões de qualidade do ar, segundo a Resolução do CONAMA nº3/1990, subdividem-se em padrões primários de qualidade do ar as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população, enquanto que padrões secundários de qualidade do ar são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Logo, este último foi entendido como os níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo metas de curto e médio prazo. Para tanto, verifique os dados da Tabela 4.

Tabela 4: Índices de Padrão de Qualidade do Ar, segundo legislações vigentes em âmbito estadual e nacional.

Poluente	Tempo de amostragem (média)	Decreto Estadual nº 59.113, de 23/04/2013				Resolução CONAMA nº 3, de 28/06/1990	
		M.I.1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	M.I.2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	M.I.3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	P.F. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Material particulado (PM₁₀)	24 horas	<i>120</i>	100	75	50	240	<i>150</i>
	MAA	<i>40</i>	35	30	20	80	<i>60</i>
Dióxido de enxofre (SO₂)	24 horas	<i>60</i>	40	30	20	365	<i>100</i>
	MAA	<i>40</i>	30	20	(-)	80	<i>40</i>
Dióxido de nitrogênio (NO₂)	1 hora	<i>260</i>	240	220	200	320	<i>190</i>
	MAA	<i>60</i>	50	45	40	100	<i>100</i>
Ozônio (O₃)	8 horas consecutivas	<i>140</i>	130	120	100	não se aplica	não se aplica
	1 hora	não se aplica	não se aplica	não se aplica	não se aplica	160	<i>160</i>

MAA: Média aritmética anual

M.I.: Meta intermediária (M.I.1 está em vigência até a defesa desta tese)

P.F.: Padrão Final

Na tabela acima, ilustra-se ainda os padrões adotados pela legislação estadual, com suas diferentes metas intermediárias. A Meta Intermediária Etapa 1 (M.I.1) teve como proposta a adoção dos valores de concentração de poluentes atmosféricos que deveriam ser respeitados a partir de sua publicação (sem tempo de adaptação ao novo padrão). Esse fato trouxe grande impacto por ter reduzido a concentração do poluente tolerada pela Resolução CONAMA nº3/1990, mas como para passar para a etapa 2 (M.I.2), seria necessária a apresentação de estudos técnicos apresentados pelo órgão ambiental estadual, convalidados pelo CONSEMA, até o momento, cinco anos após sua publicação, ainda adotamos os dados da Etapa 1 como índice de padrão de qualidade do ar, não trazendo nenhuma evolução quanto ao rigor da legislação fiscalizatória.

Percebe-se na tabela 4 que os dados constantes para M.I.1 e Padrão Secundário encontram destacados em negrito e itálico, e itálico, respectivamente, pois são as informações que serão utilizadas para este estudo, já que o período do estudo foi de 2011 a 2014, e parte do período os municípios amostrados estavam sob a tutela de uma legislação, que não foi revogada, contudo, em âmbito estadual, perdeu sua vigência, para níveis de concentração tolerados mais severos.

Portanto, nos gráficos em que são apresentados os poluentes atmosféricos, cores diferentes foram empregadas para que se demonstre a tolerabilidade de cada legislação vigente, tanto em nível nacional, quanto em nível estadual. Logo, para esta diferenciação, linhas roxas

marcam a concentração limite do padrão de qualidade do ar pela legislação do CONAMA, enquanto linhas vermelhas foram adotadas para demarcar o padrão do decreto estadual.

O Decreto Estadual indica um Padrão Final (P.F.) que se baseia nos níveis de concentração tolerados pela Organização Mundial de Saúde, com dados extremamente baixos para aqueles adotados na atualidade, porém com a ausência de calendário para a mudança entre as etapas descritas na legislação, não se pode prever em que momento o estado de São Paulo se enquadrará nesta condição.

1.4. Epidemiologia e Fisiopatologia das doenças respiratórias

Segundo Boletim Epidemiológico do Ministério da Saúde (2016), a morbimortalidade das doenças respiratórias crônicas no Brasil, no período de 2003 a 2013, apresentou redução, e este declínio pode ser atribuído às ações e políticas de promoção da saúde, prevenção e vigilância das doenças respiratórias crônicas, logo devem ser estimulados os estudos que possam avaliar estas ações e políticas. No entanto, para crianças menores de 1 ano, houve uma elevação da taxa de internação hospitalar em crianças, chegando a 609,9/100 mil habitantes.

Dados do FIRS – Fórum das Sociedades Respiratórias Internacionais (2017), demonstram que as doenças respiratórias são as principais causas de morte e incapacidade no mundo:

- Cerca de 334 milhões de pessoas sofrem de asma, a doença crônica da infância mais comum que afeta 14% de todas as crianças em todo o mundo;
- A pneumonia mata milhões de pessoas anualmente, e é uma das principais causas de morte entre crianças menores de 5 anos de idade;
- Em todo o mundo, 4 milhões de pessoas morrem prematuramente de doenças respiratórias crônicas;
- Pelo menos, um bilhão de pessoas inala o ar poluído, e felizmente, a maioria das doenças respiratórias pode ser evitada melhorando a qualidade do ar.

A prevalência média de sintomas relacionados à rinite no Brasil é de 29,6% para adolescentes e 25,7% para os escolares, estando entre o grupo de países com as maiores taxas mundiais de prevalência, tanto em asma como em rinite. A rinite pode ser considerada a doença de maior prevalência entre as doenças respiratórias crônicas e problema global de saúde pública, acometendo cerca de 20 a 25% da população em geral. Embora com sintomas de menor gravidade, está entre as dez razões mais frequentes de atendimento em Atenção Primária em Saúde. (BRASIL, 2010)

Para Soares (2016), rinite e asma são responsáveis pela redução da qualidade de vida de pacientes, comprometendo suas atividades diárias e a coexistência das duas doenças no mesmo indivíduo está bem documentada na literatura, sendo a rinite um fator de risco para o surgimento futuro da asma, pois crianças com rinite, sem história clínica de asma, se comportaram de maneira semelhante aos pacientes asmáticos, quanto a evolução da força muscular respiratória e da função pulmonar após um teste de caminhada, limitando as atividades físicas e a qualidade de vida destas crianças.

A asma, definida como uma doença heterogênea caracterizada por inflamação crônica das vias aéreas com resposta exagerada a vários estímulos, tem grande impacto na qualidade de vida das crianças asmáticas e das suas famílias, levando à restrições físicas, emocionais e sociais. A qualidade de vida está intimamente relacionada com o controle da doença. (FERREIRA, 2016)

Quando se trata de custo, a condição para a remediação de um problema de saúde depois de instalado é alarmante, pois em 2007 as doenças respiratórias foram responsáveis por cerca de 273 mil internações, gerando custo aproximado de R\$ 98,6 milhões para o Sistema Único de Saúde (SUS). Houve 2.500 óbitos, de acordo com o DataSUS, dos quais aproximadamente um terço ocorreu em unidades de saúde, domicílios ou vias públicas. (BRASIL, 2010)

Em um estudo de Nascimento e colaboradores (2017), foram registrados 64,0% de atendimentos ou internações durante o inverno, havendo predominância de atendimentos a crianças de zero a dois anos, e em aproximadamente 95,0% dos casos totais estudados, não se fez necessária a hospitalização. Esse último dado demonstra que, em estudos em que o critério de seleção são os casos de internações, como este estudo, o cenário ainda pode se apresentar muito mais sério do que o demonstrado, além de que períodos de inverno ou estiagem há uma tendência de maior ocorrência de eventos.

São sintomas comuns na anamnese das doenças respiratórias a tosse, a expectoração, a hemoptise, a sibilância, a dor torácica, a taquipneia e a dispneia. (BRASIL, 2010)

A fisiopatologia da maioria das doenças respiratórias está relacionada a um dano direto do agente agressor ou por meio de suas características de composição química, ocasionando diferentes tipos de lesões, alterando a perfusão local e destruindo tecidos; respostas inflamatórias do paciente que causem uma ativação da cascata metabólica, com impacto adverso na integridade epitelial e endotelial, no tônus vasomotor, nos mecanismos de coagulação e na ativação dos fagócitos. (MOREIRA; LOPES, 2004) Esse conjunto de efeitos prejudiciais ao sistema respiratório eleva o grau de perigo frente a uma exposição à níveis acima do tolerado pela legislação vigente.

Para compreender como a poluição atmosférica afeta a saúde das crianças, tomemos a asma, doença respiratória das mais comuns, causada pela hipersensibilidade contrátil bronquiolar em resposta às substâncias estranhas presentes no ar, e que pelo fato de ser normal uma pessoa alérgica (rinite) ter uma formação excessiva de anticorpos IgE em seu organismo, ao aspirar um agente irritante, este reage com os anticorpos, que estão ligados à mastócitos, liberando histamina, substância de anafilaxia de reação lenta (mistura de leucotrienos), fator quimiotático eosinófilo e bradicinina. Essa ação leva à um edema localizado, e espasmos de musculatura lisa bronquiolar, aumentando a resistência das vias aéreas, dificultando a expiração, levando ao cansaço excessivo e limitações de atividades físicas. (GUYTON; HALL, 2017a)

A remoção de partículas do ar é bastante efetiva, onde praticamente nenhuma partícula maior do que $6\mu\text{m}$ chega aos pulmões pelo nariz, mas muitas partículas remanescentes, que não conseguem ser eliminadas pelos processos de defesa do organismo (tosse, espirro e muco), a maioria entre $1\text{-}5\mu\text{m}$, se fixam nos bronquíolos por precipitação gravitacional. Isso é ainda mais fácil de ocorrer com partículas de menos de $1\mu\text{m}$ (como a fumaça de cigarro), cujo qual em médio e longo prazo pode levar a um crescimento de tecido fibroso, no septo alveolar, causando debilidade permanente. (GUYTON; HALL, 2017b)

A faixa etária adotada neste estudo, de até 6 (seis) anos de idade incompletos, deve-se ao fato de que após o nascimento, entre seis e sete anos de idade, a criança desenvolver uma remodelação de suas vias aéreas, levando a existência de novos alvéolos. (MOREIRA; LOPES, 2004). Com isso, poderíamos considerar que possíveis danos ao sistema respiratório em crianças maiores do que seis anos completos seriam amenizados por esta alteração fisiológica.

James Gauderman e colaboradores (2000), em um estudo de coorte, com crianças de até 4 anos de idade, identificaram a poluição do ar ambiente estatisticamente correlacionada com reduções do crescimento da função pulmonar, sugerindo que esta exposição possa levar a uma redução na função pulmonar máxima atingida no início da vida adulta, elevando o risco de doença respiratória crônica na vida adulta. Portanto, incentivar estudos desta natureza para o público infantil, certamente pode ser classificado como um investimento à saúde da população quando adulta, pois a prevenção, o controle e a cura dessas doenças e a promoção da saúde respiratória devem ser uma prioridade absoluta na tomada de decisão global no setor da saúde. (FIRS, 2017)

1.5. Justificativa

Este estudo se justifica, pois, apesar de atualmente não haver mais a necessidade de discussão de que a poluição faz mal, alguns detalhamentos de agravos a saúde de um público específico, variações de concentrações dos poluentes atmosféricos aos quais o surgimento de sinais e sintomas possam ser diagnosticados, podem ser facilmente levantados pelos estudos ecológicos, reforçando a necessidade de que, em saúde respiratória, a prevenção é a principal aliada para a diminuição de eventos adversos.

Segundo Nascimento e colaboradores (2017), o incremento de $4,2\mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de material particulado fino aumentou em 3,8% o risco de atendimento ou internação de crianças no dia 0; e 5,6% para o dia 6, identificando associação positiva entre os casos de internação e as concentração de material particulado.

