



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Câmpus Apucarana/Londrina



LAÍS SINHORINI AGUIAR

**ESTUDO DA RELAÇÃO DA QUALIDADE DO AR E VARIÁVEIS
METEOROLÓGICAS NA OCORRÊNCIA DE MORBIDADE
RESPIRATÓRIA E CIRCULATÓRIA NA REGIÃO METROPOLITANA
DE SÃO PAULO**

LONDRINA

2015

LAÍS SINHORINI AGUIAR

**ESTUDO DA RELAÇÃO DA QUALIDADE DO AR E VARIÁVEIS
METEOROLÓGICAS NA OCORRÊNCIA DE MORBIDADE
RESPIRATÓRIA E CIRCULATÓRIA NA REGIÃO METROPOLITANA
DE SÃO PAULO**

Dissertação de mestrado, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, câmpus Apucarana/Londrina da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Leila Droprinchinski Martins.

LONDRINA

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca UTFPR - Câmpus Londrina

A282e Aguiar, Laís Senhorini

Estudo da relação da qualidade do ar e variáveis meteorológicas na ocorrência de morbidade respiratória e circulatória na região metropolitana de São Paulo/ Laís Senhorini Aguiar. – Londrina: [s.n.], 2015.

105 f.: il.; 30 cm.

Orientadora: Prof^a. Dra. Leila Droprinchinski Martins

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Londrina, 2015.

Bibliografia: f. 79-87.

1. Ar - Poluição. 2. Saúde ambiental. 3. Poluição urbana. I. Martins, Leila Droprinchinski, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. III. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. IV. Título.

CDD: 628



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Pró-reitora de Pesquisa e Pós Graduação
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Campus Apucarana/Londrina



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO DA RELAÇÃO DA QUALIDADE DO AR E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NA OCORRÊNCIA DE MORBIDADE RESPIRATÓRIA E CIRCULATÓRIA NA REFGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

por

Laís Senhorini Aguiar

Dissertação de mestrado apresentada no dia ___08/05/2015___ como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Câmpus Apucarana/Londrina, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O Candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado. (Aprovado ou Reprovado).

Prof. Dr (ª)- Orientador
(UTFPR)

Prof. Dr(ª)- Membro Titular
(Instituição)

Prof. Dr(ª)- Membro Titular
(Instituição)

Prof. Dr Edson Fontes de Oliveira

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

* A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa.

AGRADECIMENTOS

A Deus, sem Ele nada seria possível.

Aos meus pais, Sissi e Valentin, por todo carinho, ensinamentos, incentivos e por acreditarem em mim. A eles todo meu amor.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Leila Droprinchinski Martins, pela confiança depositada e conhecimentos transmitidos para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Silvano Cesar da Costa, do Departamento de Estatística da Universidade Estadual de Londrina, por todo ensinamento e apoio. Sua participação foi fundamental para que esta dissertação fosse realizada.

Ao colega e pesquisador Me. Maurício Nonato Capucim, do Laboratório de Eventos Atmosféricos Extremos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por todo auxílio na elaboração das imagens utilizadas no trabalho.

Aos professores da banca examinadora, pela contribuição dedicada a este estudo.

À estação Meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pelos dados cedidos.

À Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), por disponibilizar os dados necessários ao desenvolvimento do trabalho.

Às minhas grandes amigas, de Umuarama e Irati, por toda amizade, por compreenderem minha ausência e estarem sempre ao meu lado. Levo todas em meu coração.

Ao Guilherme, por todo apoio, compreensão e carinho dispensados durante a realização deste trabalho.

À todos os colegas da Pós-Graduação e do Laboratório de Eventos Atmosféricos Extremos, pelo convívio e agradáveis momentos compartilhados.

Aos professores e demais funcionários do Programa de Pós-graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo 404104/2013-4 e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para que este trabalho fosse concretizado.

RESUMO

AGUIAR, L.S. **Estudo da relação da qualidade do ar e variáveis meteorológicas na ocorrência de morbidade respiratória e circulatória na Região Metropolitana de São Paulo**. 2015. 105 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA), câmpus Apucarana/Londrina, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2015.

O objetivo principal do presente trabalho foi avaliar a relação entre a poluição atmosférica e a saúde humana, tendo como foco a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Com uma população de 20 milhões de habitantes e inúmeras fontes de poluentes atmosféricos, onde os veículos automotores são destaque, os níveis de poluição são elevados e têm contribuído com a redução da qualidade de vida da população. Neste sentido, o estudo investigou a associação entre a qualidade do ar, as variáveis meteorológicas e a morbidade hospitalar, determinou as despesas com internações hospitalares relacionadas à poluição do ar e determinou o risco atribuível as concentrações dos poluentes O_3 e MP_{10} . Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizada uma base de dados de qualidade do ar e meteorológicos, do período de 2008 à 2011, fornecidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG/USP) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foi dada maior ênfase na relação da saúde com as concentrações de O_3 , MP_{10} , NO_2 e condições meteorológicas. Dados mensais da rede pública de saúde de admissões hospitalares por doenças respiratórias e circulatórias para diferentes faixa etárias para RMSP foram obtidas através da base de dados do Sistema Único de Saúde (SUS). Através do uso do software R (versão 3.0.1) foi aplicada a metodologia de Modelos Lineares Generalizados com distribuição de Poisson, entre outras, de modo a verificar a existência de relação entre as variáveis em estudo. Os resultados indicaram a distribuição de probabilidade Binomial Negativa como mais adequada ao conjunto de dados e, através desta foi evidenciada associações entre O_3 , MP_{10} , NO_2 , temperatura, umidade e as internações por doenças respiratórias e circulatórias. Da análise do risco atribuível, verificou-se que os poluentes O_3 e MP_{10} estão principalmente associados a ocorrência de internações por doenças respiratórias e, que houve um aumento destas ao longo do período analisado. As cidades de São Paulo, Guarulhos e São Bernardo do Campo apresentaram os maiores números de internações associadas aos poluentes. As despesas hospitalares associadas ao O_3 e MP_{10} chegaram a cerca de R\$ 35 milhões entre 2008 e 2011. Espera-se que os resultados deste estudo possam contribuir no aprofundamento do conhecimento sobre a relação entre saúde e poluição do ar, possibilitem a avaliação de impacto de cenários climáticos futuros na saúde e, também, servir como um alerta aos efeitos deletérios à saúde humana na RMSP.

Palavras-chave: Poluição do ar, Saúde humana, Ozônio, Modelo de regressão de Poisson, Variáveis meteorológicas.

ABSTRACT

AGUIAR, L.S. **Study of relationship of air quality and meteorological variables in the occurrence of respiratory and circulatory diseases in the Metropolitan Area of São Paulo – Brazil.** 2015. 105 p. Dissertation (Master degree). Environmental Engineering Master Program (PPGEA), campus Apucarana/Londrina, Federal Technological University of Paraná. Londrina, 2015.

The main objective of this study was to evaluate the relationship between air pollution and human health, focusing on the Metropolitan Area of São Paulo (MASP). With a population of nearly 20 million people and numerous sources of air pollutants, where the vehicles are highlighted, pollution levels in the region are high have contributed to reducing the population's quality of life. In this sense, the study investigated the association between air quality and meteorological variables and hospital morbidity, determined the cost of hospital admissions related to air pollution and determined the risk attributable to the pollutants O₃ and PM₁₀. To develop the work an air quality and meteorological database was used, for the period 2008 to 2011, provided by Environmental Company of São Paulo State (CETESB), Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Sciences of São Paulo University (IAG / USP) and National Institute of Meteorology (INMET). The relationship between health and the concentrations of O₃, PM₁₀, NO₂ and weather conditions was highlighted. Monthly data from public health hospital admissions for respiratory and circulatory diseases for different age range for MASP were obtained from the database of the Unified Health System (SUS). Through the use of the software R (version 3.0.1) the methodology Generalized Linear Models with Poisson distribution was applied to check the existence of a relationship between the study variables. Results indicated that the Negative Binomial probability distribution as the most appropriate to the data set and through this was associations between O₃, PM₁₀, NO₂, temperature, humidity and hospitalizations for respiratory and circulatory diseases. The analysis of the attributable risk found that the pollutants O₃ and PM₁₀ are mainly associated with occurrence of respiratory diseases and that there was an increase in the number of the hospitalizations over the analyzed period. The cities of São Paulo, Guarulhos and São Bernardo do Campo had the highest number of hospitalizations associated with pollutants. Hospital expenditures associated with O₃ and PM₁₀ reached approximately R\$ 35 million between 2008 and 2011. It is expected that the development of the study may contribute to improving knowledge on the relationship between health and air pollution, allows the impact assessment of future climate scenarios in health and also serve as a warning to the deleterious effects on human health in the MASP.

Keywords: Air pollution, Human health, Ozone, Poisson regression model, Meteorological variables.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Desenho esquemático do local de penetração dos diferentes tamanhos de partículas no trato respiratório humano.....	16
Figura 2. Localização da Região Metropolitana de São Paulo e densidade demográfica de 2014.....	23
Figura 3. Localização geográfica dos municípios que compõem a RMSP.....	26
Figura 4. Localização das estações de monitoramento da qualidade do ar da CETESB utilizadas no estudo.....	27
Figura 5. Número de internações mensais por doenças respiratórias na RMSP – grupo de idosos.....	36
Figura 6. Número de internações mensais por doenças circulatórias na RMSP – grupo de idosos.....	36
Figura 7. Número de internações mensais por doenças respiratórias na RMSP – grupo de crianças.....	37
Figura 8. Número de internações mensais por doenças respiratórias em São Paulo – grupo de crianças.....	38
Figura 9. Número de internações mensais por doenças respiratórias em São Paulo – grupo de idosos.....	38
Figura 10. Número de internações mensais por doenças circulatórias em São Paulo – grupo de idosos.....	39
Figura 11. Série temporal da média diária da concentração de MP ₁₀ , RMSP – 2008 à 2011.....	40
Figura 12. Série temporal da máxima diária de concentração O ₃ , RMSP – 2008 à 2011.....	40
Figura 13. Série temporal da máxima diária de concentração de NO ₂ , RMSP – 2008 à 2011.....	41
Figura 14. Série temporal das temperaturas médias, RMSP- 2008 à 2011.....	42

Figura 15. Série temporal de umidade relativa do ar média, RMSP - 2008 à 2011.....	42
Figura 16. <i>Half normal plot</i> referente ao modelo ajustado aos dados mensais de internação respiratória em crianças no período de 2008-2011 na RMSP, com o uso da distribuição de Poisson.....	46
Figura 17. <i>Half normal plot</i> referente ao modelo ajustado aos dados mensais de internação respiratória em crianças no período de 2008-2011 na RMSP, com o uso da distribuição Binomial Negativa.....	47
Figura 18. <i>Half normal plot</i> referente ao modelo final ajustado aos dados mensais de internação respiratória em crianças no período de 2008-2011 na RMSP, com o uso da distribuição Binomial Negativa.....	48
Figura 19. <i>Half normal plot</i> referente ao modelo ajustado aos dados mensais de internação respiratória em idosos no período de 2008-2011 na RMSP, com o uso da distribuição de Poisson.....	49
Figura 20. <i>Half normal plot</i> referente ao modelo ajustado aos dados mensais de internação respiratória em idosos no período de 2008-2011 na RMSP, com o uso da distribuição Binomial Negativa.....	50
Figura 21. <i>Half normal plot</i> referente ao modelo final ajustado aos dados mensais de internação respiratória em idosos no período de 2008-2011 na RMSP, com o uso da distribuição Binomial Negativa.....	50
Figura 22. <i>Half normal plot</i> referente ao modelo ajustado aos dados mensais de internação circulatória em idosos no período de 2008-2011 na RMSP, com o uso da distribuição de Poisson.....	52
Figura 23. <i>Half normal plot</i> referente ao modelo ajustado aos dados mensais de internação circulatória em idosos no período de 2008-2011 na RMSP, com o uso da distribuição Binomial Negativa.....	53
Figura 24. <i>Half normal plot</i> referente ao modelo final ajustado aos dados mensais de internação circulatória em idosos no período de 2008-2011 na RMSP, com o uso da distribuição Binomial Negativa.....	53
Figura 25. <i>Half normal plot</i> referente ao modelo ajustado aos dados mensais de internação respiratória em crianças no período de 2008-2011 em São Paulo, com o uso da distribuição de Poisson.....	54
Figura 26. <i>Half normal plot</i> referente ao modelo final ajustado aos dados mensais de internação respiratória em crianças no período de 2008-2011 em São Paulo, com o uso da distribuição Binomial Negativa.....	55