Samoli e colaboradores (2016) afirmaram que associações positivas foram estimadas para internações hospitalares pediátricas respiratórias e a exposição à poluentes atmosféricos, sendo necessário um monitoramento mais extenso nos centros urbanos para elucidar ainda mais esses casos. Para crianças menores de cinco anos, o efeito da exposição ao acréscimo de PM_{10} de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ levou a um aumento de 1,9% nas internações. (GOUVEIA et al, 2017)

Tuan, Venâncio e Nascimento (2015) identificaram uma redução de 58,54% nos casos de internação por doenças respiratórias em São José dos Campos comparado com o estudo de Nascimento e colaboradores (2006) realizado com uma janela de doze anos de diferença, além de reduções de cerca de 50% nas concentrações de PM_{10} e SO_2 , comparadas com o estudo anterior. Este acompanhamento periódico dos indicadores de saúde e monitoramento de poluição reforçam a necessidade de vigilância contínua referente à poluição atmosférica e agravos à saúde.

Modestos aumentos de risco se traduzem em grandes impactos na saúde pública quando se considera a prevalência da exposição aos poluentes atmosféricos e as doenças pediátricas avaliadas em Atlanta, Georgia, nos Estados Unidos da América, em uma variação na concentração média de PM_{10} igual a $24,6\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o período de estiagem, e $17,6\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o período das chuvas. (DARROW et al, 2014) Para Luong e colaboradores (2017) no Vietnã, a média de concentração de PM_{10} foi de $108\mu\text{g}/\text{m}^3$, mais do que o dobro da concentração tolerada pela regulamentação local ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$). Portanto, todos os esforços devem ser mantidos para que não se onere ainda mais a saúde pública.

Para Schvartsman e colaboradores (2017), esforços contínuos objetivando a diminuição de emissão de poluentes atmosféricos devem sempre estar em pauta, pois até agora, a redução da poluição do ar não parece ter eliminado problemas de saúde nas crianças. O comportamento da fisiopatologia de doença respiratória e a condição de agressão do poluente por meio de sua composição química, reforçam a aplicação de estudos ecológicos.

Se fossemos considerar a mortalidade, sem a identificação da faixa etária, para efeitos em curto prazo, como fizeram Lu e colaboradores (2015), que em uma revisão sistemática chegaram à índices de riscos de 0,42% para mortalidade por doença respiratória, para cada aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ no PM_{10} . Enquanto, em termos de efeitos a longo prazo, um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} correspondeu a um aumento de 23 a 67% no risco de mortalidade. Mesmo esse dado extrapolando nosso objeto de estudo, que são as crianças, há um retrato de preocupação que a comunidade científica, a opinião pública e os tomadores de decisão devem ter frente o monitoramento das concentrações de PM_{10} , haja visto a condição de prejuízos à saúde de forma crônica.

1.6. Hipótese

Após um forte apelo frente às justificativas deste estudo, a hipótese principal deste estudo é comprovar, principalmente pelos modelos de estrutura de defasagem e metarregressão, que a poluição do ar eleva o índice de internações, independentemente da fonte emissora.

Por exemplo, em Vitória/ES, mesmo o PM_{10} permanecendo em torno de $27\mu\text{g}/\text{m}^3$, concentração esta bastante abaixo dos padrões de qualidade do ar, houve associação consistente com as doenças respiratórias, por processo inflamatório sistêmico e estresse oxidativo, relacionados à remodelação anatômica e fisiológica do pulmão. (FREITAS et al, 2016)

Da mesma forma, Amâncio & Nascimento (2012) identificaram que os poluentes PM_{10} e SO_2 estiveram associados às internações por asma em uma cidade de porte médio.

Com a confirmação desta hipótese, poderíamos afirmar, assim como Gonçalves (2016), que a adoção de estratégias sustentáveis é o caminho para melhorar a qualidade de vida, tanto na infância, como ao longo da vida adulta.

E esta hipótese necessita ser ainda testada pois, apesar de todas as fundamentações na literatura científica, Carvalho, Nakazato e Nascimento (2018) não deixaram evidenciada associação do PM_{10} com internações.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Analisar o efeito agudo da poluição atmosférica nas internações por doenças respiratórias em crianças de 0 (zero) a 6 (seis) anos de idade incompletos residentes em municípios caracterizados por seus diferentes perfis de emissão de poluentes do ar, no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2014.

2.2. Objetivos específicos

- Estimar o efeito da exposição ao PM_{10} na população de interesse residente no município de Campinas.
- Estimar o efeito da exposição ao PM_{10} na população de interesse residente no município de Cubatão.
- Estimar o efeito da exposição ao PM_{10} na população de interesse residente no município de Santos.
- Estimar o efeito da exposição ao PM_{10} na população de interesse residente no município de São José dos Campos.
- Estimar o efeito da exposição ao PM_{10} na população de interesse residente no município de São José do Rio Preto.
- Estimar o efeito da exposição ao PM_{10} na população de interesse residente no município de Santos André.
- Estimar o efeito médio, por meio de metarregressão, da exposição ao PM_{10} nos municípios avaliados, considerando suas as diferentes características de emissão.

3. MÉTODOS

3.1. Desenho do Estudo

Este é um estudo ecológico de séries temporais avaliando os efeitos agudos das variações diárias nas concentrações de poluentes atmosféricos sobre as doenças respiratórias nas crianças de 0 (zero) a 6 (seis) anos de idade incompletos, residentes nos municípios de Campinas, Cubatão, Santos, São José dos Campos, São José do Rio Preto e Santo André.

3.2. Dados de saúde

Foram coletados dados secundários de internações por doenças respiratórias, ocorridos entre janeiro de 2011 e dezembro de 2014, disponíveis nos bancos de dados do Departamento de Informática do SUS – DATASUS, coletados por meio do portal <datasus.saude.gov.br>.

Neste portal, utilizar da aba intitulada “SISTEMAS”, fazendo a busca das informações no item “HOSPITALARES”, em que se encontra a função “SIHSUS”, cujo qual permite o acesso ao site que constitui os dados do Sistema de Informações Hospitalares do SUS.

No momento em que foi realizada a entrada neste portal, buscou-se a aba “Sites relacionados” para adentrar em outro site por meio da função “Reduzidas da AIH – Disseminação de Informações”, cujo qual conduziu a pesquisa para um outro portal eletrônico, cujo qual estão disponíveis os relatórios.

Esses relatórios foram selecionados junto aos arquivos de dados do SIHSUS, cujo qual foi necessário selecionar as funções de “Dados” / “RD-AIH Reduzidas”, devendo preencher o ano de busca, assim como o Estado e os meses cujo quais se deseja os relatórios (nesta etapa sugere-se que não selecione mais do que quatro meses para que não ocorra falhas no processo de download).

Todos os relatórios adquiridos, mês a mês, devem ser abertos em um software (TabWin41), cujo qual é possível realização de download pelo portal do SIHSUS, para que se use uma função denominada “COMPRIME / EXPANDE .DBF”, em que ocorre uma alteração de formatação no arquivo dos relatórios, possibilitando que o mesmo seja aberto em software estatístico apropriado, com interface para a realização de análises.

Foram avaliadas as crianças de 0 (zero) a 6 (seis) anos de idade incompletos residentes nos municípios amostrados selecionadas por meio dos registros diários de internações com doenças respiratórias das vias aéreas superiores e inferiores (CID 10: J00 a J99). A garantia do município de residência deve-se ao fato de empregar-se o Código de Endereçamento Postal (CEP) da residência do paciente, e não o CEP referente ao local da internação.

3.3. Monitoramento da Qualidade do Ar

Medidas diárias dos poluentes atmosféricos foram obtidas pelos relatórios emitidos pela CETESB, que monitora a qualidade do ar nos municípios anteriormente citados.

Os poluentes de interesse adotados por este estudo, já consolidados como agentes causadores de danos à saúde humana de forma bastante sólida pela literatura científica, foram o PM₁₀, NO₂, SO₂ e O₃. Foram ainda coletados os dados das médias de umidade relativa do ar e de temperatura.

As estações de monitoramento da rede automática empregadas neste estudo são:

- Campinas – Centro (Av. Anchieta, 42, E.E. Carlos Gomes, Centro, Campinas);
- Campinas – Taquaral (Av. Dr. Heitor Penteado, s/nº, Portão 5, Prq Taquaral, Jd. N. Sra. Auxiliadora, Campinas);
- Campinas Vila União (Rua Conselho das Sociedades de Bairro, 620, CEI Caic Prof. Zeferino Vaz, Jd. Yeda, Campinas);
- Cubatão – Centro (Rua Salgado Filho, 121, Prq. Fernando Jorge, Cubatão);
- Cubatão – Vale do Mogi (Av. Engenheiro Plínio de Queiróz, s/nº, Jd São Marcos, Cubatão);
- Cubatão – Vila Parisi (Rua Prefeito Armando Cunha, 70, Vila Parisi, Cubatão);
- Santos (Rua Doutor Oswaldo Cruz, 197, Hosp. Guilherme Alvaro, Boqueirão, Santos);
- Santos – Ponta da Praia (Praça Engenheiro José Rebouças, s/nº, Complexo Esportivo e Recreativo Rebouças, Ponta da Praia, Santos);
- São José dos Campos (Rua Ana Gonçalves da Cunha, 40, Obra Social Celio Lemos, Monte Castelo, São José dos Campos);
- S. José dos Campos – Jd. Satélite (Rua Cefeu, 664, Centro Poliesportivo “João do Pulo”, Jd Satélite, São José dos Campos);

- São José dos Campos – Vista Verde (Rua Estados Unidos, 435, EMEF Prof. Waldemar Ramos, Cid. Vista Verde, São José dos Campos);
- São José do Rio Preto (Rua Jales, 3055, Campo Atletismo Eldorado, Eldorado, São José do Rio Preto);
- Sto. André – Capuava (Rua Manágua, 2, Posto Pueric. Alto Capuava, Prq Capuava, Santo André);
- Sto. André – Paço Municipal (Praça Quarto Centenário, s/nº, Paço Municipal, Centro, Santo André).

3.4. Análise Estatística

As variáveis foram descritas para seus valores de tendência centrais e de dispersão. Para tanto foi empregado o software Statistical Package for Social Sciences® - SPSS. As estimativas dos efeitos da poluição do ar sobre as doenças respiratórias foram realizadas pela análise de Estudo de Séries de Tempo.

Para estimar os efeitos dos poluentes atmosféricos no número diário de internações por doenças respiratórias foram utilizados modelos lineares generalizados de regressão de Poisson (MCCULLAGH & NELDER, 1989). A relação não linear entre a sazonalidade de longa duração e as internações, foi controlada através de funções de alisamento semiparamétricas (GREEN & SILVERMAN, 1994).

Além da sazonalidade de longa duração, os estudos realizados com internações hospitalares mostram que existem padrões de curta duração influenciando a relação entre poluição atmosférica e saúde (BRAGA, ZANOBETTI & SCHWARTZ, 2001). Foram incluídas no modelo variáveis indicadoras de dias da semana e feriados.

Para reduzir a sensibilidade da variável dependente a valores extremos da variável independente de interesse, no caso a poluição do ar, foi utilizado o método de regressão robusta (estimador-M).

Os efeitos dos poluentes atmosféricos nos desfechos escolhidos foram investigados por meio da utilização de modelos de defasagem com distribuição polinomial. (BRAGA, ZANOBETTI & SCHWARTZ, 2001; SCHWARTZ, 2000). Esta metodologia permite a estimativa da estrutura da defasagem entre exposição e efeito de forma não restrita,

possibilitando a identificação de efeitos com magnitudes distintas para os dias do período de tempo avaliado, diferentemente do que acontece quando se usa média móvel, onde a cada um dos dias do período de tempo analisado é atribuído um efeito de magnitude semelhante aos demais.

Polinômios de 3º e 4º graus foram adotados para que, a partir deles, fossem selecionados aquele que melhor demonstrou o impacto da elevação da concentração do PM_{10} nas internações de crianças expostas para estimar a estrutura de defasagem do efeito adverso, onde adotou-se uma janela de tempo que se iniciou no dia da exposição (dia 0) e se estendeu até seis dias (dia 6) após a elevação da concentração do poluente. O município de Campinas foi o único em que o melhor delineamento dos efeitos adversos tenha sido obtido por polinômio de 4º grau.

Para este estudo foram adotados até seis dias de defasagem após a exposição à elevação da exposição de PM_{10} , assim como conclui Nascimento e colaboradores (2017), que considerando todas as variáveis possíveis a um estudo ecológico, o melhor ajuste ocorreu quando a defasagem temporal testada foi de seis dias.

Os resultados foram expressos como aumentos percentuais no número diário de internações por doenças respiratórias devido a um aumento de um interquartil ($13,81\mu g/m^3$ – a diferença entre o terceiro e o primeiro quartis) nas concentrações do PM_{10} .

Alguns municípios não possuem dados sobre a concentração de todos os poluentes atmosféricos selecionados para este estudo, e isso se deve ao fato de que a CETESB mantém estações de monitoramento com características diferentes em cada localidade, por isso restringimos as análises de estimativa de efeito apenas para o PM_{10} , o único poluente medido em todos os municípios.

Para estimar o padrão de estrutura de defasagem do efeito comum aos seis municípios foi adotado um modelo de metarregressão de acordo com o adotado por Braga, Zanobetti e Schwartz (2000).

4. RESULTADOS

4.1. Análise descritiva

A tabela 5 apresenta a análise descritiva dos dados das variáveis empregadas neste estudo para cada um dos municípios avaliados. Percebe-se que os municípios, Santos e Cubatão, responsáveis pelas temperaturas médias mais elevadas entre os municípios avaliados, foram exatamente aqueles que apresentaram maior concentração média de PM_{10} .

A mesma tabela demonstra a presença de valores abaixo de 30% para umidade relativa do ar, valor este considerado danoso aos organismos expostos, para os municípios de Campinas e São José do Rio Preto. Este valor, identificado nos gráficos 1 a 3 por meio de linhas vermelhas, é o limite tolerado de umidade relativa do ar, indicando que valores abaixo deste são indutores de processos patológicos do trato respiratório.

Sobre esta variável, os dados se mostram em um patamar bastante satisfatório, sendo ultrapassado este limite mínimo em menos de 1% do total de dias amostrados. Mesmo assim, alguns municípios merecem maior atenção aos dados de umidade relativa do ar, haja visto que, Cubatão teve uma queda nos valores de umidade relativa do ar de 10,78%, e São José dos Campos também apresentou uma diminuição neste índice de 8,68% no período amostrado. Os demais municípios, foram igualmente afetados pela diminuição dos índices de umidade, porém com menor impacto que os exemplos aqui apresentados.

Tabela 5: Análise descritiva de poluentes atmosféricos, condições climáticas e casos de doenças respiratórias em crianças de 0 a 6 anos de idade nos municípios avaliados entre 2011 e 2014.

		Internações diárias	Umidade (%)	Temperatura (°C)	PM ₁₀ (µg/m³)	NO ₂ (µg/m³)	SO ₂ (µg/m³)	O ₃ (µg/m³)
Campinas	Média	5,65	73,98	16,93	32,43	s.i.	s.i.	s.i.
	Desvio padrão	3,81	12,98	3,80	11,85	s.i.	s.i.	s.i.
	Mínimo	0	28,19	5,50	10,42	s.i.	s.i.	s.i.
	Máximo	25	100,00	27,30	98,87	s.i.	s.i.	s.i.
	Percentil 25	3,00	65,78	14,03	24,46	s.i.	s.i.	s.i.
	Percentil 50	5,00	73,65	17,60	29,58	s.i.	s.i.	s.i.
	Percentil 75	8,00	82,40	20,05	38,27	s.i.	s.i.	s.i.
Cubatão	Média	0,52	81,66	19,59	65,05	60,79	11,50	57,39
	Desvio padrão	0,79	10,64	3,28	26,97	17,98	7,41	32,69
	Mínimo	0	37,13	9,40	13,09	25,22	1,04	1,50
	Máximo	5	99,98	28,25	222,48	169,07	69,55	240,04
	Percentil 25	0,00	75,65	17,10	45,12	48,33	6,07	35,50
	Percentil 50	0,00	81,81	19,71	61,82	58,67	9,71	49,40
	Percentil 75	1,00	89,45	21,96	81,07	69,73	15,04	71,50
Santos	Média	1,22	79,00	20,39	38,57	58,46	11,29	57,81
	Desvio padrão	1,35	9,35	3,07	20,95	18,00	6,91	23,95
	Mínimo	0	37,13	10,93	4,21	10,50	0,52	2,00
	Máximo	8	98,29	28,25	151,23	156,96	41,13	191,50
	Percentil 25	0,00	74,45	18,26	23,78	46,06	5,87	42,43
	Percentil 50	1,00	79,83	20,40	34,35	56,50	10,18	53,93
	Percentil 75	2,00	84,83	22,69	48,13	67,97	15,28	68,83

*s.i. = sem informação

Tabela 5: Análise descritiva de poluentes atmosféricos, condições climáticas e casos de doenças respiratórias em crianças de 0 a 6 anos de idade nos municípios avaliados entre 2011 e 2014. (continuação)

		Internações diárias	Umidade (%)	Temperatura (°C)	PM ₁₀ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)
São José dos Campos	Média	3,18	78,96	17,61	24,94	46,31	2,71	82,53
	Desvio padrão	2,58	10,59	3,24	12,88	16,13	2,34	33,29
	Mínimo	0	42,04	6,00	5,08	11,00	0,00	0,00
	Máximo	15	99,33	26,00	177,39	129,24	29,26	213,00
	Percentil 25	1,00	72,37	15,27	15,96	35,00	1,35	59,01
	Percentil 50	3,00	79,50	18,07	21,77	42,66	2,13	78,79
	Percentil 75	4,00	85,76	20,29	31,30	54,39	3,38	102,00
São José do Rio Preto	Média	2,17	62,76	19,56	37,68	51,29	s.i.	72,10
	Desvio padrão	2,09	14,93	3,21	23,14	24,13	s.i.	26,39
	Mínimo	0	24,65	5,50	5,87	7,00	s.i.	10,38
	Máximo	13	96,87	26,50	143,87	133,58	s.i.	181,00
	Percentil 25	1,00	52,53	17,60	18,87	31,28	s.i.	53,65
	Percentil 50	2,00	62,42	20,20	31,51	47,66	s.i.	69,00
	Percentil 75	3,00	73,83	21,93	52,03	69,00	s.i.	88,62
Santo André	Média	2,45	79,96	16,83	35,06	s.i.	s.i.	88,81
	Desvio padrão	2,01	10,23	3,20	13,87	s.i.	s.i.	43,91
	Mínimo	0	33,40	5,59	9,41	s.i.	s.i.	9,00
	Máximo	16	98,10	25,30	98,25	s.i.	s.i.	276,00
	Percentil 25	1,00	74,97	14,49	24,68	s.i.	s.i.	54,00
	Percentil 50	2,00	81,50	16,93	33,13	s.i.	s.i.	79,51
	Percentil 75	3,00	86,60	19,45	43,03	s.i.	s.i.	116,05

*s.i. = sem informação

Ainda frente a este fato, Campinas apresentou dado de umidade relativa do ar com a menor medida entre os municípios estudados, a segunda menor média nesta variável, e também apresentou maior média de internações causadas por problemas respiratórios.

Na série de gráfico em que são apresentados os dados de umidade relativa do ar (gráficos de 1 a 3), nota-se que não há uma sazonalidade muito evidente, mas nos permite inferir que as menores médias desta variável se encontram em meados de setembro, ou seja, no fim do inverno ou período de estiagem, evidenciando a chuva como agente de manutenção desta variável, haja visto que nos municípios litorâneos esta característica se torna mais branda, pois o principal mantenedor da umidade do ar, neste caso, é o mar.

Gráfico 1: Variações das médias diárias de umidade relativa do ar (%) nos municípios de Campinas (1) e Cubatão (2) amostrados no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2014.

Fonte: próprio autor.

Gráfico 2: Variações das médias diárias de umidade relativa do ar (%) nos municípios de Santos (1) e São José dos Campos (2) amostrados no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2014.

Fonte: próprio autor.

Gráfico 3: Variações das médias diárias de umidade relativa do ar (%) nos municípios de São José do Rio Preto (1) e Santo André (2) amostrados no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2014.

Fonte: próprio autor.

Para a temperatura média apresentada na tabela 5, os municípios se comportam de forma muito linear e dentro de um padrão bastante sólido, sem sofrer grandes oscilações. Comprova-se esta afirmação quando se verifica que a diferença entre os municípios com maior e menor média de suas temperaturas é de $3,56^{\circ}\text{C}$; sendo este valor dentro ou próximo dos desvios padrões apresentados por eles.

Para a sequência de gráficos (4 ao 6) que nos apresentam os dados médios das temperaturas nos municípios avaliados, o aspecto de sazonalidade encontra-se bastante robusto, comprovando um comportamento previsto nas estações do ano, mas explicitando a ausência de temperaturas intermediárias, e verificando-se a dicotomia entre dias quentes e frios.

Em todos os seis municípios avaliados, as menores temperaturas foram expressas nos meses de julho e agosto.

Gráfico 4: Variações das médias diárias de temperatura (°C) nos municípios de Campinas (1) e Cubatão (2) amostrados no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2014.

Fonte: próprio autor.

Gráfico 5: Variações das médias diárias de temperatura (°C) nos municípios de Santos (1) e São José dos Campos (2) amostrados no período de junho de 2011 a dezembro de 2014.

Fonte: próprio autor.

Gráfico 6: Variações das médias diárias de temperatura (°C) nos municípios de São José do Rio Preto (1) e Santo André (2) amostrados no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2014.

Fonte: próprio autor.

Nos gráficos de 7 a 9, que demonstram a série histórica de dados sobre a concentração de PM_{10} , nota-se que em épocas do ano, tradicionalmente de estiagem, ocorrem maiores concentrações deste poluente, em meados de setembro e outubro de cada ano.

Mesmo apresentando esta sazonalidade descrita acima, o município de Campinas, ilustrado no gráfico 7, em nenhum momento ultrapassa os padrões de qualidade do ar para concentrações de PM_{10} durante o período amostrado.

Cubatão, ainda no gráfico 7, ultrapassa esses padrões de qualidade do ar dentro do período amostrado, mesmo a legislação atual tendo entrado em vigor a partir de 23 de abril de 2013. Essa legislação estadual diminuiu em 20% o valor especificado como padrão de qualidade de concentração de PM_{10} no ar, com relação à legislação nacional, vigente desde 1990. Mesmo sendo mais permissiva, já demonstrava seus valores sendo extrapolados neste município, identificando a característica de alta fonte emissora de poluentes atmosféricos.