Figura 27. <i>Half normal plot</i> referente ao modelo ajustado aos dados mensais de internação respiratória em idosos no período de 2008-2011 em São Paulo, com o uso da distribuição de Poisson.....	56
Figura 28. <i>Half normal plot</i> referente ao modelo final ajustado aos dados mensais de internação respiratória em idosos no período de 2008-2011 em São Paulo, com o uso da distribuição Binomial Negativa.....	56
Figura 29. <i>Half normal plot</i> referente ao modelo ajustado aos dados mensais de internação circulatória em idosos no período de 2008-2011 em São Paulo, com o uso da distribuição de Poisson.....	57
Figura 30. <i>Half normal plot</i> referente ao modelo ajustado aos dados mensais de internação circulatória em idosos no período de 2008-2011 em São Paulo, com o uso da distribuição Binomial Negativa.....	58
Figura 31. <i>Half normal plot</i> referente ao modelo final ajustado aos dados mensais de internação circulatória em idosos no período de 2008-2011 em São Paulo, com o uso da distribuição Binomial Negativa.....	59
Figura 32. Precipitação e temperaturas médias mensais na RMSP no ano de 2010.....	62
Figura 33. Precipitação e temperaturas médias mensais na RMSP no ano de 2011.....	63
Figura 34. Distribuição espacial do número de internações respiratórias associadas ao O ₃ na RMSP, 2010 e 2011.....	70
Figura 35. Valor total das despesas com internações atribuíveis aos poluentes O ₃ e MP ₁₀ na RMSP.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Frota veicular circulante da RMSP por categoria e tipo de combustível, 2013.....	20
Tabela 2 - Estações de monitoramento da qualidade do da CETESB utilizadas no estudo.....	27
Tabela 3. Risco Relativo para morbidade por todas doenças respiratórias circulatórias.....	32
Tabela 4. Frequência de doenças circulatórias e respiratórias na RMSP para os anos de 2008 à 2011.....	33
Tabela 5. Análise estatística descritiva das admissões hospitalares mensais, RMSP, 2008 à 2011.....	35
Tabela 6. Análise estatística descritiva das admissões hospitalares mensais. São Paulo, 2008 à 2011.....	37
Tabela 7. Análise estatística descritiva das concentrações dos poluentes, RMSP, 2008 à 2011.....	39
Tabela 8. Análise estatística descritiva das variáveis meteorológicas, RMSP.....	42
Tabela 9. Análise estatística descritiva das variáveis meteorológicas, São Paulo.....	43
Tabela 10. Matriz de correlação das variáveis em estudo – RMSP.....	44
Tabela 11. Matriz de correlação das variáveis em estudo – São Paulo.....	44
Tabela 12. Estimativas da análise de desvio do modelo de Poisson para doenças respiratórias infantis.....	45
Tabela 13. Valores de AIC para os modelos de regressão.....	48
Tabela 14. Estimativas da análise de desvio do modelo de Poisson para doenças circulatórias em idosos.....	51

Tabela 15. Valores de AIC para os modelos de regressão.....	59
Tabela 16. Porcentagem do número de internações associadas ao O ₃ e MP ₁₀ , RMSP – 2008 à 2011.....	65
Tabela 17. Contribuição de cada cidade em relação ao número total de internações por classe de doença na RMSP – 2008 à 2011.....	66
Tabela 18. Despesas hospitalares com internações atribuídas ao O ₃ e MP ₁₀ , RMSP – 2011.....	72
Tabela 19. Cidades com maiores despesas hospitalares atribuíveis aos poluentes O ₃ e MP ₁₀ da RMSP, 2008-2011.....	74

LISTA DE ABREVIATURAS

AIC – Akaike Information Criterion (Critério de Informação de Akaike).

AIH – Autorização de Internação Hospitalar.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

CID – Classificação Estatística Internacional de Doenças.

CO – Monóxido de Carbono.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

COVs - Compostos Orgânicos Voláteis

DPOC – Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica

EPA – United States Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos).

HC – Hidrocarbonetos.

HCNM – Hidrocarbonetos menos o Metano.

IAG/USP – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

MLG – Modelos Lineares Generalizados.

MP₁₀ – Material Particulado 10 µm.

MPS – Material Particulado em Suspensão.

NO₂ – Dióxido de Nitrogênio.

RMSP – Região Metropolitana de São Paulo.

SO₂ – Dióxido de Enxofre.

SUS – Sistema Único de Saúde.

O₃ – Ozônio.

PROCONVE – Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Poluição e saúde humana	14
1.2	Interação entre saúde e clima	17
1.3	A Região Metropolitana de São Paulo	18
1.3.1	Aspectos geográficos e econômicos	18
1.3.2	Qualidade do ar	19
2	OBJETIVO	22
3	DADOS EXPERIMENTAIS E METODOLOGIA	23
3.1	Local e período de estudo	23
3.2	Parâmetros de saúde	24
3.3	Dados de qualidade do ar	26
3.4	Dados meteorológicos	27
3.5	Análise estatística	28
3.5.1	Análise descritiva	28
3.5.2	Análise de regressão	28
3.6	Cálculo do risco atribuível	31
3.7	Despesas de saúde	34
4	ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS	35
4.1	Descrição das admissões hospitalares	35
4.1.1	Região Metropolitana de São Paulo	35
4.1.2	São Paulo	37
4.2	Caracterização dos poluentes	39
4.2.1	Região Metropolitana de São Paulo	39
4.3	Caracterização das variáveis meteorológicas	41
4.3.1	Região Metropolitana de São Paulo	41
4.3.2	São Paulo	43
4.4	Correlação entre as variáveis	43
4.4.1	Região Metropolitana de São Paulo	43
4.4.2	São Paulo	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1	Análise de regressão	45
5.1.1	Região Metropolitana de São Paulo	45
5.1.1.1	Internações de crianças por doenças do aparelho respiratório	45

5.1.1.2	Internações de idosos por doenças do aparelho respiratório	49
5.1.1.3	Internações de idosos por doenças do aparelho circulatório	51
5.1.2	São Paulo.....	54
5.1.2.1	Internações de crianças por doenças do aparelho respiratório	54
5.1.2.2	Internações de idosos por doenças do aparelho respiratório	55
5.1.2.3	Internações de idosos por doenças do aparelho circulatório	57
5.1.3	Discussão dos resultados da regressão	59
5.2	Risco atribuível	65
5.2.1	Discussão dos resultados do risco atribuível	66
5.3	Distribuição espacial	69
5.4	Despesas de saúde	71
5.4.1	Discussão dos resultados de despesas de saúde	73
5.5	Comentários gerais.....	76
6	CONCLUSÕES	78
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
	APÊNDICE I	88
	APÊNDICE II	96
	APÊNDICE III	103

1 INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento urbano observado em muitas cidades agravou a relação do homem com a natureza, gerando poluição e promovendo a degradação do meio ambiente. Dentre as consequências, a alteração da qualidade do ar é uma das mais preocupantes, visto que o ar não passa por um tratamento prévio e tem sido contaminado por diversas substâncias tóxicas emitidas por automóveis, indústrias e outras fontes.

Os atuais níveis de poluição do ar experimentados por grande parte da população podem comprometer o bem-estar e a qualidade de vida. Inúmeros estudos têm encontrado evidência de associação entre a poluição atmosférica e efeitos deletérios à saúde humana (Arbex et al., 2011; Saldiva et al., 1995; Schwartz; 2004; Pope III et al., 2008; Rodrigues-Silva et al., 2012; Medeiros e Gouveia, 2005).

A poluição do ar também apresenta efeitos sobre o clima, que por sua vez, também influencia o bem estar humano. O clima e as diferentes condições do tempo (variações de temperatura, ondas de calor, período de estiagem), quando associados à poluição do ar, podem ser determinantes na ocorrência de efeitos benéficos ou maléficos à saúde humana. A dispersão de poluentes, por exemplo, é influenciada pelas condições meteorológicas locais.

As relações entre a saúde humana, poluição e as condições do clima e tempo têm sido alvo de muitas pesquisas desenvolvidas nas últimas décadas (Coelho e Saldiva, 2011; Morris e Naumova, 1998). Neste contexto, o presente trabalho avaliou a relação entre a qualidade do ar e condições meteorológicas nas complicações respiratórias e circulatórias em residentes da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), escolhida por apresentar altos níveis de deterioração da qualidade do ar e uma numerosa população, o que pode influenciar a probabilidade de um maior número de pessoas desenvolverem efeitos adversos à saúde.

1.1 Poluição e saúde humana

A poluição do ar é formada por uma mistura de substâncias, no estado líquido, sólido e e/ou gasoso, sendo muitas destas prejudiciais ao meio ambiente ou à saúde humana (WHO, 2006). O episódio clássico relacionando poluição do ar e efeitos deletérios à saúde foi registrado

em Londres, em dezembro de 1952. Durante quatro dias, uma inversão térmica impediu a dispersão de poluentes na cidade. O nevoeiro resultou em 4.000 mortes relacionadas, principalmente, à doenças respiratórias, como bronquite, pneumonia e câncer de pulmão (Logan, 1953).

O tempo de exposição à poluição é crucial na ocorrência de efeitos maléficos à saúde. Este é determinado pelas concentrações dos poluentes existentes no local onde o indivíduo passa seu tempo, e o tempo gasto neste determinado local (WHO, 2006). O tipo de poluente e sua toxicidade; a frequência, magnitude e duração da exposição irão influenciar na ocorrência dos efeitos na saúde (WHO, 1999).

Dentre os poluentes mais abundantes na atmosfera e reconhecidamente associados à efeitos maléficos à saúde, destacam-se: material particulado atmosférico (MP₁₀ e MP_{2,5}), ozônio (O₃), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂) e dióxido de nitrogênio (NO₂) (EPA, 2014). Tais poluentes podem promover efeitos como: infecções respiratórias, tontura, fadiga, asma, tosse, alteração das defesas pulmonares, irritação dos olhos e garganta, agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares, redução da função pulmonar, afetar o desenvolvimento do feto e ganho de peso de recém-nascidos, mortalidade, etc. (WHO, 1999; CETESB, 2012; Medeiros e Gouveia, 2005; Arbex et al., 2012; WHO, 2006).

Quando um poluente penetra no trato respiratório, o tamanho da partícula do poluente é uma característica relevante. O diâmetro aerodinâmico de cada partícula interfere no local de deposição ao longo dos diferentes segmentos do trato respiratório (LPAE/FMUSP, 2007; Dockery e Pope III, 1994; Künzli et al., 2010). Partículas maiores que 10 µm são retidas na boca e nariz; partículas com menor tamanho penetram no trato respiratório e partículas menores que 2-3 µm penetram na região alveolar. Partículas ultrafinas, geralmente formadas por nucleação, permanecem mais tempo na região alveolar, podendo ser transferidas para a circulação (Künzli et al., 2010; WHO, 2006). A Figura 1 apresenta o local de deposição dos poluentes de acordo com o tamanho da partícula.

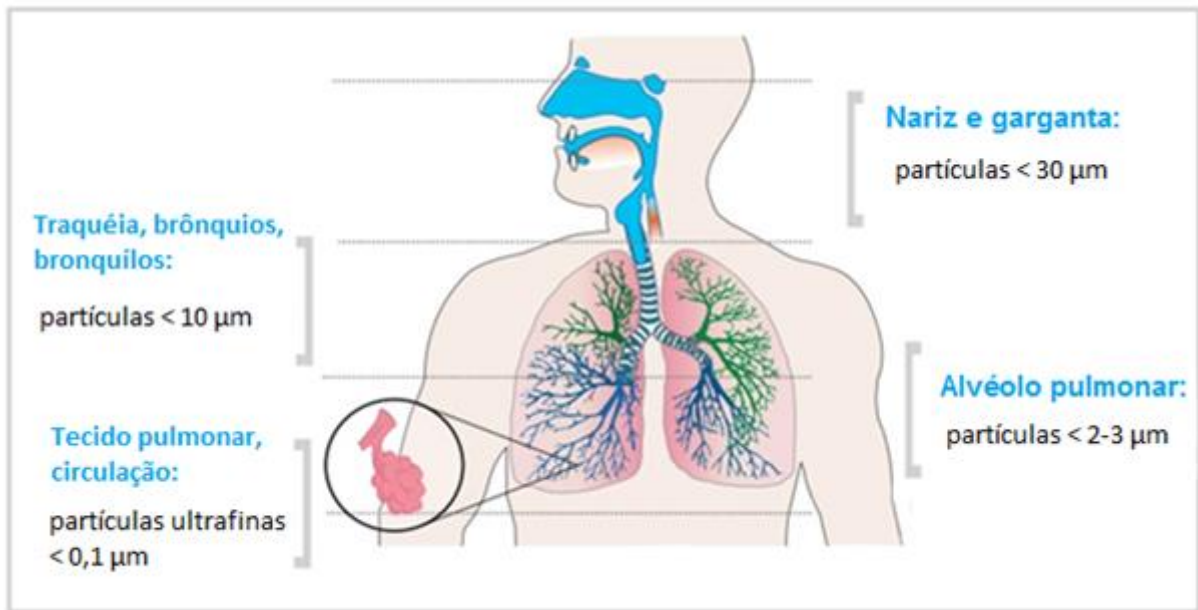


Figura 1. Desenho esquemático do local de penetração dos diferentes tamanhos de partículas no trato respiratório humano.

Fonte: Adaptado de Kunzli et al., 2010.

A identificação dos subgrupos da população com um maior risco de sofrer impactos na saúde decorrentes de exposição à poluição do ar pode facilitar o direcionamento de ações preventivas. Fatores como idade, dieta, estado de saúde, genética além de características da habitação, condições da vizinhança, condições de trabalho, influenciam em uma maior susceptibilidade para adoecer (WHO, 2006).

Os grupos mais sensíveis aos poluentes do ar incluem crianças, idosos e portadores de doenças crônicas pré-existentes, como asma e hipertensão, por exemplo. Idosos são mais sensíveis à poluição pois apresentam um sistema imunológico menos eficiente; declínio da força muscular respiratória, podendo promover ventilação inadequada; obstrução das vias aéreas e maior limitação à prática de exercícios (Sharma e Goodwin, 2006).

As crianças tornam-se mais susceptíveis à poluição do ar, em razão do pulmão ainda não estar bem formado no nascimento e ao mesmo tempo, o sistema imunológico também estar em desenvolvimento (Schwartz, 2004). Crianças passam mais tempo em ambientes externos que adultos, realizando, principalmente, atividades que aumentam as taxas de respiração, o que pode aumentar sua exposição à poluição (Salvi, 2007). A taxa metabólica de repouso e consumo de oxigênio por unidade de peso corporal é maior em crianças do que em adultos, portanto a exposição infantil aos poluentes do ar é maior (Moya et al., 2004). Portadores de doenças

crônicas podem apresentar exacerbação dos sintomas das doenças após exposição aos poluentes do ar (WHO, 2006).