Na tabela 4, verificou-se que a legislação estadual especifica atualmente uma média anual de concentração de PM_{10} de $40\mu g/m^3$, e a legislação nacional, anterior à estadual, estabelecia uma concentração de $60\mu g/m^3$ para os padrões de qualidade do ar, enquanto que Cubatão, no período estudado, teve sua menor média anual em 2012, com concentração igual a $62,29\mu g/m^3$, logo, foi o único município a extrapolar este valor de maneira significativa.

Gráfico 7: Variações nas concentrações médias diárias de PM_{10} ($\mu g/m^3$) nos municípios de Campinas (1) e Cubatão (2) amostrados no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2014.

Linha roxa: Resolução CONAMA nº 03, de 28/06/1990.
 Linha vermelha: Decreto Estadual nº 59.113, de 23/04/2013.
 Fonte: próprio autor.

Avaliando os municípios de Santos (gráfico 8) e Santo André (gráfico 9), percebe-se que, apesar de não terem representado uma sazonalidade clara de concentração do PM_{10} , em todos os momentos em que, dentro do período avaliado, houve incremento da concentração de PM_{10} , coincidiu com o período de inverno, sabidamente um período de estiagem (julho e agosto). Em Santos, este incremento torna-se mais relevante pois ultrapassa o padrão estabelecido de qualidade do ar pela legislação.

São José dos Campos foi o município com menor média de PM_{10} (tabela 5) dentre os avaliados, não demonstrando nenhuma sazonalidade em seus dados, mesmo assim não esteve livre de ocorrências que elevem a concentração de PM_{10} , como a demonstrada no gráfico 8, em que se destaca um único pico de concentração em 09 de abril de 2014, em que a concentração medida deste poluente foi de $177,4\mu g/m^3$; destoando completamente em sua série histórica.

Apesar de apresentar a terceira maior média de PM_{10} dentre os municípios avaliados, São José do Rio Preto, nunca ultrapassou os limites de padrão de qualidade do ar pela legislação vigente, mesmo que em final de setembro de 2012 tenha alcançado uma média diária de pouco mais de $140\mu g/m^3$, ainda não estava em vigência o Decreto Estadual atual, logo, a Resolução do CONAMA ao permitir concentração igual a $150\mu g/m^3$ como média diária, classifica este dado ainda como sem risco à população exposta.

Gráfico 8: Variações nas concentrações médias diárias de PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nos municípios de Santos (1) e São José dos Campos (2) amostrados no período de junho de 2011 a dezembro de 2014.

Linha roxa: Resolução CONAMA nº 03, de 28/06/1990.
 Linha vermelha: Decreto Estadual nº 59.113, de 23/04/2013.
 Fonte: próprio autor.

Gráfico 9: Variações nas concentrações médias diárias de PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nos municípios de São José do Rio Preto (1) e Santo André (2) amostrados no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2014.

Linha roxa: Resolução CONAMA nº 03, de 28/06/1990.
 Linha vermelha: Decreto Estadual nº 59.113, de 23/04/2013.
 Fonte: próprio autor.

Nos gráficos 10 e 11, percebe-se que os municípios de Santos e Cubatão, com maior densidade de frota veicular fixa e flutuante, principal fonte de emissão de NO_2 , pela sua atividade portuária e industrial, são aqueles que possuíram maior média de concentração deste poluente no período estudado (tabela 5), mesmo sem alcançar o valor estabelecido como padrão de qualidade do ar pela legislação vigente.

Com relação a concentração de NO_2 , nota-se uma ação, coincidente ou não, da legislação vigente, pois nos anos anteriores ao decreto estadual, Cubatão teve concentrações médias anuais igual a $66,91\mu\text{g}/\text{m}^3$ em 2011, e $65,49\mu\text{g}/\text{m}^3$ em 2012; e para Santos as concentrações médias anuais foram $63,26\mu\text{g}/\text{m}^3$ em 2011, e $62,16\mu\text{g}/\text{m}^3$ em 2012; isso enquanto a legislação nacional tolerava $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ para médias anuais. Com o decreto estadual publicado em 2013, e o limite tolerado das concentrações anuais diminuído para $60\mu\text{g}/\text{m}^3$, estes municípios tiveram suas concentrações anuais em 2013 e 2014 abaixo deste limiar.

Gráfico 10: Variações da maior concentração média de uma hora do dia de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nos municípios de Cubatão (1) e Santos (2) amostrados no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2014.

Fonte: próprio autor.

Gráfico 11: Variações da maior concentração média de uma hora do dia de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nos municípios de São José dos Campos (1) e São José do Rio Preto (2) amostrados no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2014.

Fonte: próprio autor.

As demonstrações dos gráficos 12 e 13, das medidas de dióxido de enxofre, gás este emitido principalmente em regiões com atividade industrial ou com uma frota veicular que utilizam diesel como combustível, não se mostraram nem perto de suas médias diárias alcançarem os padrões de qualidade do ar pela legislação vigente, com uma única exceção em Cubatão (gráfico 12) em 25 de agosto de 2014, em que a concentração média diária deste poluente chegou a $69,55\mu\text{g}/\text{m}^3$ sem explicação aparente.

O ozônio (O_3) é um agente oxidante e extremamente tóxico nas camadas mais próxima à crosta terrestre, classificado como poluente secundário devido a não ter uma fonte de emissão certa na atmosfera, mas sim ser produzida a partir de reações em ambiente natural. Para tanto, sua concentração aceita ainda como padrão de qualidade do ar baseia-se somente em valores médios de oito horas consecutivas, exatamente para evitar a exposição da população a este poluente.

Gráfico 12: Variações das concentrações médias diárias de SO₂ (µg/m³) nos municípios de Cubatão (1) e Santos (2) amostrados no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2014.

Linha vermelha: Decreto Estadual nº 59.113, de 23/04/2013.

Fonte: próprio autor.

Gráfico 13: Variações das concentrações médias diárias de SO₂ (µg/m³) no município de São José dos Campos amostrado no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2014.

Gráfico 14: Variações da maior média diária de concentração no intervalo de oito horas de O₃ (µg/m³) no município de Cubatão amostrado no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2014.

Linha roxa: Resolução CONAMA nº 03, de 28/06/1990.

Linha vermelha: Decreto Estadual nº 59.113, de 23/04/2013.

Fonte: próprio autor.

O município de Campinas é o único, dentre aqueles que foram amostrados, que não faz a medição deste poluente no período proposto. Os dados de ozônio não seguem padrão de sazonalidade semelhante aos dos demais poluentes (maiores concentrações em meses de inverno), e nem uma orientação comum aos municípios, como por exemplo, as maiores concentrações de O_3 em Cubatão (gráfico 14) são nos meses de fevereiro e março de cada ano; já em Santos (gráfico 15) e São José do Rio Preto (gráfico 16), os meses que apresentam maiores concentrações de ozônio são de outubro a dezembro; e em São José dos Campos (gráfico 15) e Santo André (gráfico 16) existem duas faixas de concentrações mais elevadas de O_3 : o primeiro e o último trimestre de cada ano amostrado; curva comum das concentrações de O_3 em condições normais.

Gráfico 15: Variações da maior média diária de concentração no intervalo de oito horas de O_3 ($\mu g/m^3$) nos municípios de Santos (1) e São José dos Campos (2) amostrados no período de junho de 2011 a dezembro de 2014.

Linha roxa: Resolução CONAMA nº 03, de 28/06/1990.
 Linha vermelha: Decreto Estadual nº 59.113, de 23/04/2013.
 Fonte: próprio autor.

Gráfico 16: Variações da maior média diária de concentração no intervalo de oito horas de O_3 ($\mu g/m^3$) nos municípios de São José do Rio Preto (1) e Santo André (2) amostrados no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2014.

Linha roxa: Resolução CONAMA nº 03, de 28/06/1990.
 Linha vermelha: Decreto Estadual nº 59.113, de 23/04/2013.
 Fonte: próprio autor.

Nos gráficos enumerados de 17 a 19 são apresentados os dados de internações hospitalar por doenças respiratórias, de crianças de 0 a 6 anos de idade incompletos, nos municípios amostrados e, percebe-se que no município de Campinas (gráfico 17), os maiores índices de internação ocorreram nos meses de abril e maio em 2011 e 2012, sendo que em 2013 esta janela que envolveu maior número de internações ocorreu entre abril e junho, e em 2014 houve mais casos em junho e julho. Logo, podemos sugerir que há algum quadro sazonal, no outono e inverno, na internação destas crianças.

Nos gráficos 17 e 18, respectivamente, do número de casos de internações no município de Cubatão e de Santos, verifica-se que o número de internações foi muito baixo frente a população exposta, demonstrando que possivelmente teremos algum fator de proteção para a saúde das crianças expostas à poluição atmosférica destes municípios. Mesmo assim, o efeito se apresenta sazonal na região da Baixada Santista, com maior número de internações em meados de maio, acompanhando o comportamento descrito nos gráficos 18 e 19, de São José dos Campos e São José do Rio Preto respectivamente.

Em Santo André, observando o gráfico 19, há também um período compreendido entre abril e maio, em que se aumentam os casos de internações, mesmo que este dado seja controverso aos dados de poluição por não serem os meses comumente verificados com maiores concentrações de poluentes.

Um fato importante é que as médias anuais de casos de internações por doenças respiratórias em crianças em um município é o mesmo, considerando critérios de arredondamentos matemáticos. Isso constata que as variações das concentrações dos poluentes impactam a saúde das crianças de forma direta.

Gráfico 17: Número de casos de internações diárias por doenças respiratórias nos municípios de Campinas (1) e Cubatão (2) amostrados no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2014.

Fonte: próprio autor.

Gráfico 18: Número de casos de internações diárias por doenças respiratórias nos municípios de Santos (1) e São José dos Campos (2) amostrados no período de junho de 2011 a dezembro de 2014.

Fonte: próprio autor.

Gráfico 19: Número de casos de internações diárias por doenças respiratórias nos municípios de São José do Rio Preto (1) e Santo André (2) amostrados no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2014.

Fonte: próprio autor.

4.2. Estimativa de efeito

Foram calculados polinômios no intuito de inferir a variação de concentração do PM_{10} na saúde respiratória das crianças, e é importante destacar em Campinas (gráfico 20) o dia 0 (dia da exposição) e o dia 1 (um dia após a exposição), com alto grau de impacto nas internações das crianças, mesmo que nos dois dias posteriores a esses dados passam a apresentar efeito estatisticamente negativo. Esse fenômeno caracteriza o chamado “efeito colheita”, em que se entende que toda a população afetada foi internada, e então, a continuidade de exposição ao material particulado causará danos aos pacientes remanescentes, pois no dia 4 e dia 5 o efeito volta a ser percebidos, porém agora sem significância estatística.

No mesmo gráfico (20), podemos observar o dado da somatória dos efeitos à população exposta durante os sete dias, em que chegamos a um aumento percentual de 10,45% (IC95%: 6,39 – 14,51) de internações de crianças por doenças respiratórias.

Em Cubatão (gráfico 20), o polinômio demonstrou efeito na saúde das crianças em todos os dias, de 0 a 6, mostrando que as crianças são afetadas de forma contínua, sem defasagem da elevação da concentração de PM_{10} e a internação das crianças. Porém este dado não possuiu significância estatística em nenhum dos dias de defasagem, a não ser na somatória do efeito no período, cujo qual apresenta 14,49% (IC95%: 5,56 – 23,42) de aumento percentual das internações em crianças por problemas respiratórios, sete dias desde a elevação da concentração de PM_{10} .