Os efeitos na saúde variam entre agudos e crônicos. Efeitos agudos manifestam-se a curto prazo, o tempo entre a exposição e o efeito é reduzido. Já para efeitos crônicos, as consequências são observadas a longo prazo, após contínuas exposições à poluição (Künzli et al., 2010).

1.2 Interação entre saúde e clima

Ainda que nem sempre consideradas, as condições climáticas têm influência sobre a vida dos seres vivos. O clima é um fator ambiental que afeta direta e indiretamente a saúde humana, entre outros fatores. Determinadas doenças são motivadas pelo clima e associadas às condições atmosféricas e variações sazonais (Natalino, 2011).

Eventos climáticos extremos estão se tornando cada vez mais comuns e, neste contexto, eventos como ondas de calor, precipitação intensa, enchentes, períodos de seca, tem sido alvo da investigação de muitos pesquisadores devido ao grande impacto ocasionado à sociedade (Nobre et al., 2010). Mesmo possuindo um sistema (homeotérmico) que regula e mantém o equilíbrio térmico, pessoas com pré-disposição, como idosos, crianças e portadores de doenças crônicas, estão mais propensas à desenvolverem doenças cardiovasculares, respiratórias e cerebrovasculares, quando expostas a situações extremas de frio ou calor (Pitton e Domingos, 2004).

O desenvolvimento das áreas urbanas, promovendo a compactação e impermeabilização do solo, supressão da vegetação e cursos d'água, gera significativas mudanças no clima local (Nobre et al., 2010). Segundo Ayoade (2011), as atividades promovidas pelo homem sobre o clima têm impactado fortemente as áreas urbanas, ocasionando um clima distinto das áreas rurais circundantes.

Ao modificar a paisagem local, o homem altera o equilíbrio entre a superfície e a atmosfera. O crescimento do meio ambiente urbano, juntamente, com aumento da frota de veículos e indústrias, tem alterado as condições atmosféricas e a circulação atmosférica (Souza e Neto, 2008). Para Ayoade (2011), dois aspectos relevantes da atmosfera urbana, com maiores consequências são: aumento da temperatura nas áreas urbanas, promovendo a formação de ilhas de calor, e a poluição do ar, nociva à saúde humana.

1.3 A Região Metropolitana de São Paulo

1.3.1 Aspectos geográficos e econômicos

Localizada na região sudeste do Brasil, a RMSP está entre os maiores aglomerados urbanos do mundo. Situa-se na Bacia Sedimentar de São Paulo, na qual o principal vale é o do Rio Tietê. Ao norte é cercada pela Serra da Cantareira e a leste-sul pela Serra do Mar (CETESB, 2009). Sua topografia, juntamente com a proximidade do Oceano Atlântico, cerca de 45 km, e a alta taxa de urbanização influenciam decisivamente o padrão de circulação atmosférica (Coelho, 2007).

O clima na RMSP é definido como seco no inverno e úmido do verão. Durante o período de setembro a abril, a região é atingida por sistemas frontais e vento úmido do Sul, o que resulta em precipitações e nuvens de baixa altitude. Já o período de inverno é caracterizado por apresentar fortes inversões térmicas e ventos fracos provenientes da costa (Braga et al., 2002). Desta forma, no período seco a região apresenta condições desfavoráveis à dispersão dos poluentes, já no período úmido as condições tornam-se favoráveis à dispersão (CETESB, 2008).

As inversões térmicas, com maior frequência de ocorrência entre os meses de maio à agosto, são caracterizadas por uma sobreposição de uma camada de ar quente à uma camada de ar frio, promovendo a retenção dos poluentes próximos à superfície, com consequências à qualidade do ar e à saúde humana (Cadernos Cedec, 1997).

Outro fenômeno muito comum na RMSP é o de ilha de calor, fenômeno este, que também afeta a qualidade do ar e o bem-estar dos habitantes. A ilha de calor é caracterizada por apresentar uma diferença de temperatura do ar do centro da cidade em relação à áreas vizinhas ou à áreas rurais. Esta diferença de temperaturas cria uma circulação convectiva, contribuindo com a concentração de poluentes no local (Freitas, 2003; Coelho, 2007, Freitas et al., 2007). A alta taxa de pavimentação e as poucas áreas verdes são fatores que contribuem com a formação da ilha de calor urbana, além de reduzirem a umidade relativa do ar.

A economia da RMSP é muito diversificada, destacam-se atividades no setor industrial, de comércio, financeiro e serviços. É considerada o maior polo de riqueza nacional, no ano de 2008 o Produto Interno Bruto (PIB) foi de cerca de R\$ 500 bilhões, correspondendo aproximadamente à 57% do total do Estado de São Paulo (Subsecretaria de Desenvolvimento Metropolitano, 2015).

O parque industrial está entre os mais complexos da América Latina, no qual a indústria automobilística tem grande relevância (Cidades Paulistas, 2015). Além disso, no setor industrial também apresentam destaque as atividades ligadas à metalurgia, produção de calçados e artefatos de tecidos, mecânica, produção de matérias plásticas, gráfica e editoras, entre outros (CETESB, 2008). De acordo com Comin e Amitrano (2003), a expansão industrial, com grande geração de postos de trabalho e promoção de diversas atividades em serviços relacionadas à este fato, foi responsável pela grande aglomeração populacional na RMSP.

1.3.2 Qualidade do ar

A qualidade do ar é diretamente influenciada por emissões veiculares e industriais. O aumento nos níveis de poluição em muitos centros urbanos está relacionado ao setor de transporte, aliado ao fato de que grande parte dos bens de consumo e pessoas são transportados por veículos (Guarheiro e Guarheiro, 2013).

As fontes de emissão fixas, ou seja, as indústrias e os processos que envolvem combustão, apresentam um maior controle na RMSP em comparação às fontes móveis, onde os veículos são destaque. De acordo com dados da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2014), a RMSP possui uma frota de 7 milhões de veículos. Braga et al. (2002), concluíram que 90% das emissões de poluentes ocorridas na cidade de São Paulo são derivadas de fontes móveis.

O processo de crescimento acelerado vivenciado na cidade de São Paulo e em toda a Região Metropolitana não foi acompanhado por grandes investimentos no transporte público. A extensão do metrô, por exemplo, em um período de 25 anos passou de 28,3 km em 1986 para apenas 60,2 km em 2006, um crescimento de 1,6 km ao ano (Da Silva et al., 2012). Desta forma, devido a precariedade do transporte público e a facilidade na aquisição de um automóvel no país, o transporte individual foi ganhando cada vez mais espaço entre a população.

Diversos fatores, como: a concentração de indústrias, pouca prioridade ao transporte coletivo, poucas áreas verdes, condições climáticas e topográficas pouco favoráveis à dispersão de poluentes, grande frota veicular, densa urbanização, entre outros, contribuem para o agravamento da situação da poluição atmosférica na RMSP (Cadernos Cedec, 1997). Com relação ao grande número de veículos, deve-se salientar que veículos mais antigos tendem a emitir uma maior quantidade de poluentes e estes na RMSP correspondem a 50% da frota circulante (Andrade et al., 2012).

A emissão de poluentes está relacionada à manutenção do veículo e ao tipo de combustível utilizado. A tabela a seguir apresenta a frota veicular da RMSP, quanto a categoria do veículo e combustível utilizado (Tabela 1).

Tabela 1. Frota veicular circulante da RMSP por categoria e tipo de combustível, 2013.

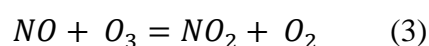
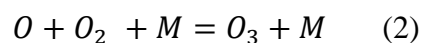
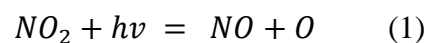
Categoria	Combustível	2013
Veículos leves	Gasolina	2.545.655
	Etanol	169.120
	Flex	3.148.466
	Diesel	168.127
Veículos pesados	Diesel	234.109
Motocicletas	Gasolina	795.385
	Flex	85.964
Total		7.146.826

Fonte: CETESB, 2014.

De acordo com Jacobi et al. (1999), veículos movidos à gasolina e etanol são os principais emissores de CO e HC, ônibus e caminhões movidos à diesel estão relacionados às emissões de MP, SO₂ e NO_x. O etanol é largamente utilizado no Brasil, visto que o país é responsável pelo desenvolvimento de uma das tecnologias mais eficientes do mundo para sua produção. Veículos movidos à este combustível são emissores de aldeídos, etanol e NO_x, destacando que tanto NO_x como aldeídos contribuem com a formação de O₃ (Anderson, 2009).

O O₃ é um gás oxidante, presente na troposfera, formado por reações fotoquímicas na atmosfera. Na estratosfera, é um dos gases-traço mais importantes, sendo formado pela dissociação da molécula de oxigênio (O₂) através da radiação solar. Os níveis de O₃ na troposfera são dependentes das concentrações de COVs, CO, NO_x e da intensidade de radiação solar (Martins, 2007; Seinfeld e Pandis, 1998).

Na presença de luz solar, a formação do ozônio troposférico ocorre através da fotólise do NO₂, em comprimento de onda < 424 nm (Seinfeld e Pandis, 1998):



em que M representa N_2 ou O_2 ou outra molécula que absorve o excesso de energia vibracional e estabiliza a molécula de ozônio formada.

Uma vez formado, o O_3 reage com a molécula de NO para regenerar a molécula de NO_2 e o ciclo de formação resulta em um equilíbrio entre NO , NO_2 e O_3 (Martins, 2007; Seinfeld e Pandis, 1998).

Historicamente o monitoramento da qualidade do ar, avaliando as concentrações dos poluentes no Estado de São Paulo, foi iniciado na RMSP no ano de 1972. Foram instaladas 14 estações para medição diária dos níveis de SO_2 e fumaça preta. O monitoramento automático iniciou-se em 1981, além da instalação de novas estações no mesmo ano, com medidas de SO_2 , MP_{10} , O_3 , NO_x , CO , HCM e parâmetros meteorológicos como temperatura, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento (CETESB, <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/informacoes-basicas/20-historico>).

Os poluentes CO , MP_{10} , NO_x e SO_2 têm apresentado tendência de redução nas concentrações observadas na RMSP ao longo dos anos, fato este especialmente relacionado ao Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). Para o O_3 a tendência de redução não é tão clara como para os outros poluentes (Carvalho et al., 2015). O PROCONVE, criado em 1986 pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), definiu limites de emissão para veículos leves visando o atendimento aos Padrões de Qualidade do Ar, principalmente nos centros urbanos (MMA, 2013).

As maiores concentrações de MP_{10} , CO , NO_x e SO_2 são registradas durante o período de inverno, entre os meses de maio à setembro, devido aos baixos índices pluviométricos, ventos fracos e maior ocorrência de inversões térmicas. Concentrações elevadas de O_3 ocorrem na primavera, entre os meses de setembro e outubro, provavelmente relacionadas a uma menor nebulosidade em comparação ao observado no período de verão (CETESB, 2014). Com relação ao perfil diário, a maioria dos poluentes apresenta dois picos de concentração, coincidindo com os horários de maior tráfego de veículos. Um primeiro pico observado pela manhã e outro à noite. O O_3 apresenta um comportamento distinto, com picos de concentração no período da tarde, entre às 14 h e 15 h, em resposta ao horário de maior incidência de radiação solar ocorrido anteriormente (Carvalho et al., 2015).

2 OBJETIVO

O presente trabalho tem por objetivo investigar a associação entre a qualidade do ar, variáveis meteorológicas e o número de internações por doenças respiratórias e circulatórias na Região Metropolitana de São Paulo. Em termos específicos, este trabalho pretende:

- i. Avaliar a associação entre os níveis de MP_{10} , O_3 , NO_2 e variáveis meteorológicas nas internações por doenças circulatórias e respiratórias em crianças e idosos;
- ii. Calcular o risco atribuível à exposição aos poluentes MP_{10} e O_3 ;
- iii. Obter uma distribuição espacial do risco atribuível;
- iv. Determinar as despesas de saúde envolvidas nas internações por doenças respiratórias e circulatórias.

3 DADOS EXPERIMENTAIS E METODOLOGIA

3.1 Local e período de estudo

A avaliação foi desenvolvida na RMSP utilizando uma série história de quatro anos, sendo esta de janeiro de 2008 à dezembro de 2011.

Composta por 39 municípios, a RMSP apresenta uma área de 8.051 km², dos quais, 1.800 km² são considerados altamente urbanizados (Martins, 2006). A população é superior a 20 milhões de habitantes, sendo que apenas a capital São Paulo contabiliza 11.895.893 habitantes (IBGE, 2014). A Figura 2 ilustra a localização da RMSP e a densidade demográfica.