Os dados de internação em Santos, quando apresentados pelos seus polinômios (gráfico 20) demonstra que há impacto na saúde das crianças desde o primeiro dia de exposição ao aumento de concentração do PM_{10} (dia 0), apresentando efeito estatisticamente negativo, mas próximo à nulidade nos dias 1 e 2, voltando a ter efeito deletério à saúde das crianças entre os dias 3 e 5. Porém, todo este impacto à saúde respiratória das crianças não possui significância estatística, nem mesmo na somatória dos eventos de internação, mesmo com um aumento percentual nas internações de 4,81% (IC95%: [-1,42] – 11,03) nos seis dias após a exposição ao poluente.

Gráfico 20: Percentuais de aumento das internações hospitalares e respectivos intervalos de confiança de 95% nos municípios amostrados, atribuídas a uma variação interquartil ($13,91\mu\text{g}/\text{m}^3$) na concentração de PM_{10} , somatória do efeito ao longo dos sete primeiros dias de exposição, e metarregressão no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2014.

Dados de São José dos Campos (gráfico 20) demonstram que o efeito não tem significância estatística no dia de exposição até o dia 6. Porém, diferente de Santos, na somatória dos eventos durante esta semana em que há um aumento de concentração de PM_{10} , há um incremento de 8,64% (IC95%: 2,41 – 14,86) de aumento percentual nos casos de internações das crianças com doenças respiratórias.

No gráfico 20, o polinômio de São José do Rio Preto na somatória dos eventos de internação é de 5,68% (IC95%: 0,27 – 11,09), dado este muito semelhante ao efeito medido no dia 0 (5,75%), que por ser considerado um efeito tão intenso, leva a um “efeito colheita” como Campinas, fazendo o efeito se tornar impactante novamente apenas no dia 4, e com significância estatística apenas no dia 5.

O município de Santo André, em seu polinômio (gráfico 20), detalha que o impacto no aumento dos casos de internação aconteceu nos três dias após a exposição ao poluente, porém sendo significativo estatisticamente apenas nos dias 1 e 2. Na somatória dos eventos no período de uma semana, contando o dia de exposição, o aumento percentual de casos verificados foi de 7,30% (IC95%: 1,34 – 13,25).

Após a avaliação dos polinômios, realizou-se uma metarregressão, possibilitando inferir em um mesmo banco de dados, todos os resultados referentes aos seis municípios, as elevações de concentração de PM_{10} , e o efeito na saúde respiratória das crianças de 0 a 6 anos de idade incompletos expostas.

No mesmo gráfico 20 são apresentados os dados da metarregressão, pôde-se observar que há impacto na saúde respiratória das crianças em até cinco dias após um aumento de $13,81\mu g/m^3$ nas concentrações de PM_{10} . Apesar deste dado, apenas no dia 0 e dia 1 há significância estatística com os achados, sendo respectivamente, 1,84% (IC95%: 1,78 – 1,89) e 1,03% (IC95%: 1,00 – 1,07) de aumento de casos de internações nas crianças expostas. Estima-se que no sexto dia de exposição o efeito tenha se tornado estatisticamente negativo pelo fato de que todos os pacientes expostos já terem sido acometidos por internações por doenças respiratórias.

Para uma metarregressão não é admitida uma somatória dos efeitos ao término de um período de tempo pelo fato de se fazer parte das estimativas as peculiaridades de cada unidade (município) envolvida, por este fato que no gráfico 20 não há esta informação, servindo este tratamento estatístico para que, desconsiderando as individualidades dos municípios, as

diferentes fontes emissoras de poluentes atmosféricos, os diversos comportamentos climáticos devido às suas regiões de inserção, possamos inferir um comportamento padrão do efeito agudo da poluição atmosférica à saúde das crianças expostas.

Por meio deste tratamento estatístico, demonstra-se de forma categórica que ações de remediação e cuidados à saúde da população exposta devem ocorrer preferencialmente nos seis primeiros dias de exposição, para que de forma eficiente possa ser realizada a manutenção da saúde respiratória desta população.

5. DISCUSSÃO

Os achados nesta pesquisa indicam que o incremento na concentração de PM_{10} na ordem de $13,81\mu g/m^3$ (valor interquartil) causam uma elevação nas internações hospitalares em crianças de 0 a 6 anos de idade incompletos na maioria dos seis municípios avaliados, mostrando destaque em ordem decrescente para Cubatão, Campinas, São José dos Campos, Santo André e São José do Rio Preto, em que o aumento percentual de casos de internações hospitalares foi, respectivamente,.

Para Santos, houve um aumento percentual de casos de internações porém, sem significância estatística.

Foi elaborada uma estrutura de defasagem, para averiguar quantos dias após exposição a uma determinada elevação de concentração do PM_{10} , em um total de sete dias, verifica-se efeito na saúde respiratória das crianças. Nesta condição, Campinas e São José do Rio Preto apresentam efeito significativo no dia de exposição (dia 0), e Santo André no dia 1. Já Cubatão e Santos, também apresentam agravos à saúde no dia 0, enquanto São José dos Campos tem efeito demonstrado no dia 1, contudo estes municípios não possuem significância estatística.

Devido a diferença de significância, de magnitude do efeito e composição química do PM_{10} , este estudo tem como grande diferencial a estimativa de um efeito conjunto que resume o padrão comum de ocorrência dos efeitos adversos nos municípios estudados. Obtido por meio de uma metarregressão, cujo qual envolveu os efeitos diários de cada município ponderados pelo inverso de sua variância, mostrando de um modo geral, efeitos agudos e estatisticamente significantes nos dois primeiros dias após a exposição (dias 0 e 1).

Essa condição de efeitos na saúde respiratória das crianças em todos os municípios com início no dia da exposição, ou no dia seguinte a isso, evidencia a condição de efeito agudo que acomete o nosso público alvo quando na exposição de elevadas concentrações de PM_{10} , sendo este o grande papel do estudo ecológico, por ter a característica de sensibilidade suficiente para identificação das agressões dos poluentes a um organismo.

Os estudos ecológicos trazem à luz a influência da poluição atmosférica na população, e se justifica pois mais da metade da população mundial viver em cidades, sendo a América Latina o continente mais urbanizado do mundo (82%), e o Brasil alcança até 84% de população urbana. Portanto, faz-se prioritário entender a influência do ambiente construído e o impacto na saúde das pessoas (FAJERSZTAJN; VERAS; SALDIVA, 2016).

As variáveis de confusão que sabidamente podem interferir na interpretação de resultados foram devidamente controladas, como a temperatura, a umidade relativa do ar, os dias da semana e os feriados identificados no período, visando eliminar esses vieses durante a análise de nossos dados, assim como deve ser realizado de forma padrão em todos estudos ecológicos que avaliam os efeitos da poluição do ar sobre a saúde já que, segundo Lopes (2016), nos confirma que os dias mais frios favorecem o desencadeamento ou agravamento de doenças respiratórias, possibilitando mais casos de internações hospitalares principalmente entre maio e julho em crianças.

Também se sabe que em períodos com baixa umidade do ar, típico do inverno no estado de São Paulo, a dispersão de poluentes é dificultada, levando a um aumento da concentração do material particulado e do dióxido de enxofre no período de julho a setembro. (PCPV, 2014; CARVALHO; NAKAZATO; NASCIMENTO, 2018) Por este motivo, a sazonalidade dos poluentes atmosféricos aqui estudados, tende a uma maior concentração nestes períodos de estiagem, com exceção do ozônio. O município de São José dos Campos não apresenta nenhuma destas características dos demais poluentes.

Determinar a variação de concentração de poluentes atmosféricos na saúde das crianças é um dos mais relevantes papéis executado pelos estudos ecológicos, pois municípios com características diferentes serão melhor classificados pelo seu perfil de emissão, como em Delhi, na Índia, onde a concentração PM_{10} em escolas em área comercial foi de $337 \pm 85 \mu g/m^3$, em área industrial foi de $274 \pm 78 \mu g/m^3$, e em área residencial foi de $197 \pm 48 \mu g/m^3$, todas acima do limite tolerado pela legislação local. (MATHEW et al, 2015)

Sabendo que as doenças respiratórias parecem ser o melhor indicador dos efeitos à saúde associados à poluição do ar, (GOUVEIA et al, 2017) os estudos ecológicos são o suporte à legisladores e outros tomadores de decisão ao informar sobre a relevância da saúde respiratória como saúde global, pois é a principal causa de doenças na infância com efeitos negativos a longo prazo, com consequências econômicas vultuosas para as nações. Logo, reduzir a exposição à poluição do ar, educar e formar profissionais de saúde em doenças respiratórias em todo o mundo devem ser fortalecidas, assim como mais pesquisas nesta área. (ZAR; FERKOL, 2014)

Dentre os municípios estudados, Cubatão e Santos se mostraram com características próprias pelo fato de serem os municípios com maior média, no período estudado, de PM_{10} , e também a maior temperatura, esperar-se-ia que seus casos de internação também estariam

elevados, mas é exatamente o contrário que é apresentado: são as duas cidades, dentre as avaliadas, com menor média de internações.

A elevação na concentração de PM_{10} demonstra grande risco às doenças do trato respiratório por parte da população residente ou presente por trabalharem nestes municípios. Esses dados podem ter relação com a posição geográfica do “paredão” rochoso, denominado Serra do Mar, cujo qual não permite a dispersão dos poluentes emitidos pelas rodovias Anchieta (SP-150) e Cônego Domênico Rangoni (SP-55) que circundam estes municípios, sua frota veicular elevada, as atividades econômicas no Parque Industrial de Cubatão e do Porto de Santos.

Essa particularidade geográfica faz com que Cubatão tenha a sua própria concentração de poluentes somadas aqueles que são emitidos no município de Santos, e uma possibilidade para a elevação deste gradiente não elevar o número de casos de internações nas crianças é a manutenção da umidade relativa do ar, pelo próprio litoral, fazendo com que os poluentes se diluam e afetem menos a população local.

Municípios não litorâneos certamente não terão amenizadas as ações dos poluentes atmosféricos em sua população. É o que ocorre em Ribeirão Preto, em que Nicolussi e colaboradores (2014) apresentam elevação do número de casos de doenças respiratórias em crianças de seis e sete anos, no terceiro trimestre do ano, coincidindo com o período de estiagem, e maiores concentrações de PM_{10} e NO_2 . Neste município, as principais fontes emissoras são a ação das queimadas, acidentais ou criminosas, além da interferência do intenso tráfego de veículos sobre a saúde das crianças.

O período de março a agosto foi identificado neste estudo como aquele que possui maior número de internações, período coincidente com os meses em que a palha da cana é queimada, segundo estudo de César e Nascimento (2018). As queimadas trazem tanto prejuízo à qualidade do ar que, mesmo após o Ministério Público Federal determinar a suspensão de todas as licenças e autorizações para a queima da palha da cana de açúcar na região Noroeste do Estado de São Paulo, região esta que abrange o município de São José do Rio Preto, em junho de 2016, estas atividades continuaram a acontecer, levando a um aumento de 76% nos casos de queimadas neste município no ano de 2017, segundo o Corpo de Bombeiros.

Fundamentado nos dados acima descritos, a prefeitura de São José do Rio Preto, publicou o Decreto nº 17.777, em 19 de maio de 2017, que dispõe sobre o Plano Municipal de

Contingência para Prevenção e Combate a Queimadas, em que o acompanhamento de umidade relativa do ar é premissa fundamental para que se coloque em prática este planejamento. Isso se deve principalmente pelo fato de ser sabido a necessidade de se manter elevada umidade relativa do ar para que a poluição atmosférica traga menos agravos à saúde humana.

Carmo e Hacon (2013) afirmam que estudos convencionais de séries temporais de efeitos da poluição atmosférica em áreas urbanas encontram constantemente resultados agudos estatisticamente significativos e positivos com os diferentes desfechos de saúde avaliados, e que nem todas as pesquisas realizadas para analisar as consequências de queimadas apontam impactos significativos na saúde pública, representando quadros consequentes de uma exposição mais severa de exposição à fumaça de queimadas. Com isso, vimos na análise de metarregressão uma ferramenta estatística importante para remediar esta situação, por exemplo, São José do Rio Preto entrou neste estudo representando as queimadas como fonte emissora, e ao introduzir estes dados heterogêneos nesta análise estatística, descarta-se a variável da composição química do material particulado emitido.

As estimativas obtidas por uma metarregressão devem estar refletindo o verdadeiro impacto da poluição atmosférica nos residentes da região amostrada. Conhecer e dimensionar as estimativas do impacto global da poluição do ar na população é importante para auxiliar o delineamento de intervenções que objetivem diminuir a exposição da população à poluição do ar, assim como estimar os custos econômicos dos efeitos à saúde decorrentes dessa exposição.(GOUVEIA et al, 2017)

Por exemplo, o PM_{10} emitido pela queima de diesel não é menos tóxico do que outros tipos de PM, e devido a isso, pode-se inferir a responsabilidade que a frota veicular impacta na saúde respiratória em Londres, onde a maioria dos táxis, ônibus, veículos pesados e vans são movidos a diesel, lançando 54% dos PM_{10} presentes na atmosfera. (LIU; GRIGG, 2018)

Os veículos automotores, um dos emissores aqui estudado, afetam negativamente a qualidade do ar e a saúde de seres humanos e animais, sendo um dos maiores causadores de poluição do ar no Brasil e no mundo. No Brasil, o transporte rodoviário é responsável pelo consumo aproximado de 56,4 milhões de toneladas equivalente de petróleo (CASTRO, 2013), e os veículos de transporte público, impulsionados por motores diesel, influenciam claramente as concentrações de PM_{10} (FLOREZ; HURTADO, 2015).

Apesar de termos outros emissores de poluentes atmosféricos, pode-se pressupor que municípios com grandes frotas, circundadas por rodovias ou elevado tráfego receberão maior impacto à saúde de suas populações, porque mesmo com as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo dos níveis tolerados, a frota automotiva afeta de forma direta a saúde respiratória das crianças. (SAMPAIO, 2015) Nesta mesma linha, podemos afirmar que municípios que possuam suas fontes emissoras de poluentes atmosféricos representados por atividades industriais e a frota veicular for elevada, como Cubatão por exemplo, sofrerão uma maior ação das concentrações de poluentes na atividade respiratória das crianças.

A exposição à poluição do ar proveniente de tráfego está associada com o aumento do risco de morbidade respiratória em crianças, por muitos anos, com asma pré-existente ou comprometimento da atividade do trato respiratório, estando positivamente correlacionado ao aumento de PM₁₀ e NO₂ (ESPOSITO et al., 2014). Então, qualquer política de diminuição de emissão de poluentes não se trata de uma ação imediatista, pois preserva a saúde daqueles que já se encontram acometidos por alguma diminuição da atividade do trato respiratório.

Fica evidenciado que o lançamento dos poluentes na atmosfera aumenta intimamente o aparecimento das doenças respiratórias. (FREGONEZI et al, 2015) Em Roraima houve uma associação entre as internações de crianças menores de cinco anos de idade por doenças respiratórias e a poluição do ar, avaliada por meio do aumento da frota veicular e focos de queimadas. (ACIOLY, 2018)

Há um aumento do risco de hospitalização pediátrica por doenças respiratórias, assim como a associação entre hospitalização e a distância residencial de um parque industrial, em que por meio de regressões logísticas descobriu-se que as crianças no primeiro ano de vida que viviam num raio de 10km, tinham risco aumentado de hospitalização respiratória quando comparadas com as que viviam a mais de 20km dali. (NIREL et al., 2015)

Quando comparamos os valores de umidade relativa do ar dos municípios de Campinas e São José do Rio Preto com o tamanho de suas frotas veiculares apresentados na Tabela 1 (1,35 habitante/veículo e 1,21 habitante/veículo, respectivamente), podemos sugerir que os moradores destes municípios estão expostos a uma emissão maior de poluentes atmosféricos, e por consequência, este quadro de menor umidade pode trazer maior risco a esta população. Entretanto, Campinas ainda estaria em uma situação mais crítica pelo fato de possuir uma densidade demográfica de mais de 1300 habitantes/km².

Carmo e Hacon (2013) defendem que as lacunas de conhecimento na pesquisa de efeitos da poluição atmosférica estão nas diferenças na composição química do material particulado.

Com base nesta definição, é clara a influência de que as diferentes fontes de emissão de poluentes atmosféricos interferem na patogenicidade de um material particulado, pois a única regra a ser seguida para entender o que é um PM_{10} , é a circunferência do grão, não havendo nenhuma alusão à sua composição química. Portanto, fazer levantamentos das doenças causadas por PM_{10} pode não se mostrar tão lógico, quando nos é apresentado um cenário que há municípios com concentrações menos elevadas deste poluente, mas com maior número de internações. Portanto, usamos os dados de metarregressão para minimizar este fator de confundimento ao comparar municípios diferentes.

De um modo geral, os poluentes que causam maior preocupação nas regiões urbanas do estado de São Paulo são o PM_{10} e o O_3 , poluentes gerados em processos de combustão (direta ou indiretamente) advindos das fontes móveis e dos segmentos industrial e agrícola (queima da palha de cana). (PCPV, 2014)

Segundo Esposito e colaboradores (2014), crianças com pré existência de doenças respiratórias, como asma por exemplo, terão quadros de hospitalizações elevadas quando há aumento de $10\mu g/m^3$ de PM_{10} , assim como, o fato de simplesmente viverem perto de rua com alta densidade de tráfego veicular já é considerado um fator de risco. (MATHEW et al, 2015)

As concentrações toleradas de PM_{10} , conforme dispostos no gráfico 7, indicam que Cubatão apresenta um quadro extremamente preocupante quando estes dados são comparados ao critério estabelecido pelo artigo 3º da Resolução CONAMA nº 03/1990, pois nele está previsto que, como Padrão Secundário, tolera-se uma concentração média geométrica anual de $60\mu g/m^3$, enquanto em todos os anos amostrados neste trabalho tiveram suas médias ultrapassando este limite (2011 [$66,06\mu g/m^3$]; 2012 [$62,29\mu g/m^3$]; 2013 [$63,82\mu g/m^3$]; 2014 [$68,04\mu g/m^3$]). Isso se torna ainda mais relevante quando, em abril de 2013 publica-se o Decreto Estadual nº 59.113/2013, em que o limite tolerado para a média anual de PM_{10} passa a ser de $40\mu g/m^3$, para uma fiscalização mais rígida, trazendo menos agressão à população exposta.

Nos municípios de Campinas e de Santo André, no período amostrado, não foi evidenciada concentração de PM_{10} acima do nível tolerado pela legislação vigente atual, tanto em nível estadual quanto nacional. Em São José dos Campos, somente em uma oportunidade em abril de 2014 o nível tolerado pela legislação foi ultrapassado pelas mensurações das

estações. Para os demais municípios, devemos considerar que em mais de uma oportunidade estes valores foram extrapolados.

A partir desta constatação, verifica-se claramente a interferência da fonte de emissão de PM_{10} em sua composição química e impacto na saúde, pois os três municípios que se mantiveram com concentrações praticamente abaixo do limite tolerado pela legislação, são exatamente os três primeiros em números de casos de internações por doenças respiratórias em crianças.

Para o ozônio, segundo a legislação vigente, as concentrações não podem exceder $140\mu g/m^3$ mais de uma vez ao ano, e em todos os municípios em que este componente foi monitorado, encontraram-se médias diárias excedendo a linha vermelha dos gráficos 14 ao 16 em mais de um dia em cada ano do período deste estudo. Ainda em elucidação do prejuízo à saúde humana, deve-se atentar para este dado, com o propósito de evitar riscos à população.

Comparado a outros poluentes, o ozônio é o mais complexo e difícil de ser controlado, pois não é emitido diretamente, mas forma-se na baixa atmosfera por meio de reações fotoquímicas (DAPPER; SPOHR; ZANINI, 2016). Há uma associação positiva do O_3 com períodos mais ensolarados ou de maiores temperaturas, como primavera e verão, pois trata-se de um poluente secundário, produzido na atmosfera tendo como catalisador os raios solares. (PCPV, 2014; CARVALHO; NAKAZATO; NASCIMENTO, 2018) Além do que, o efeito de ressonância produzido pela elevada eletronegatividade do oxigênio, e sua instabilidade em produzir três ligações covalentes, faz com que este poluente possa trazer danos ao organismo não apenas pelo fato de ser um poluente atmosférico, mas por provocar reações oxidativas à tecidos vivos.

Os óxidos de nitrogênio e de enxofre (NO_2 e SO_2) em baixas concentrações, pouca ou nenhuma vez alcançando os limites tolerados pela nossa legislação, demonstram que a emissão por queima de combustível fóssil em veículos automotores se apresenta menos intensa, provavelmente por responsabilidade das regulamentações frente a esta indústria e tecnologias que envolvem a composição química do diesel e gasolina, ou dos filtros de gases emitidos. Essa regulação dá-se pelo fato de, historicamente, serem poluentes sabidamente causadores de chuva ácida.

A exposição em curto prazo de tempo aos poluentes confere um risco aumentado de internações hospitalares em crianças devido terem crescimento pulmonar imaturo. Associações

significativas entre a concentração de poluentes atmosféricos e as internações evidenciam a exposição no dia 1 para PM_{10} , segundo revisão sistemática de Zheng e colaboradores (2015). Esse dado para PM_{10} assemelha-se somente ao município de Santo André, que apresenta início de efeito significativo no dia 1, porque os demais municípios possuem efeito adverso desde o dia 0, significativos ou não do ponto de vista estatístico.

Em Vitória, indica-se aumento de 3–9% na taxa de admissões hospitalares de crianças ao aumento de $10\mu g/m^3$ de PM_{10} . (TUFIK et al, 2017) Com relação ao PM_{10} , as taxas de internações avaliadas com o aumento de $13,81\mu g/m^3$ no valor interquartil nos seis diferentes municípios está de acordo com o intervalo concluído em Vitória/ES, ficando somente fora deste dado Campinas e Cubatão, que mostram índices de internação ainda maiores do que nove pontos percentuais. Sampaio (2015) encontrou no aumento de um interquartil no nível de PM_{10} ($24,42\mu g/m^3$) uma associação com aumento de 3,34% nos casos de internação.

Em um estudo de Souza e Nascimento (2016) executado em Araraquara, município caracterizado por uma intensa atividade ligada à indústria sucroalcooleira entre os meses de abril e novembro, com a queima de palha de cana (semelhante ao município de São José do Rio Preto), verificaram número de internações diárias máximo de 25 admissões, assim como o município de Campinas neste estudo, em crianças de 0 a 10 anos. O efeito da exposição ao PM_{10} como um fator de risco para o dia 0 (mesmo dia de exposição) e no terceiro dia de exposição (dia 3) é observado com um aumento de 15% no risco relativo. Apesar de não se apresentarem na mesma intensidade em nosso estudo, há uma curva de número de internações semelhante no dia 0 e dia 3, estão os municípios de Cubatão e Santos, mas sem significância estatística.