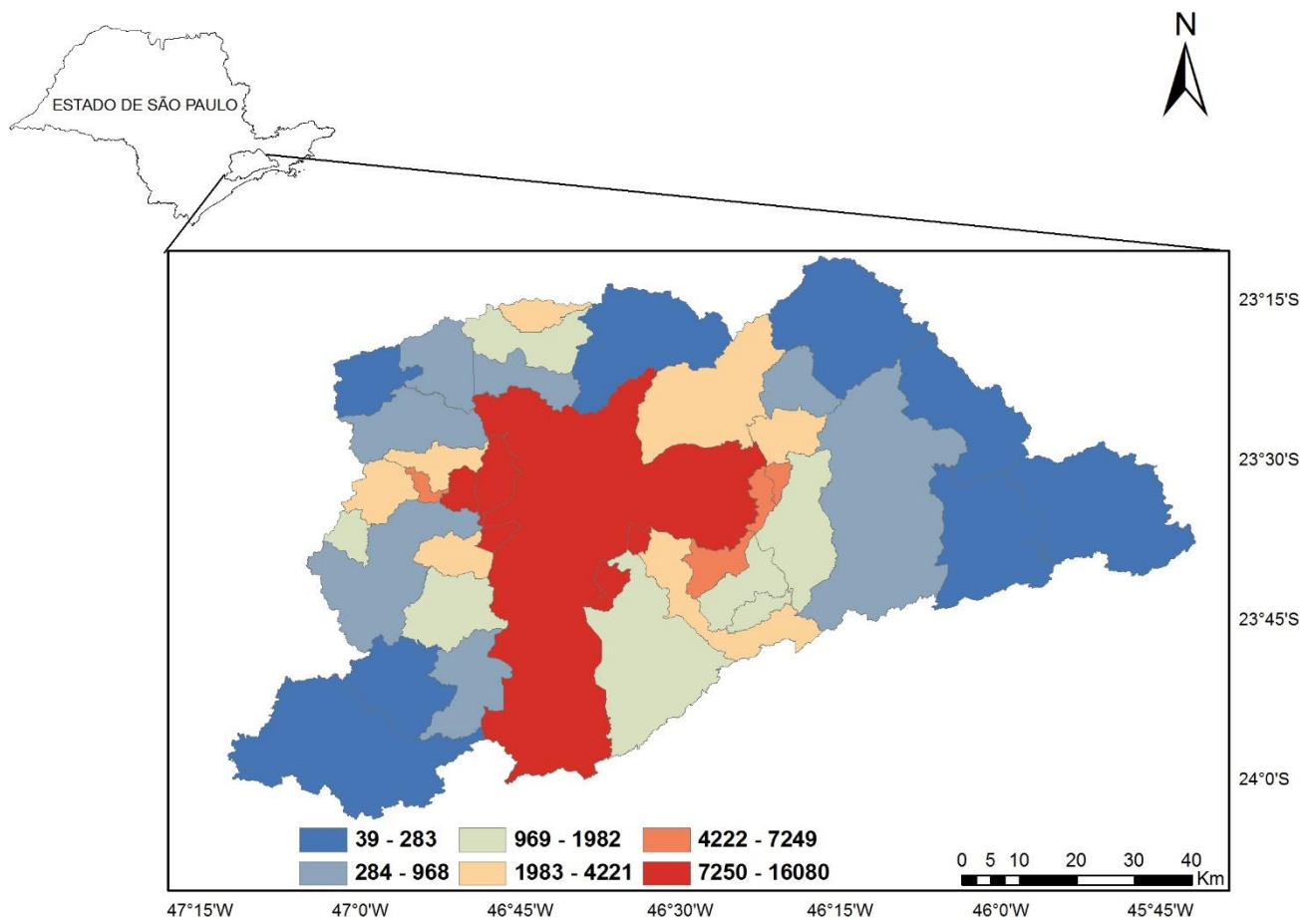


Figura 2. Localização da Região Metropolitana de São Paulo e densidade demográfica de 2014.

3.2 Parâmetros de saúde

Foram utilizados dados de internações mensais de crianças (0 à 4 anos) com diagnóstico de doenças do aparelho respiratório e internações mensais de idosos (65 anos ou mais) com o diagnóstico de doenças do aparelho respiratório e circulatório, além de dados de internações anuais por doenças do aparelho respiratório e circulatório na população em geral, sem grupos específicos. Foram considerados na análise os grupos de crianças e idosos por estarem entre os mais susceptíveis aos efeitos da poluição do ar na saúde (Braga et al., 2002; WHO, 2006; Arbex et al., 2012).

Os dados de admissões hospitalares referentes as doenças respiratórias e circulatórias foram obtidos através do Ministério da Saúde. As internações efetivadas em hospitais, públicos ou privados, participantes do Sistema Único de Saúde (SUS) são notificadas ao SUS através do preenchimento das Autorizações de Internação Hospitalar (AIH). As informações presentes nestes registros são consolidadas em uma base de dados, a qual contém informações de internações realizadas em grande parte do Brasil (DATASUS, 2014). Por prováveis problemas de sub-registro, as informações hospitalares referentes ao mês de janeiro de 2008 apresentaram valores muito reduzidos em comparação ao restante do período de estudo, desta forma, estas não foram utilizadas nas análises estatísticas.

As doenças são classificadas de acordo com a Classificação Estatística Internacional de Doenças (CID) e problemas relacionados com a saúde. Para doenças do aparelho circulatório a categoria na CID-10 é I00-I99 e para doenças do aparelho respiratório a categoria é J00-J99

Dentre as doenças catalogadas na CID-10 como doenças do aparelho respiratório estão: infecções agudas das vias aéreas superiores (J00-J06), influenza e pneumonia (J09-J18), outras infecções agudas das vias aéreas inferiores (J20-J22), outras doenças das vias aéreas superiores (J30-J39), doenças crônicas das vias aéreas inferiores (J40-J47), doenças pulmonares devidas a agentes externos (J60-J70), outras doenças respiratórias que afetam principalmente o interstício (J80-J84), afecções necróticas e supurativas das vias aéreas inferiores (J85-J86), outras doenças da pleura (J90-J94), outras doenças do aparelho respiratório (J95-J99) (Banco de Saúde, 2014).

Para doenças catalogadas na CID-10 como doenças do aparelho circulatório estão: febre reumática aguda (I00-I02); doenças reumáticas crônicas do coração (I05-I09); doenças hipertensivas (I10-I15); doenças isquêmicas do coração (I20-I25); doenças cardíaca pulmonar e da circulação pulmonar (I26-I28); outras formas de doença do coração (I30-I52); doenças

cerebrovasculares (I60-I69); doenças das artérias, das arteríolas e dos capilares (I70-I79); doenças das veias, dos vasos linfáticos e dos gânglios linfáticos, não classificadas em outra parte (I80-I89); outros transtornos, e os não especificados do aparelho circulatório (I95-I99) (Banco de Saúde, 2014).

Os dados de internações mensais para crianças foram provenientes de 18 cidades, sendo elas: Barueri, Carapicuíba, Diadema, Embu, Francisco Morato, Franco da Rocha, Guarulhos, Itapecerica da Serra, Itapevi, Mauá, Mogi das Cruzes, Osasco, Santa Isabel, Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, São Paulo e Taboão da Serra. Para o grupo de idosos, foram consideradas as informações das mesmas 18 cidades do grupo de crianças e cidades extras: Cajamar, Ferraz de Vasconcelos, Jandira, Mairiporã e Poá, totalizando 23 cidades. Para os demais municípios que compõem a RMSP não há registro disponível.

Para as internações anuais por doenças respiratórias e circulatórias em toda a população foram considerados dados de 31 cidades, sendo elas: Barueri, Caieiras, Cajamar, Carapicuíba, Cotia, Diadema, Embu, Embu-Guaçu, Ferraz de Vasconcelos, Francisco Morato, Franco da Rocha, Guararema, Guarulhos, Itapecerica da Serra, Itapevi, Itaquaquecetuba, Jandira, Mairiporã, Mauá, Mogi das Cruzes, Osasco, Poá, Ribeirão Pires, Salesópolis, Santa Isabel, Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, São Paulo, Suzano e Taboão da Serra. Para os demais municípios que compõem a RMSP não há registro disponível. A localização das cidades da RMSP está apresentada na Figura 3.

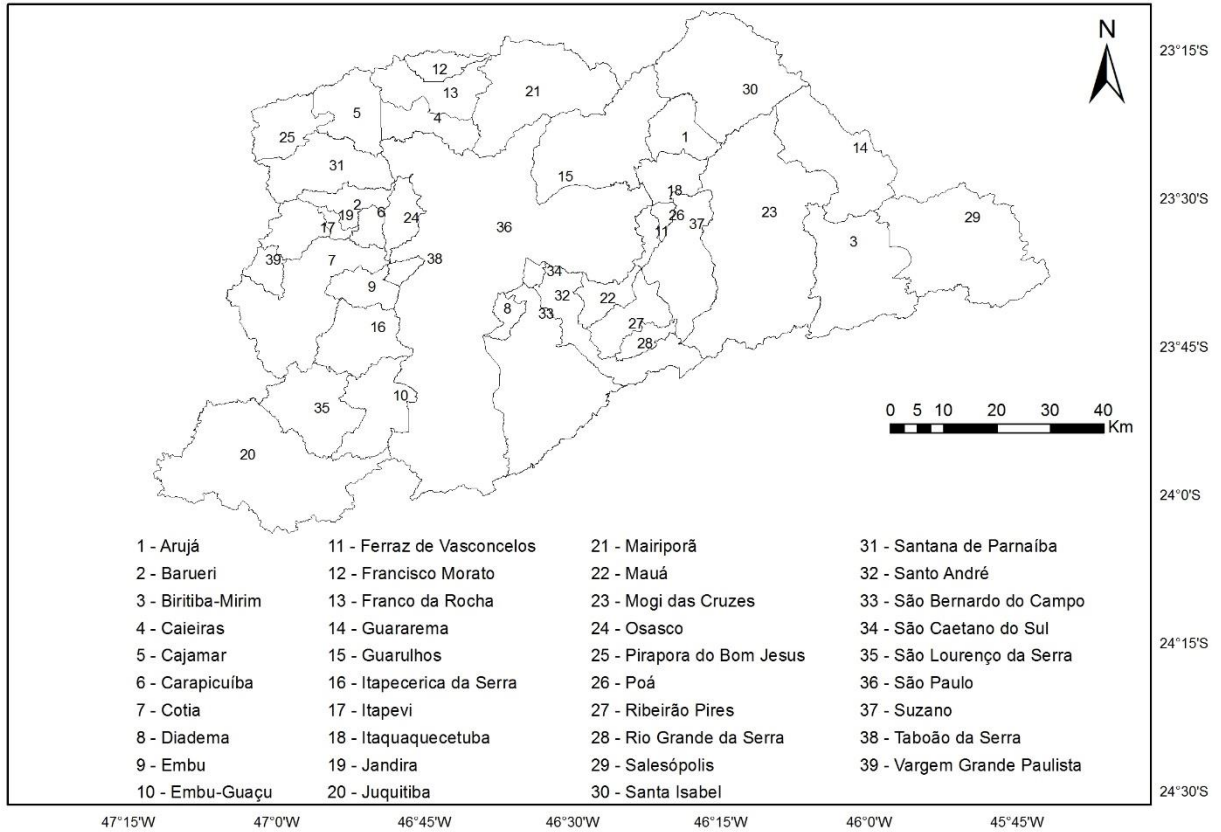


Figura 3. Localização geográfica dos municípios que compõem a RMSP.

3.3 Dados de qualidade do ar

Dados horários da concentração de O₃, MP₁₀ e NO₂ fornecidos pela CETESB. A CETESB dispõe atualmente de 26 estações fixas automáticas na cidade de São Paulo e Região Metropolitana, dentre as quais 24 monitoram a concentração de material particulado, 19 de ozônio e 17 de dióxido de nitrogênio. Estes poluentes foram escolhidos por estarem entre os principais poluentes monitorados no Brasil e no mundo, por apresentarem dados disponíveis e por estarem relacionados aos efeitos deletérios à saúde humana (CETESB, 2012; WHO, 2006; Künzli et al., 2010; Cançado et al., 2006)

A partir dos dados horários, foram calculadas médias mensais e anuais para o MP₁₀, O₃ e NO₂. Na escolha das estações a serem utilizadas considerou-se um critério de 80% dos dados válidos, visto que as séries históricas das estações de monitoramento apresentaram muitos dados faltantes para o período de estudo. Com um critério muito restrito não teríamos estações disponíveis e adotamos um critério de representatividade de dados similar aos utilizados pela

CETESB. As estações que atenderam a este critério estão apresentadas a seguir (Tabela 2). A Figura 3 apresenta a localização das respectivas estações.

Tabela 2 - Estações de monitoramento da qualidade do ar da CETESB utilizadas no estudo.

MP ₁₀	O ₃	NO ₂
Cerqueira Cesar	Nossa Senhora do Ó	Cerqueira Cesar
Diadema	Pinheiros	Pinheiros
Ibirapuera	Ibirapuera	Ibirapuera
Santo André	Santana	Parque Dom Pedro

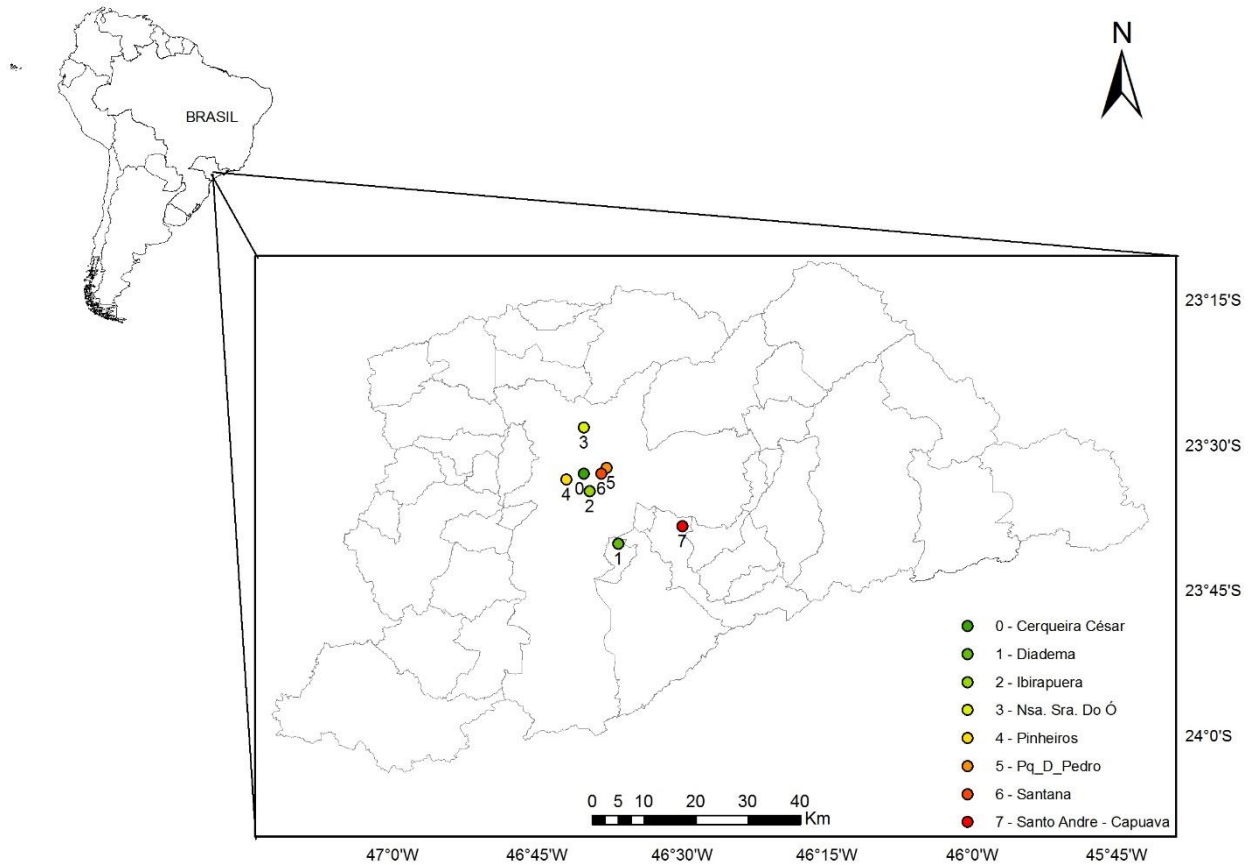


Figura 4. Localização das estações de monitoramento da qualidade do ar da CETESB utilizadas no estudo.

3.4 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos empregados no estudo foram disponibilizados pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP) e

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Consistem em médias horárias e mensais de temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação. Baseados nos valores horários, foram determinadas médias mensais para as variáveis.

Os dados do INMET foram provenientes de duas estações de medição: Mirante de Santana – SP (lat. 23°29' 46.66" S, long. 46°37' 12.32" W), operando desde 1945 e Guarulhos (lat. 23°25' 48" S, long. 46°27' 36" W), com início de operação no ano de 1983. A estação de medição do IAG/USP está localizada no Parque do Estado, bairro da Água Funda, SP. Situa-se neste local desde o início de suas atividades no ano de 1932. Em termos geográficos corresponde à latitude 23°39' S e à longitude 46°37' W.

3.5 Análise estatística

Para a análise dos dados, procedeu-se à análise exploratória das variáveis estudadas e, posteriormente, procurou-se verificar a existência de relação entre as variáveis explanatórias e dependente através dos modelos de regressão.

3.5.1 Análise descritiva

Foram calculadas medidas de posição e dispersão para todas as variáveis empregadas no estudo: média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação, valores máximo e mínimo. Também determinou-se a correlação de Pearson entre os poluentes atmosféricos, variáveis meteorológicas e dados de internação.

3.5.2 Análise de regressão

A análise de regressão tem por objetivo encontrar um modelo, utilizando-se de todas as variáveis explanatórias, que melhor explique a variável resposta. É utilizada para descrever o tipo de relação existente entre as variáveis em estudo.

O modelo estatístico comumente utilizado para avaliar a associação entre uma variável resposta e uma variável explicativa é a regressão linear. Neste tipo de modelo a associação é avaliada apenas sob a ótica linear, o que nem sempre prevalece nas relações entre as variáveis analisadas em estudos epidemiológicos, como por exemplo, poluição e a saúde (Conceição et al., 2001).

Por muito tempo a utilização de modelos lineares esteve associada com a distribuição normal de probabilidade para descrever a maioria dos fenômenos aleatórios. Caso o fenômeno sob estudo violasse a suposição de normalidade, era comum a utilização de algum tipo de transformação de dados a fim de alcançar a normalidade exigida (Paula, 2013).

Este é o caso do número de internações, um evento de contagem, onde as suposições de normalidade e homocedasticidade dos erros, necessárias ao modelo linear com distribuição normal, nem sempre são atendidas (Conceição et al., 2001).

Quando a variável segue uma distribuição que não a Normal ou quando a relação entre as variáveis explicativa e resposta não é necessariamente linear, é possível a utilização de métodos similares aos modelos lineares (Dobson, 2002). Para satisfazer estes princípios, neste estudo foi aplicada a metodologia de Modelos Lineares Generalizados (MLG) utilizando-se a distribuição de Poisson.

Os MLG foram introduzidos por Nelder e Wedderburn (1972), como uma proposta de expansão aos modelos lineares clássicos. Deste modo, diversas técnicas estudadas de forma individual poderiam ser reunidas sob nome de MLG (Demétrio, 2002).

Os MLG exibem os seguintes elementos (Tadano, 2007; Conceição et al., 2001; Tadano et al., 2009; Nelder e Wedderburn, 1972):

- i. Componente aleatório: uma variável resposta $z_1 \dots z_k$ que segue uma distribuição da família exponencial (Normal, Gama, Poisson, Binomial Negativa) com valor esperado $E(z) = \mu$.
- ii. Componente sistemático: produzem uma estrutura linear para o modelo de regressão, $\eta = x_i^t \beta$, nomeado de preditor linear, em que $x_i^t = (x_{i1} \dots x_{ip})^t$, $i=1, \dots, n$, são as variáveis explanatórias.
- iii. Função de ligação: função adequada capaz de vincular as componentes aleatória e sistemática, ou seja, conecta a média da variável resposta (μ) à estrutura linear, $g(\mu) = \eta$. Em que $\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 \dots + \beta_n x_n$, ou $\eta = x_i^t \beta$.

Quando a variável resposta apresenta dados de contagem, o modelo distribuição de probabilidade utilizado é a Poisson, frequentemente aplicado em estudos epidemiológicos (Tadano et al., 2009; Coelho, 2007). Neste caso, a função de ligação canônica utilizada é a logarítmica.

O número mensal de internações hospitalares, seja por doenças respiratórias ou circulatórias, é um evento de contagem, e assim, supõe-se uma distribuição de Poisson, justificando o emprego do modelo para a análise dos dados em estudo.

As internações mensais por doenças do aparelho respiratório e circulatório foram consideradas como variáveis dependentes; o ano, variáveis meteorológicas (temperatura e umidade do ar) e a concentração dos poluentes como variáveis independentes.

A função de ligação do modelo de Poisson com ligação canônica é:

$$\mathbf{n} = \log \mu = \beta_0 + \beta_1 X_p + \beta_2 X_{met} + \beta_3 X_{ano} \quad (4)$$

em que β_i s são os parâmetros a serem estimados. As variáveis explanatórias são: X_p é a variável poluente, X_{met} é a variável meteorológica e X_{ano} a variável ano. Os valores de β_i obtidos na equação (1) irão determinar a magnitude do “efeito” das variáveis explanatórias em η (Conceição et al., 2001).

Sabe-se que a esperança e a variância de uma variável com distribuição de Poisson são iguais. Entretanto, em muitos casos, pode ocorrer o fenômeno conhecido como superdispersão ou subdispersão, quando a variância é maior ou menor do que a média. A superdispersão pode ser motivada devido à heterogeneidade das unidades amostrais causada por variabilidades interunidades experimentais (Paula, 2013).

Caso a superdispersão ou subdispersão venha a ocorrer, uma das alternativas seria buscar um modelo de distribuição de probabilidade mais adequado. No presente estudo, utilizou-se o modelo de distribuição de probabilidade Binomial Negativo, pois este contém um parâmetro de dispersão que corrige a variabilidade dos dados (Paula, 2013).

A função de probabilidade do modelo Binomial Negativo é dada por:

$$\Pr(Y = y) = \frac{\Gamma(\phi + y)}{\Gamma(\phi + 1)\Gamma(\phi)} (1 - \pi)^\phi \pi^y, \quad y = 0, 1, 2, 3 \dots \text{ e } \pi = \frac{\mu}{(\mu + \phi)} \quad (5)$$

em que Y segue uma distribuição Binomial Negativa de média μ e parâmetro de dispersão ϕ .

A associação entre as variáveis explicativas e as interações foi verificada por meio da Análise de *Deviance*, comumente referida como uma generalização da análise de variância (ANOVA). Com o objetivo de verificar a significância das variáveis explanatórias e suas interações, são utilizados modelos encaixados sequenciais, ou seja, as variáveis explanatórias são acrescentadas ao modelo uma a uma verificando o seu efeito. Por fim, obtém-se uma tabela com as diferenças das *deviances* (Cordeiro e Demétrio, 2007).

Nos MLG a qualidade do ajuste é verificada pela *deviance*, sendo esta a diferença entre o logaritmo da função de verossimilhança do modelo completo e o modelo sob pesquisa avaliado na estimativa da máxima verossimilhança β (Paula, 2013). A *deviance* é aplicada como uma medida de disparidade entre os modelos (Demétrio, 2002).

Para a escolha do melhor modelo a ser aplicado, além da análise gráfica dos resíduos, utilizou-se o *Akaike Information Criterion* (AIC - Critério de Informação de Akaike). O AIC é um estimador da quantidade ou distância K-L (Kullback e Leibler), o qual é a distância entre o modelo utilizado e o modelo apropriado. O cálculo considera a função de log-verossimilhança maximizada (l) e o número de parâmetros do modelo (K) (Posada e Buckley, 2004). O modelo mais indicado é aquele com o menor valor de AIC, dado por:

$$\text{AIC} = -2l + 2K \quad (6)$$

Os modelos de regressão foram aplicados para os dados da RMSP e para a cidade de São Paulo. Todas as análises foram realizadas utilizando o software R versão 3.0.1.

3.6 Cálculo do risco atribuível

Uma forma de analisar e/ou estimar o impacto da poluição na saúde humana é através do cálculo do risco atribuível, o qual indica a fração de uma doença que pode ser atribuída a uma determinada exposição ou a proporção da incidência de uma doença atribuída a uma determinada exposição.

Para o cálculo do risco atribuível são consideradas as interações anuais por doenças respiratórias e circulatórias e as concentrações médias anuais de MP_{10} e as concentrações médias anuais de O_3 . Para o cálculo das médias de O_3 foram realizadas médias móveis de 8 horas e posteriormente extraídas as máximas mensais, com base nestas, obtidas as médias anuais.

A proporção de risco atribuível (PRA) é calculada através da seguinte equação (WHO, 1999):

$$\text{PRA} = \frac{\sum\{[\text{RR}(c)-1] p(c)\}}{\sum[\text{RR}(c) p(c)]} \quad (7)$$

em que, $\text{RR}(c)$ é o risco relativo para determinado efeito adverso à saúde relacionado à exposição c e $p(c)$ é a proporção da população na categoria de exposição c . O valor de $p(c)$ utilizado no cálculo foi 1, indicando que em algum momento do ano, toda a população possa vir a ser exposta.

O $\text{RR}(c)$ é derivado da seguinte equação (Nagpure et al., 2014):

$$\text{RR}(c) = \frac{(C - P)}{10} (\text{RR} - 1) + 1 \quad (8)$$

em que, C é a concentração ambiente do poluente em questão. No presente estudo, para a definição dos níveis de material particulado foram calculadas médias anuais, já para os níveis de ozônio, médias móveis de 8 horas. P é o padrão de qualidade do ar para o poluente. Foram adotados os valores recomendados pela Organização Mundial da Saúde, $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP_{10} (anual) e $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para O_3 (8 horas). RR é o risco relativo para cada efeito adverso à saúde selecionado, sendo comumente determinado em estudos epidemiológicos.

Os riscos relativos utilizados na equação foram extraídos de estudos desenvolvidos por Metzger et al. (2004) e Peel et al. (2005) e estão apresentados na tabela a seguir (Tabela 3).

Tabela 3. Risco Relativo para morbidade por todas doenças respiratórias e circulatórias.

Poluente	Unidade	Morbidade	Risco Relativo	IC 95%
MP ₁₀	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Doença Respiratória	1.013	1.004-1.021
		Doença Circulatória	1.009	0.998-1.019
O ₃	25 ppb	Doença Respiratória	1.024	1.008-1.039
		Doença Circulatória	1.008	0.987-1.030

Fonte: Metzger et al., (2004) e Peel et al., (2005).

Para a estimativa do risco atribuível também é necessário considerar uma certa frequência na ocorrência das doenças analisadas na população. Esta frequência é indicada pelo

número de casos/100.000 habitantes por ano. A frequência empregada no estudo, determinada utilizando-se dados anuais de internação por doenças respiratórias e circulatórias, está exposta na tabela a seguir (Tabela 4).

Tabela 4. Frequência de doenças respiratórias e circulatórias na RMSP para os anos de 2008 à 2011.

Ano	Doença Circulatória*	Doença Respiratória*
2008	527	470
2009	588	529
2010	620	530
2011	620	525

*Casos/100.000 habitantes ano.

Com base nas frequências, foram determinados os números de internações por doenças circulatórias e respiratórias ocorridos em cada cidade avaliada, de acordo com a sua população. A proporção de risco atribuível (em %) indica quantas hospitalizações anuais ocorridas em cada cidade podem estar associados à exposição à poluição do ar. Por exemplo: Uma frequência de 120 admissões hospitalares por doença respiratória por 100.000 habitantes, em uma cidade com 350.000 habitantes serão 420 internações. Com PRA de 2,5%, das 420 internações, 10 podem estar associadas à poluição do ar.

Devido à falta de dados de saúde para todas as cidades da RMSP no período de 2008 à 2011, a proporção de risco atribuível foi calculada para 31 municípios. Sendo assim, foi determinada a proporção de risco atribuível para doenças respiratórias e circulatórias associadas às concentrações médias anuais de O₃ observadas nas estações e similarmente a proporção de risco atribuível para doenças respiratórias e circulatórias associadas ao MP₁₀.