Luong e colaboradores (2017) verificaram que no dia 0, após um aumento de $10\mu g/m^3$ de PM_{10} , houve um aumento de 1,4% nas internações infantis no Vietnã, dado este menor do que os achados neste trabalho em quatro, dos seis municípios avaliados, em que devemos considerar a característica da fonte emissora.

Com uma média aritmética anual de $42,71\mu g/m^3$, Alexandrina (2015) encontrou a mesma sazonalidade que este estudo, com a maior concentração média de PM_{10} de $70,41\mu g/m^3$ em agosto de 2014, e a menor de $22,59\mu g/m^3$ em janeiro/2015. Esse achado comprova o que afirma este estudo, de que menores concentrações estiveram presentes em períodos mais chuvosos.

Zhu e colaboradores (2017) encontraram alta associação significativa para os dias 0-5, quando na elevação de interquartil para PM_{10} , em Nanjing, na China, e quando analisados individualmente, chegaram a um aumento significativo dos casos diários de doenças respiratórias em crianças, sendo 3,6% para PM_{10} (concentração média diária de $117,4\mu g/m^3$) para o período de inverno.

O monitoramento de diversos municípios em um mesmo intervalo de tempo se faz necessário pois a distribuição dos níveis de concentração de PM_{10} pode ser significativo em diferentes municípios, como identificaram Xie e colaboradores (2015) com o comportamento de dois municípios chineses, em que as médias anuais de concentração foram extremamente discrepantes em Haikou ($46\mu g/m^3$) e Shijiazhuang ($278\mu g/m^3$), simplesmente pela sua categorização como emissor devido às atividades econômicas.

No município de Volta Redonda/RJ, avaliando as emissões de PM_{10} (média de $35,95\mu g/m^3$), SO_2 (média de $11,47\mu g/m^3$) e O_3 (média de $75,72\mu g/m^3$); o PM_{10} e SO_2 não apresentaram violação dos padrões de emissão diária segundo a legislação vigente. O O_3 forneceu três violações padrão, considerando o valor definido pelo CONAMA de $160\mu g/m^3$ para uma média horária (OLIVEIRA et al, 2016), pois é esta a legislação vigente em território fora do estado de São Paulo. Portanto, há uma necessidade de padronização nacional na regulação a cerca desta temática, evitando sobreposições de legislações.

Tufik e colaboradores (2017) encontraram uma associação entre O_3 e desfechos respiratórios na ordem de 1,93% para o aumento de hospitalizações de crianças por causas respiratórias em Vitória. No município de São Paulo, o aumento de um interquartil no nível de O_3 ($52,17\mu g/m^3$) aumentou em 1,30% os casos de internação das crianças. (SAMPAIO, 2015). Em crianças de até 10 anos de idade em São José dos Campos, observou-se que um aumento de $20\mu g/m^3$ na concentração de ozônio implicou em um aumento de até 15% no risco relativo de hospitalização por pneumonia (TUAN; VENÂNCIO; NASCIMENTO, 2015).

De acordo com as informações acima descritas, e de não ter sido objetivo deste estudo, devemos atentar para as excessivas oportunidades em que os padrões de qualidade do ar referentes ao O_3 pela legislação vigente foram ultrapassados, mesmo que Souza e Nascimento (2016) tenham afirmado que o O_3 não se comportou como fator de risco em seu estudo.

Em análise das médias anuais de concentrações de SO_2 nos municípios que possuem estas medidas, percebe-se uma diminuição discreta em seus valores em Cubatão (2011 –

12,62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 2012 – 10,99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 2013 – 11,18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 2014 – 11,21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), e São José dos Campos (2011 – 3,54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 2012 – 3,09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 2013 – 2,31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 2014 – 1,91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), já em Santos o comportamento é crescente (2011 – 10,85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 2012 – 12,49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 2013 – 9,58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 2014 – 12,06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), semelhante a tendência encontrada por Freitas e colaboradores (2016), em que o SO_2 mostrou uma tendência crescente, com níveis variando de 5,87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ em 2001, a 14,06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ em 2006.

As baixas concentrações de SO_2 encontradas neste estudo não devem trazer despreocupação à população exposta, pois ainda é incerta sua associação com quadros de doenças respiratórias, já que existem estudos indicando aumento de 9% na hospitalização por causas respiratórias a cada 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e em alguns outros estudos, ausência de qualquer aumento significativo dos casos de hospitalizações, identificados por Tufik e colaboradores (2017) em sua revisão sistemática.

Para o NO_2 , Luong e colaboradores (2017) encontraram uma concentração média de 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para um limite tolerado de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dado coincidente com os valores levantados nos seis municípios estudados.

Assim como os dados verificados nos resultados deste estudo, os níveis de SO_2 e NO_2 ficaram abaixo dos padrões de qualidade do ar encontrados por Mathew e colaboradores (2015).

Os trabalhos com caráter ecológico devem ser incentivados, assim como redes de monitoramento independentes, em uma parceria público-privada, pois o impacto que a poluição atmosférica traz à receita orçamentária municipal em procedimentos de remediação e tratamento de sua população, certamente seria menor do que os dados que incluem as despesas que poderiam ser evitadas com o controle de emissão e diminuição de concentração de poluentes no ar.

Segundo César e Nascimento (2018), em que médias diárias de 22,45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} apresentaram aumento de 1,20% em internações no dia 0, e 1,10% de aumento de internações no dia 6; com um incremento de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração da PM_{10} , tiveram um aumento de até 4,8% nas hospitalizações, fazendo com que esta relação de custo operacional de controle de emissão de poluentes tenha relevância, pois levaram a uma despesa excedente de US\$ 17 mil por ano.

Nesta mesma argumentação sobre custo da poluição atmosférica para a saúde pública, Carvalho, Nakazato e Nascimento (2018) mostraram que com uma redução de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nas

concentrações de NO₂, projeta-se uma diminuição na despesa médica em torno de R\$ 260 mil por ano.

Portanto, podemos considerar, assim como Nicolussi e colaboradores (2014), que os níveis de morbidade infantil por causas respiratórias podem ser prevenidos, desde que sejam garantidas mudanças nos aspectos legais e socioeconômicos, que possam interagir com a implementação de ações da saúde pública.

Neste estudo adotamos modelos de regressão que têm sido testados, como mostrados anteriormente, e que se mostram adequados para estudos de epidemiologia ambiental que investigam os efeitos agudos da poluição atmosférica no sistema respiratório de crianças. Erros aleatórios não podem ser completamente excluídos mas erros sistemáticos são pouco prováveis.

6. CONCLUSÃO

Nos municípios analisados, o aumento da poluição atmosférica se mostrou associada ao aumento de internações hospitalares para as crianças expostas.

Em Campinas o efeito foi imediato, no mesmo dia de exposição e no dia seguinte, semelhante a São José do Rio Preto, em que foi percebido um efeito bastante agudo no dia de exposição.

Santo André teve os agravos à saúde culminando nas internações nos dois dias seguintes à exposição ao PM₁₀.

Os municípios de Cubatão e São José dos Campos apresentaram efeito significativo apenas na somatória dos eventos nos seis dias após a exposição.

Em Santos não observamos associação da variação dos poluentes com o desfecho.

Confirmou-se um padrão de efeito por meio da metarregressão, independente do perfil de emissão do PM₁₀, com efeito adverso significativo no dia de exposição, e no dia imediatamente posterior.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACIOLY, R.L.X. *Relações entre internações de crianças por doenças respiratórias e a poluição do ar no Estado de Roraima entre 2009 e 2013*. Dissertação (mestrado) – **Universidade Católica de Santos**, Programa de Mestrado em Saúde Coletiva. 2018.
- ALEXANDRINA, E.C. *Caracterização e composição química do material particulado grosso (MP₁₀) no centro da cidade de São Carlos (SP)*. Dissertação (Mestrado) - **Universidade Federal de São Carlos**, Programa de Mestrado em Engenharia Química. 2015.
- AMÂNCIO, C.T.; NASCIMENTO, L.F.C. *Asma e poluentes ambientais: um estudo de séries temporais*. **Revista da Associação Médica Brasileira**. 58(3):302-307. 2012.
- ARANA, A.A. *Aerossóis atmosféricos na Amazônia: composição orgânica e inorgânica em regiões com diferentes usos do solo*. Tese (doutorado). **Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – Universidade Estadual do Amazonas**. Programa de Doutorado em Clima e Ambiente. 2014.
- BAKONYI, S.M.C. et al. *Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR*. **Revista de Saúde Pública**. 38(5): 695-700. 2004.
- BENTO, M.H.S. et al. *Efeitos da poluição do ar causada por veículos automotores na saúde humana e no meio ambiente*. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. V.4, No. 3, Dez/2012
- BRAGA, A.L.F.; ZANOBBETTI, A.; SCHWARTZ, J.. *Do respiratory epidemics confound the association between air pollution and daily deaths?*. **European Respiratory Journal**, v. 16, n. 4, p. 723-728, 2000.
- BRAGA, A.L.F.; ZANOBBETTI, A.; SCHWARTZ, J. *The lag structure between particulate air pollution and respiratory and cardiovascular deaths in 10 US cities*. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**. 2001.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. *Doenças respiratórias crônicas / Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Atenção Básica*. – Brasília : Ministério da Saúde, 2010.
- BRITO, P.H.F.; ARAUJO, R.S.; SILVA, G.M.M. *Composição química do material particulado atmosférico: uma revisão de literatura*. **HOLOS**, v. 4, p. 62-74, 2018.
- CARMO, C.N.; HACON, S.S. *Estudos de séries temporais de poluição atmosférica por queimadas e saúde humana*. **Ciência & Saúde Coletiva**, 18(11):3245-3258, 2013.
- CARVALHO, P.C.; NAKAZATO, L.F.; NASCIMENTO, L.F.C. *Exposure to NO₂ and children hospitalization due to respiratory diseases in Ribeirão Preto, SP, Brazil*. **Ciência & Saúde Coletiva**, 23(8):2515-2522, 2018.
- CASTRO, N. *Mensuração de externalidades do transporte de carga brasileiro*. **Journal of Transport Literature**. Vol. 7, n. 1, pp. 163-181, Jan. 2013.

CENSO. *Demografia*. Disponível em: <www.censo2010.ibge.gov.br/> Acesso em: 17/11/2016.

CÉSAR, A.C.G.; NASCIMENTO, L.F.. *Coarse particles and hospital admissions due to respiratory diseases in children. An ecological time series study*. **São Paulo Medical Journal**, v. 136, n. 3, p. 245-250, 2018.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. *Poluentes*. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>> Acesso em 14/01/2019.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. *Padrões de qualidade do ar*. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>> Acesso em: 17/11/2018.

COMPREHENSIVE META-ANALYSIS. *Software CMA Versão 3*. Disponível em: <<https://www.meta-analysis.com/>> Acesso em: 13/10/2018.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução n.º 03**. *Amplia o número de poluentes atmosféricos passíveis de monitoramento e controle no País*. 28 de junho de 1990.

CUBATÃO. *História & Fotos*. Disponível em: <www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=351350&search=sao-paulo|cubatao> Acesso em: 17/11/2016.

DAPPER, S.N.; SPOHR, C.; ZANINI, R.R. *Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo*. **Estudos avançados**. 30(86), 2016.

DATASUS – Portal da Saúde do SUS. *Arquivos de dados*. Disponível em: <<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0901&item=1&acao=25>> Acesso em: 17/11/2016.

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito. *Frota de Veículos (por ano)*. Disponível em: <www.denatran.gov.br/index.php/estatistica/237-frota-veiculos> Acesso em: 17/11/2016.