De modo que ao final foi determinado:

- i. Número de internações por doenças respiratórias associadas ao O₃;
- ii. Número de internações por doenças circulatórias associadas ao O₃;
- iii. Número de internações por doenças respiratórias associadas ao MP₁₀;
- iv. Número de internações por doenças circulatórias associadas ao MP₁₀.

Com base no número de hospitalizações anual obtido para cada cidade, foi realizada uma distribuição espacial, por meio de imagens, construídas no software ArcGIS (versão 10.2), como forma de melhor representar os resultados obtidos na presente etapa e de modo a verificar quais locais da RMSP representam um maior risco à saúde da população em razão das concentrações de O₃ e MP₁₀ as quais estão expostas.

3.7 Despesas de saúde

Para determinar as despesas envolvidas nas internações anuais por doenças do aparelho respiratório e circulatório relacionadas à poluição do ar foram considerados: número de internações hospitalares associados à poluição, previamente determinado na etapa anterior, e o valor médio pago por internação hospitalar no SUS. Sendo a despesa calculada através da seguinte equação:

$$\text{Despesa} = \text{número de internações} \times \text{valor pago por internação} \quad (9)$$

O valor médio pago por internação no SUS pode ser consultado na página do Departamento de Informática do SUS (<http://datasus.saude.gov.br/>). Houve variações no valor pago durante os anos estudados, mas o valor médio considerado no estudo foi de R\$ 1.230,15. Este valor é repassado a toda internação efetivada, independentemente do tempo da mesma.

A mesma metodologia para o cálculo de despesas hospitalares descrita acima também foi utilizada por Vormittag et al (2014) em estudo desenvolvido para o Estado de São Paulo, porém com despesas atribuíveis à poluição por MP_{2,5}.

4 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

4.1 Descrição das admissões hospitalares

4.1.1 Região Metropolitana de São Paulo

No período de estudo o número total de internações por doenças respiratórias e circulatórias analisadas foi de 407.514, dos quais 153.687 por doenças respiratórias em crianças e 72.687 em idosos. Internações por doenças circulatórias em idosos corresponderam a 181.140 casos.

A Tabela 5 mostra a análise exploratória das internações mensais analisadas, por grupos de risco. Verifica-se que as internações por doenças circulatórias no grupo idosos apresentam a maior média, seguida por internações por doenças respiratórias pediátricas.

Tabela 5. Análise estatística descritiva das admissões hospitalares mensais, RMSP, 2008 à 2011.

Grupo / Classe de doença	Média	Desvio Padrão	C.V. (%)*	Máximo	Mínimo
Crianças/Respiratória	3201	938	29	5203	823
Idosos/Respiratória	1514	283	19	1899	497
Idosos/Circulatória	3773	539	14	4501	1304

*C.V.= coeficiente de variação.

As internações do grupo de idosos, respiratórias e circulatórias, exibiram perfis similares com maiores ocorrências em geral nos meses de julho, agosto e setembro. Entretanto, este padrão ao longo do ano é mais evidente para doenças respiratórias, principalmente nos anos de 2008 e 2009. Para 2010 e 2011 este padrão não foi bem evidenciado (Figuras 5 e 6).

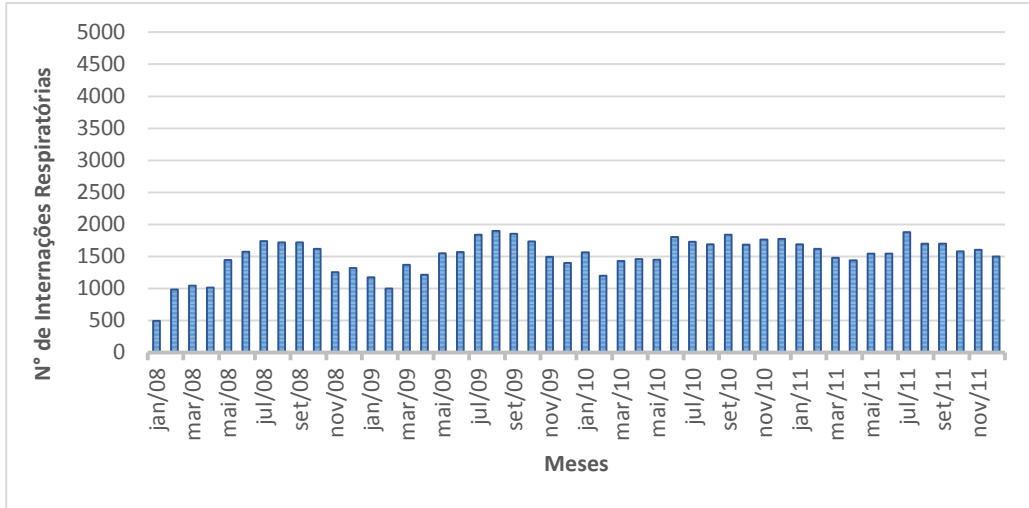


Figura 5. Número de internações mensais por doenças respiratórias na RMSP – grupo de idosos.

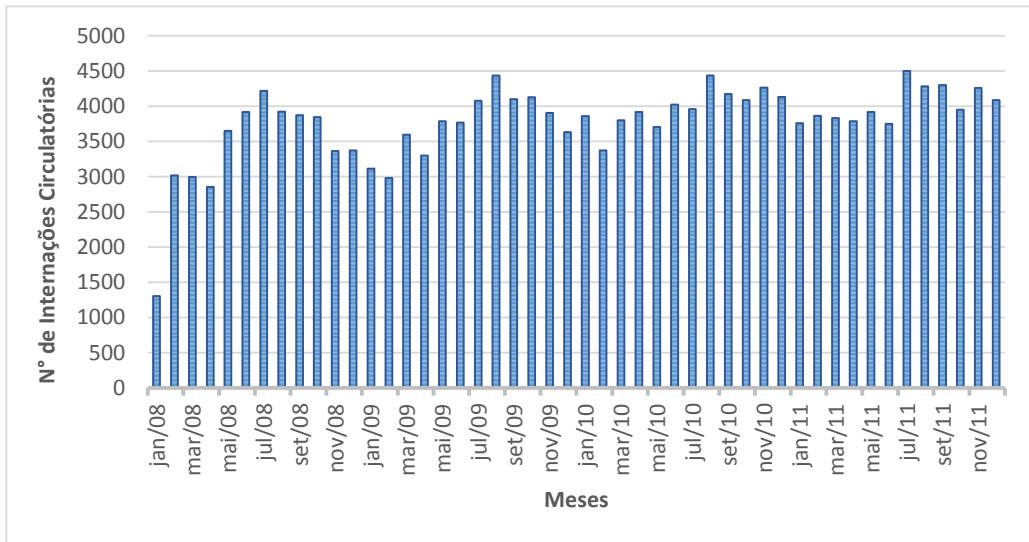


Figura 6. Número de internações mensais por doenças circulatórias na RMSP – grupo de idosos.

Para o grupo de crianças, diferentemente dos idosos, os maiores valores de internações foram observados durante os meses de outono – abril e maio, e o com o padrão muito similar entre os analisados, conforme mostra a Figura 7.

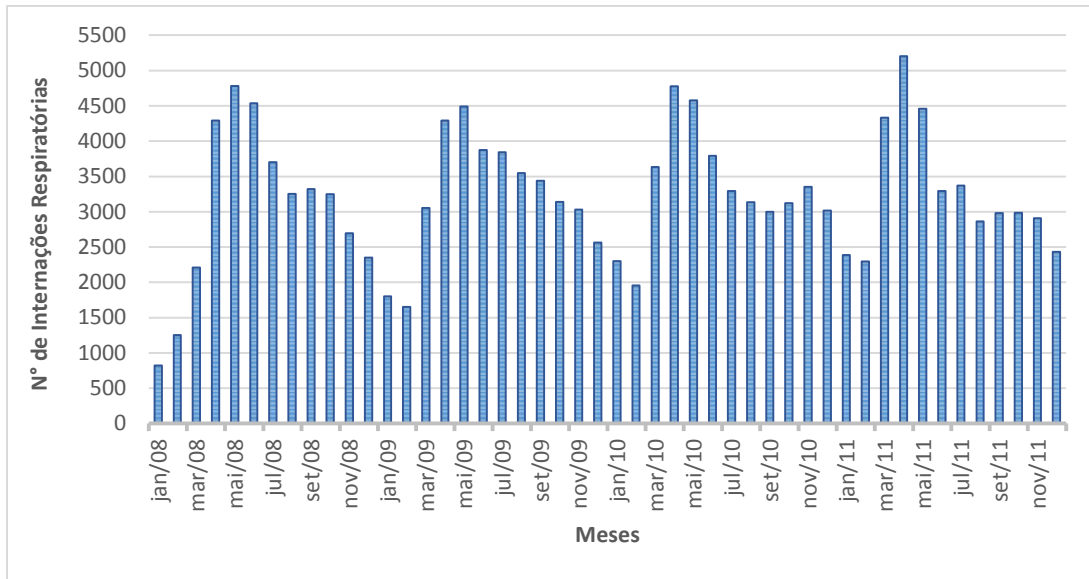


Figura 7. Número de internações mensais por doenças respiratórias na RMSP – grupo de crianças.

4.1.2 São Paulo

No período de 2008 à 2011 o número mensal de internações por doenças respiratórias para o grupo de crianças foi de 97.958, já para o grupo de idosos 43.173. Para o mesmo período, o número mensal de internações por doenças circulatórias em idosos foi de 145.982 casos.

A Tabela 6 apresenta a análise descritiva das internações mensais ocorridas na cidade de São Paulo. Pode-se verificar que a maior média de internações ocorreu por doenças circulatórias no grupo de idosos.

Tabela 6. Análise estatística descritiva das admissões hospitalares mensais, São Paulo, 2008 à 2011.

Grupo / Classe de doença	Média	Desvio Padrão	C.V. (%)*	Máximo	Mínimo
Crianças/Respiratória	2040	629	31	3446	358
Idosos/Respiratória	899	175	19	1155	260
Idosos/Circulatória	2645	392	15	3193	774

*C.V.= coeficiente de variação.

Em relação ao padrão de distribuição ao longo dos anos, o número de internações em idosos por doenças respiratórias e circulatórias para a cidade de São Paulo foi similar ao

observado da RMSP, com os maiores valores registrados nos meses de julho e agosto. As Figuras 8 e 9 ilustram estes padrões.

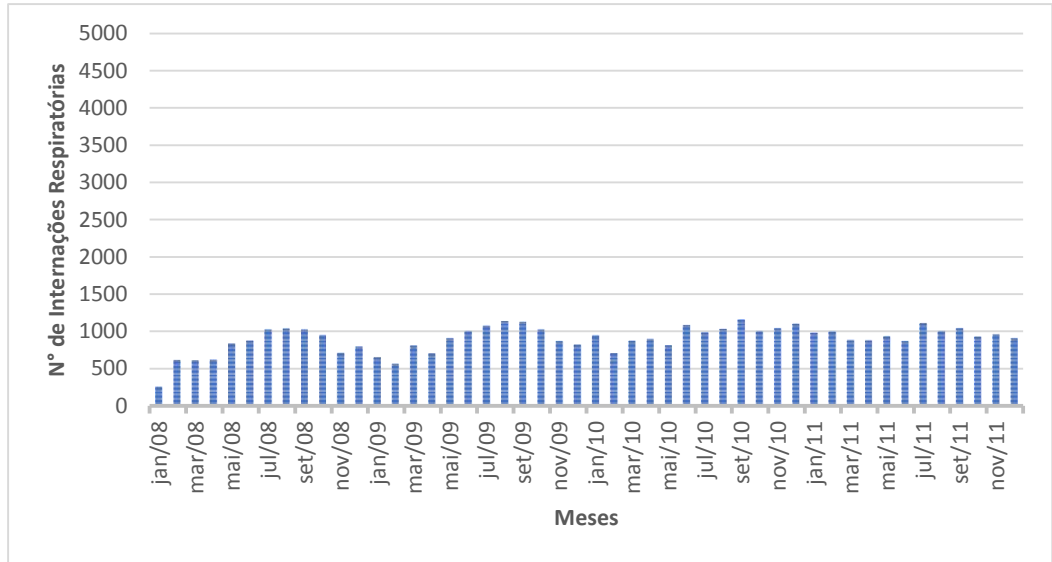


Figura 8. Número de internações mensais por doenças respiratórias em São Paulo – grupo de idosos.

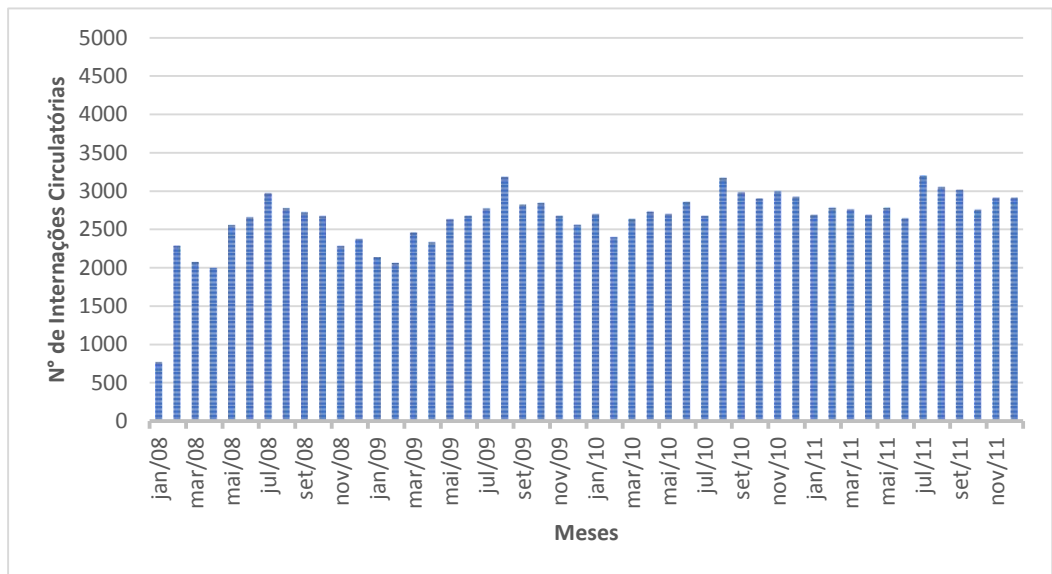


Figura 9. Número de internações mensais por doenças circulatórias em São Paulo – grupo de idosos.

As internações por doenças respiratórias no grupo de crianças registraram os maiores valores nos meses abril e maio (Figura 10).

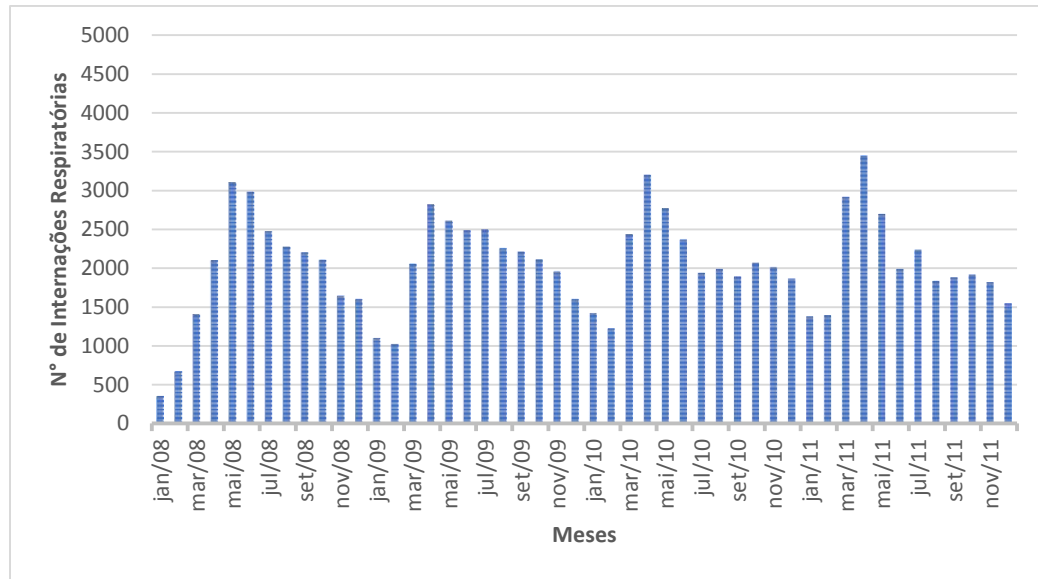


Figura 10. Número de internações mensais por doenças respiratórias em São Paulo – grupo de crianças.

4.2 Caracterização dos poluentes

4.2.1 Região Metropolitana de São Paulo

Conforme a Tabela 7 a maior concentração média mensal registrada de MP_{10} foi de $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e a concentração média mensal mínima de $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para este poluente o padrão nacional de qualidade do ar estabelecido pela Resolução CONAMA n°003 de 1990 é de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (padrão primário, 24 horas). O padrão de qualidade não foi ultrapassado durante o período de estudo (Figura 11). Nota-se que o MP_{10} apresentou um comportamento sazonal, exibindo maiores concentrações nos meses de outono e inverno e menores valores nos meses de primavera e verão.

Tabela 7. Análise estatística descritiva das concentrações dos poluentes, RMSP, 2008 à 2011.

Poluente	Média	Desvio Padrão	C.V. (%)*	Máximo	Mínimo
$MP_{10} (\mu\text{g}/\text{m}^3)$	32	9	29	69	17
$O_3 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$	33	11	33	66	12
$NO_2 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$	47	12	26	91	19

*C.V.= coeficiente de variação.

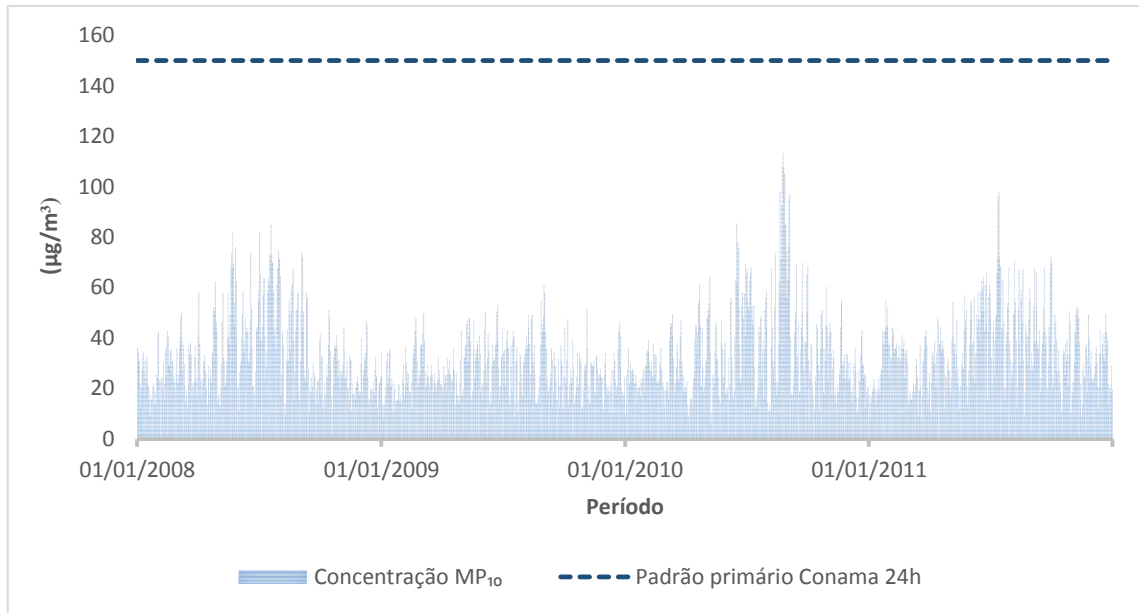


Figura 11. Série temporal da média diária da concentração de MP₁₀, RMSP – 2008 à 2011.

Para o O₃, o maior valor médio mensal observado foi de 66 µg/m³ e o menor de 12 µg/m³ (Tabela 7). De acordo com dados da CETESB (2011), e considerando apenas as estações utilizadas no estudo, o poluente ultrapassou o padrão nacional de qualidade do ar (160 µg/m³, 1h) 291 vezes durante o período de 2008 a 2011 (Figura 12).

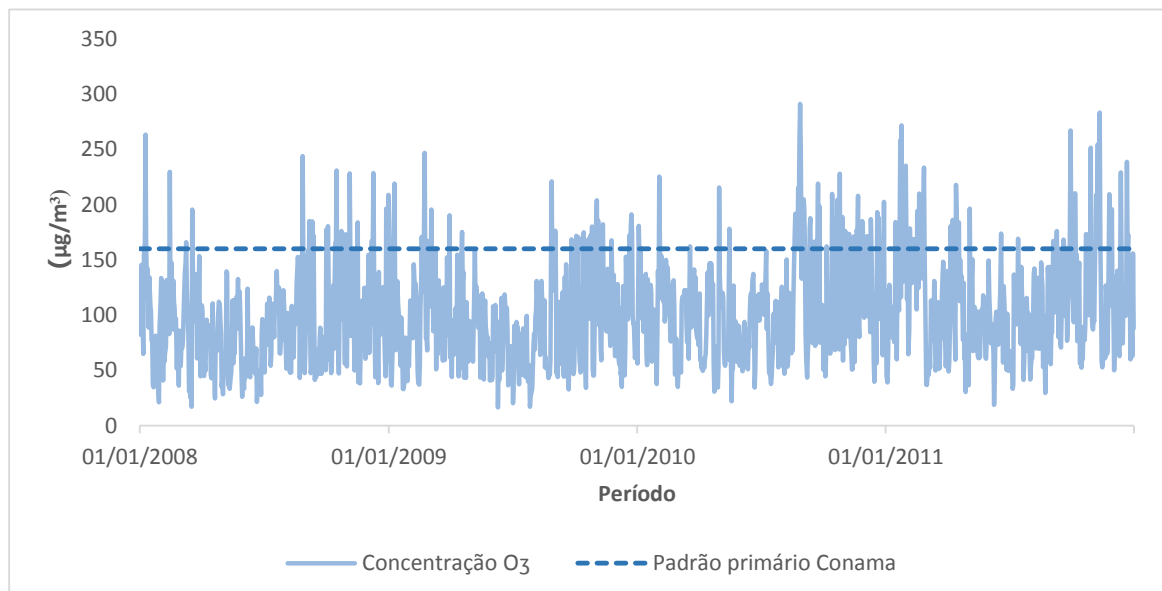


Figura 12. Série temporal da máxima diária de concentração O₃, RMSP – 2008 à 2011.

Para o NO_2 o maior valor médio mensal registrado foi de $91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e o mínimo de $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabela 7). Durante o período estudado, o NO_2 não ultrapassou o padrão CONAMA de $320 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em 1h (Figura 13).

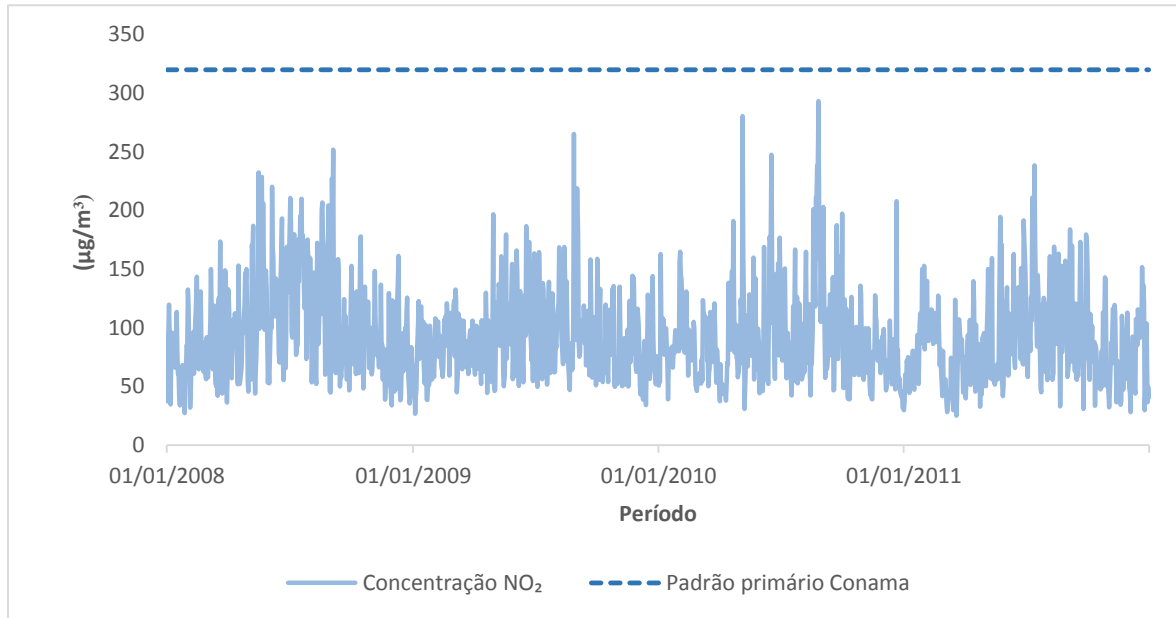


Figura 13. Série temporal da máxima diária de concentração de NO_2 , RMSP – 2008 à 2011.