ESPOSITO, S. et al. *Impact of air pollution on respiratory diseases in children with recurrent wheezing or asthma*. **Pulmonary Medicine**. 14:130. 2014.

FAJERSZTAJN, L.; VERAS, M.; SALDIVA, P.H.N. *Como as cidades podem favorecer ou dificultar a promoção da saúde de seus moradores?* **Estudos avançados**. 30(86), 2016.

FERREIRA, M.D.F. *A Qualidade de Vida em crianças com Asma: Revisão bibliográfica*. Dissertação de mestrado Integrado em Medicina – **Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar – Universidade do Porto**. 2016.

FIRS – Foro de las Sociedades Respiratorias Internacionales. *El impacto global de la Enfermedad Respiratoria* – Segunda edición. México, **Asociación Latinoamericana de Tórax**, 2017.

FLOREZ, L.L.D.; HURTADO, J.M.G. *Efectividad de las políticas ambientales para controlar la Contaminación del aire en Bogotá*. Universidad de la Salle. **Facultad de Ciencias Económicas y Sociales - Programa Economía**. Bogotá D.C. 2015.

FREGONEZI, R.L. et al. *Poluição atmosférica relacionada às doenças respiratórias: Abordagem de abrangência em prol da prática clínica*. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v. 13, n. 1, p. 697-706, 2015.

FREITAS, C.U. et al. *Air pollution and its impacts on health in Vitoria, Espírito Santo, Brazil*. **Rev Saude Publica**.;50:4. 2016

GONÇALVES, M.S. *A influência do ambiente na saúde-Uma reflexão sobre o ambiente na saúde infantil*. Dissertação (mestrado) – **Universidade do Porto**. Programa em Economia e Gestão do Ambiente.. 2016.

GOUVEIA, N. et al. *Poluição do ar e hospitalizações na maior metrópole brasileira*. **Revista de Saúde Pública**, v. 51, p. 1-10, 2017.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Decreto nº 59.113**. *Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas*. 23 de abril de 2013.

GREEN, P.J.; SILVERMAN, B.W. *Nonparametric Regression and Generalized Linear Models: A Roughness Penalty Approach*. London, IL: Chapman & Hall, 1994.

GUYTON, A.C.; HALL, J.E. *Insuficiência respiratória – Fisiopatologia, Diagnóstico, Terapia com Oxigênio*. In:__. **Tratado de fisiologia médica**. 13. ed. Rio de Janeiro (RJ): Elsevier, 2017a.

GUYTON, A.C.; HALL, J.E. *Ventilação pulmonar*. In:__. **Tratado de fisiologia médica**. 13. ed. Rio de Janeiro (RJ): Elsevier, 2017b.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. *Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores — Proconve/Promot/Ibama*, 3 ed. — Brasília: Ibama/Diqua, 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **CAMPINAS**. *História*. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/campinas/historico>> Acesso em: 23/03/2019(a).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **SANTOS**. *História & Fotos*. <www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=354850&search=sao-paulo|santos> Acesso em 17/11/2016(b).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **SÃO JOSÉ DOS CAMPOS**. *História & Fotos*. <www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=354990&search=sao-paulo|sao-jose-dos-campos> Acesso em 17/11/2016 (c).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **SÃO JOSÉ DO RIO PRETO**. *História & Fotos*. <www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=354980&search=sao-paulo|sao-jose-do-rio-preto> Acesso em 17/11/2016(d).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **SANTO ANDRÉ**. *História & Fotos*. <www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=354780&search=sao-paulo|santo-andre> Acesso em 17/11/2016(e).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Área dos municípios*. Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm> Acesso em: 17/11/2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **SANTOS**. *Demografia*. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/santos/panorama>> Acesso em: 17/11/2018.

JAMES GAUDERMAN, W. et al. *Association between air pollution and lung function growth in southern California children*. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 162, n. 4, p. 1383-1390, 2000.

JASINSKI, R.; PEREIRA, L.A.A; BRAGA, A.L.F. *Poluição atmosférica e internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e adolescentes em Cubatão, São Paulo, Brasil, entre 1997 e 2004*. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 27(11):2242-2252, nov/2011.

LIU, N.M.; GRIGG, J. *Diesel, children and respiratory disease*. **BMJ pediatrics open**, v.2, n.1, 2018.

LOPES, F.N. *Associação entre condições meteorológicas de inverno e doenças respiratórias em crianças na cidade de Pelotas-RS*. Dissertação (mestrado) - **Universidade Federal de Pelotas**. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. 2016.

LU, F. et al. *Systematic review and meta-analysis of the adverse health effects of ambient PM_{2.5} and PM₁₀ pollution in the Chinese population*. **Environmental research**, v.136, p.196-04, 2015.

LUONG, L.M.T. et al. *The association between particulate air pollution and respiratory admissions among young children in Hanoi, Vietnam*. **Science of the Total Environment**, v.578, p.249-255, 2017.

MATHEW, J.et al. *Air pollution and respiratory health of school children in industrial, commercial and residential areas of Delhi*. **Air Quality, Atmosphere & Health**, v.8, n.4, p.421-427, 2015.

McCULLAGH, P.; NELDER, J.A. *Generalized Linear Models*, 2^a ed. London, IL: Chapman & Hall, 1989.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Vigilância em Saúde. *Perfil da morbimortalidade por doenças respiratórias crônicas no Brasil, 2003 a 2013*. **Boletim Epidemiológico**. V.47. no 19. 2016.

MOREIRA, M.E.L.; LOPES, J.M.A. *Patologia respiratória*. In.: MOREIRA, M.E.L., LOPES, J.M.A. and CARVALHO, M., orgs. **O recém-nascido de alto risco: teoria e prática do cuidar** [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2004.

NASCIMENTO, A.P. et al. *Associação entre a concentração de partículas finas na atmosfera com doenças respiratórias agudas em crianças*. **Rev Saude Publica**. 51: 3; 2017.

NASCIMENTO, L.F. et al. *Efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil em São José dos Campos, SP*. **Rev Saude Publica**. 40(1):77-82. 2006.

NICOLUSSI, F.H. et al. *Poluição do ar e doenças respiratórias alérgicas em escolares*. **Rev. Saúde Pública**;48(2):326-330. 2014.

NIREL, R. et al. *Respiratory hospitalizations of children living near a hazardous industrial site adjusted for prevalent dust: a case-control study*. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v.218, n.2, p. 273-279, 2015.

OLIVEIRA, M.S. et al. *Association between air pollution and hospital admission from respiratory disease: construction of basics parameters to assess the impact of National Policy Environmental Health Surveillance related to air quality in Brazil*. **American International Journal of Biology**. Vol.4, No.1, pp.1-19, Junho, 2016.

PCPV – PLANO DE CONTROLE DE POLUIÇÃO VEICULAR. 2014-2016 / CETESB; Antônio de Castro Bruni... [et al.]. São Paulo: CETESB, 2014.

PREFEITURA DE CAMPINAS. *Origens*. Disponível em: <www.campinas.sp.gov.br/sobre-campinas/campinas.php> Acesso em: 15/02/2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CUBATÃO. *História*. Disponível em: <<http://www.cubatao.sp.gov.br/institucional/>> Acesso em: 20/02/2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTOS – Grupo Técnico de Trabalho do Plano Diretor de Desenvolvimento e Expansão Urbana. *Diagnóstico Consolidado de Revisão do Plano Diretor de Desenvolvimento e Expansão Urbana*. Out./2013.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTOS. *História*. Disponível em: <<http://www.santos.sp.gov.br/?q=hotsite/conheca-santos#menu3>> Acesso em: 20/02/2019.

PREFEITURA DE RIO PRETO. *História de São José do Rio Preto*. Disponível em: <<http://www.riopreto.sp.gov.br/PortalGOV/do/conhecendoCidade?op=viewForm&coConteudo=11166&coEstruturaPai=12>> Acesso: 25/02/2019.

PREFEITURA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. *História – Características, aspectos históricos e culturais*. Disponível em <<https://www.sjc.sp.gov.br/servicos/governanca/sao-jose-em-dados/historia/>> Acesso: 13/03/2019.

PREFEITURA DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO. **Decreto nº 17.777**. *Dispõe sobre o Plano Municipal de Contingência para Prevenção e Controle a Queimadas*. 19 de maio de 2017.

QUALAR – SISTEMA DE INFORMAÇÃO DA QUALIDADE DO AR. *Consulta – Configurações das Estações*. Disponível em: <<http://qualar.cetesb.sp.gov.br/qualar/relConfiguracaoEstacao.do?method=gerarRelatorio>> Acesso em: 17/11/2018.

SAMOLI, E. et al. *Associations of short-term exposure to traffic-related air pollution with cardiovascular and respiratory hospital admissions in London, UK. Occup Environ Med* **Published Online First**: [February 16, 2016].

SAMPAIO, J.C.M.S. *Relação entre poluição do ar e internações por doenças respiratórias em crianças no município de São Paulo*. (Dissertação de Mestrado) - **Universidade Católica de Santos**, Programa de Mestrado em Saúde Coletiva, 2015.

SANTO ANDRÉ. *História*. Disponível em <<http://www.abcdabc.com.br/santo-andre/institucional>> Acesso em: 03/03/2019.

SCHVARTSMAN, C. et al. *Seven-day cumulative effects of air pollutants increase respiratory ER Visits Up to Threefold. Pediatric Pulmonology*. 52:205–212. 2017.

SCHWARTZ, J. *The distributed lag between air pollution and daily deaths. Epidemiology*. 2000.

SOARES; A. A. A. *Avaliação da função pulmonar e da força muscular respiratória de crianças com asma e/ou rinite submetidas ao Teste de Caminhada de seis minutos*. Universidade Federal de Sergipe, **Programa de Pós Graduação em Ciências da Saúde**, 2016.

SOUZA, P.A. *Caracterização do material particulado fino e grosso e composição da fração inorgânica solúvel em água em São José dos Campos/SP*. Dissertação – Mestrado (Pós-Graduação em Geociências). **Universidade Federal Fluminense**. Área: Geoquímica Ambiental. 2009.

SOUZA, L.S.V.; NASCIMENTO, L.F.C. *Air pollutants and hospital admission due to pneumonia in children: a time series analysis. Rev assoc med Bras*. 62(2):151-156; 2016.

TUAN, T.S.; VENANCIO, T.S.; NASCIMENTO, L.F.C. *Air pollutants and hospitalization due to pneumonia among children. An ecological time series study. Sao Paulo Med J*. 133(5):408-13. 2015.

TUFIK, S. et al. *Revisão sistemática sobre a epidemiologia das doenças cardiovasculares e respiratórias e suas associações com a poluição do ar em Vitória/ES. Clin Biomed Res*. 37(2). 2017.

XIE, Y. et al. *Spatiotemporal variations of PM_{2,5} and PM₁₀ concentrations between Chinese cities and their relationships with SO₂, NO₂, CO and O₃. Particuology*, v.20, p.141-149, 2015.

ZAR, H.J.; FERKOL, T.W. *The global burden of respiratory disease — impact on child Health. Pediatric Pulmonology*. 49:430–434, 2014.

ZHENG, XY et al. *Association between air pollutants and asthma emergency room visits and hospital admissions in time series studies: a systematic review and metanalysis. PLoS ONE* 10(9):e0138146.doi:10.1371/journal.pone.0138146. Setembro, 2015.

ZHU, L. et al. *Short-term effects of ambient air pollution and childhood lower respiratory diseases. Scientific Reports*, v.7, n.1, p.4414, 2017.