4.3 Caracterização das variáveis meteorológicas

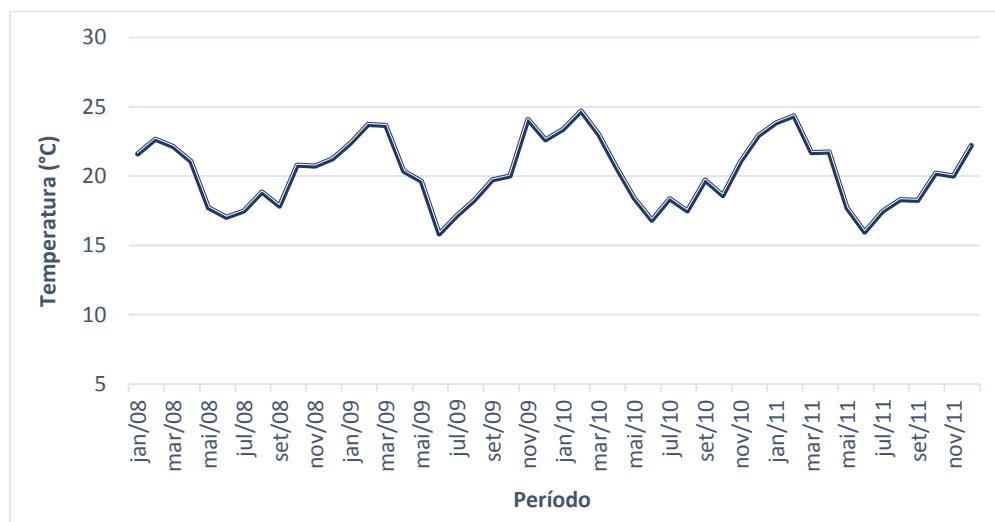
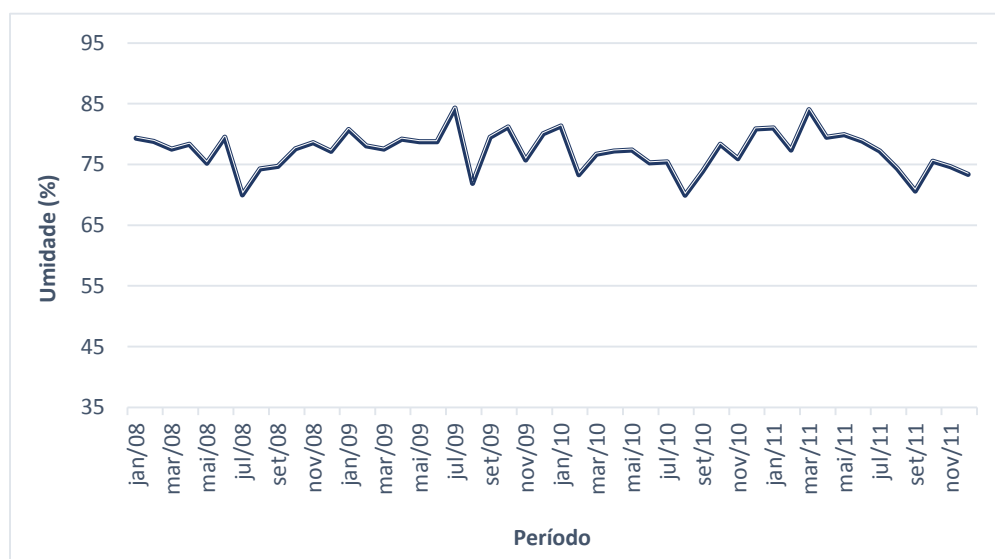
4.3.1 Região Metropolitana de São Paulo

A Tabela 8 exhibe o resultado da análise exploratória das variáveis temperatura e umidade relativa do ar para o período de estudo, registrado nas estações do INMET e IAG. O maior valor médio mensal registrado para a temperatura foi de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, já para a umidade o maior valor médio mensal foi de 87%. As figuras 14 e 15 expõem as séries temporais mensais de temperatura e umidade, respectivamente.

Tabela 8. Análise estatística descritiva das variáveis meteorológicas, RMSP.

Variável	Média	Desvio Padrão	C.V. (%)*	Máximo	Mínimo
Temperatura (°C)	20	3	13	25	15
Umidade (%)	77	4	6	87	63

*C.V.= coeficiente de variação.

**Figura 14.** Série temporal das temperaturas médias, RMSP- 2008 à 2011.**Figura 15.** Série temporal de umidade relativa do ar média, RMSP - 2008 à 2011.

4.3.2 São Paulo

A análise descritiva das variáveis umidade relativa do ar e temperatura está apresentada na tabela a seguir (Tabela 9). Os maiores valores mensais registrados de temperatura e umidade foram 25 °C e 83%, respectivamente.

Tabela 9. Análise estatística descritiva das variáveis meteorológicas, São Paulo.

Variável	Média	Desvio Padrão	C.V. (%)*	Máximo	Mínimo
Temperatura (°C)	20	2	12	25	16
Umidade (%)	74	4	6	83	63

*C.V.= coeficiente de variação.

4.4 Correlação entre as variáveis

4.4.1 Região Metropolitana de São Paulo

Os coeficientes da correlação de Pearson entre as variáveis meteorológicas, poluentes e internações hospitalares estão apresentados na tabela a seguir (Tabela 10). O coeficiente de correlação de Pearson é utilizado como medida de associação linear entre variáveis.

As internações infantis por doenças respiratórias apresentaram correlação positiva com as concentrações dos poluentes (MP₁₀, O₃ e NO₂) e negativa com as variáveis temperatura e umidade. Para o grupo de idosos, as admissões hospitalares por doenças respiratórias exibiram correlação negativa apenas com o poluente NO₂, já as internações por doenças circulatórias apresentaram correlação positiva com a variável temperatura e o poluente O₃.

Temperatura e umidade exibiram correlação positiva. Entre os poluentes foi observado correlação positiva entre MP₁₀ e NO₂, possivelmente por apresentarem a mesma fonte de emissão.

Tabela 10. Matriz de correlação das variáveis em estudo, RMSP.

	Temperatura	Umidade	MP ₁₀	O ₃	NO ₂	Idosos R.	Idosos C.	Crianças R.
Temperatura	1							
Umidade	0,23	1						
MP ₁₀	-0,64	-0,62	1					
O ₃	0,40	-0,31	-0,14	1				
NO ₂	-0,65	-0,55	0,81	-0,25	1			
Idosos R.	0,06	0,01	0,02	0,25	-0,02	1		
Idosos C.	0,16	0,00	-0,01	0,35	-0,05	0,93	1	
Crianças R.	-0,08	-0,19	0,22	0,18	0,24	0,44	0,47	1

*Crianças R.: doenças respiratórias em crianças, Idosos C.: doenças circulatórias em idosos, Idosos R.: doenças respiratórias em idosos.

4.4.2 São Paulo

A matriz de correlação das variáveis temperatura, umidade, MP₁₀, NO₂, O₃ e admissões hospitalares esta apresentada na Tabela 11.

Tabela 11. Matriz de correlação das variáveis em estudo, São Paulo.

	Temperatura	Umidade	MP ₁₀	O ₃	NO ₂	Idosos R.*	Idosos C.*	Crianças R.*
Temperatura	1							
Umidade	0,32	1						
MP ₁₀	-0,66	-0,75	1					
O ₃	0,35	-0,26	-0,12	1				
NO ₂	-0,65	-0,59	0,82	-0,23	1			
Idosos R.	-0,37	-0,42	0,40	0,27	0,49	1		
Idosos C.	-0,43	-0,33	0,38	0,20	0,53	0,92	1	
Crianças R.	-0,49	-0,06	0,25	-0,34	0,33	0,46	0,43	1

*Crianças R.: doenças respiratórias em crianças, Idosos C.: doenças circulatórias em idosos, Idosos R.: doenças respiratórias em idosos.

As admissões hospitalares do grupo de idosos, circulatórias e respiratórias, apresentaram correlação positiva com os três poluentes avaliados (MP₁₀, O₃ e NO₂) e correlação negativa com temperatura e umidade. Para as internações hospitalares infantis a correlação positiva foi observada entre o MP₁₀ e NO₂, umidade e temperatura também indicaram correlação negativa.

Entre os poluentes correlação positiva entre MP₁₀ e NO₂. Temperatura e umidade apresentaram correlação positiva.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise de regressão

Modelos Lineares Generalizados de regressão de Poisson foram aplicados aos dados mensais de internação por doenças do aparelho respiratório e circulatório infantil e de idosos. A seguir são apresentados os resultados por cada classe de doença e idade para a RMSP e São Paulo.

5.1.1 Região Metropolitana de São Paulo

5.1.1.1 Internações de crianças por doenças do aparelho respiratório

A análise dos dados de morbidade infantil por meio dos Modelos Lineares Generalizados de regressão de Poisson apresentou associações significativas entre todas as variáveis estudadas e as internações por doenças respiratórias (Tabela 12).

Tabela 12. Estimativas da Análise de *Deviance* do modelo de Poisson para doenças respiratórias infantis.

Coefficientes	Diferença entre graus de liberdade	<i>Deviance</i> residual	Graus de liberdade	<i>Deviance</i>	Valor P
Nulo			47	13.796	
Umidade	1	498,72	46	13.297	< 0,0001***
Temperatura	1	15,16	45	13.282	< 0,0001***
Ano	3	396,78	42	12.885	< 0,0001***
O ₃	1	353,73	41	12.531	< 0,0001***
MP ₁₀	1	492,80	40	12.039	< 0,0001***
NO ₂	1	157,71	39	11.881	< 0,0001***

***p=0,001.

A obtenção de resultados positivos não garante o bom ajuste, portanto, mesmo que os resultados tenham sido positivos, existem indícios da ocorrência do fenômeno da superdispersão. Para o ajuste dos dados ser adequado, o desvio gerado pelo modelo deve apresentar-se próximo ao número de graus de liberdade, entretanto, o desvio obtido foi de 157,71 em 39 graus de liberdade. A falta de ajuste pode ser confirmada através do *half-normal plot*, apresentado na Figura 16.

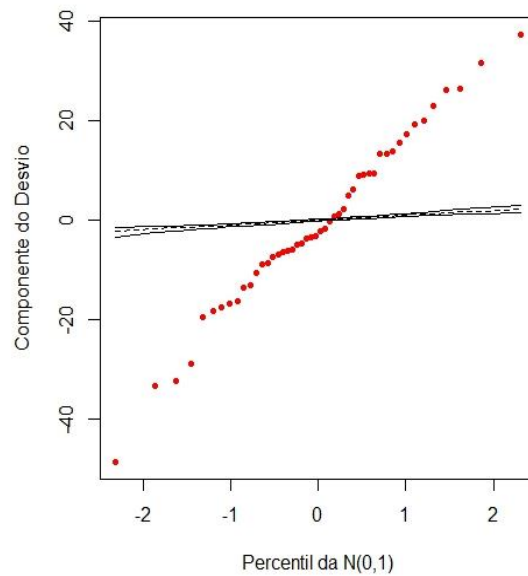


Figura 16. *Halfnormal plot* referente ao modelo ajustado aos dados mensais de internação respiratória em crianças no período de 2008-2011 na RMSP, com o uso da distribuição de Poisson.

De modo a minimizar o efeito da superdispersão, aplicou-se o modelo de regressão Binomial Negativa. Os resíduos do modelo permaneceram dentro do envelope gerado, indicando que o ajuste Binomial Negativo é apropriado a série de dados (Figura 17). Entretanto, os resultados da regressão não indicaram nenhuma associação entre as variáveis utilizadas e as internações infantis por doenças do aparelho respiratório.

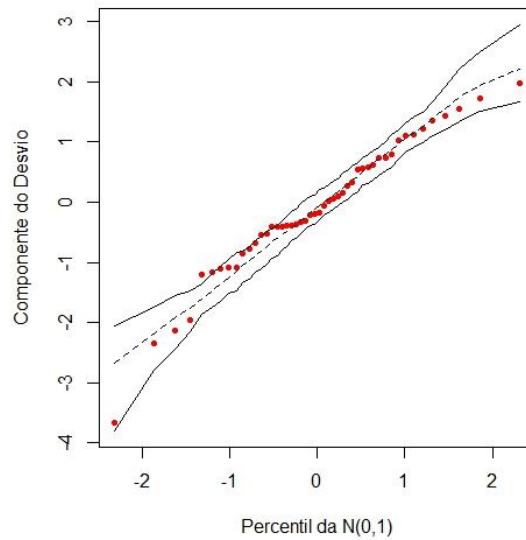


Figura 17. *Halfnormal plot* referente ao modelo ajustado aos dados mensais de internação respiratória em crianças no período de 2008-2011 na RMSP, com o uso da distribuição Binomial Negativa.

Na Figura 17, pode-se observar que alguns componentes do desvio estão no limiar, ou mesmo fora, do envelope gerado. O fato do ajuste não ser melhor é em função do mês de janeiro de 2008 que apresentou um número de internações bem inferior ao restante do período estudado, provavelmente em função da alteração na forma de registro no banco de dados. Desta forma, o referido mês foi removido do banco de dados e uma nova análise, adotando-se a distribuição Binomial Negativa, foi realizada. A Figura 18 exibe o gráfico dos resíduos do modelo ajustado, excetuando-se o mês de janeiro de 2008.

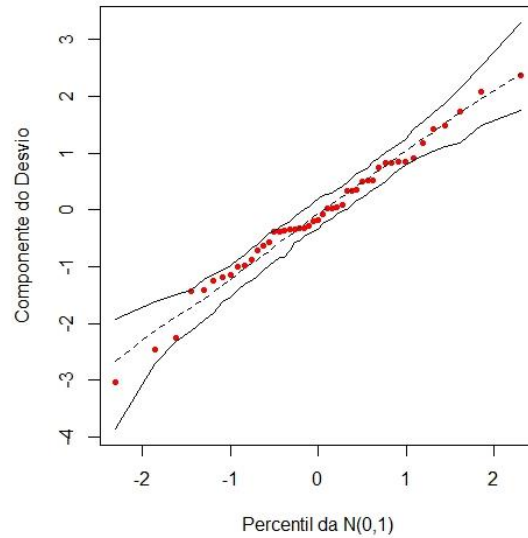


Figura 18. *Half normal plot* referente ao modelo final ajustado aos dados mensais de internação respiratória em crianças no período de 2008-2011 na RMSF, com o uso da distribuição Binomial Negativa.

Por meio da remoção deste ponto atípico, verificou-se uma melhora significativa no ajuste dos dados. Entretanto, as variáveis ozônio, material particulado, dióxido de nitrogênio temperatura, umidade e os anos não apresentaram evidência de associação positiva com as internações por doenças respiratórias em crianças.

Na Tabela 13 são apresentadas as estimativas do AIC. Com base nos valores de AIC, verifica-se que o modelo Binomial Negativo foi o mais adequado para a série de dados analisada.

Tabela 13. Valores de AIC para os modelos de regressão.

Modelo	AIC
Poisson	12.372
Binomial Negativo I	811,26
Binomial Negativo II	784,43

5.1.1.2 Internações de idosos por doenças do aparelho respiratório

Utilizando o modelo de regressão de Poisson, foram observadas associações positivas entre as variáveis MP_{10} , O_3 , NO_2 , temperatura, anos e as internações por doenças respiratórias em idosos. Entretanto, mesmo com resultados significativos, a ocorrência da subdispersão foi observada. O desvio obtido pelo modelo de Poisson foi de 4,39 em 39 graus de liberdade, indicando um ajuste não apropriado. A falta de ajuste pode ser observada na Figura 19.

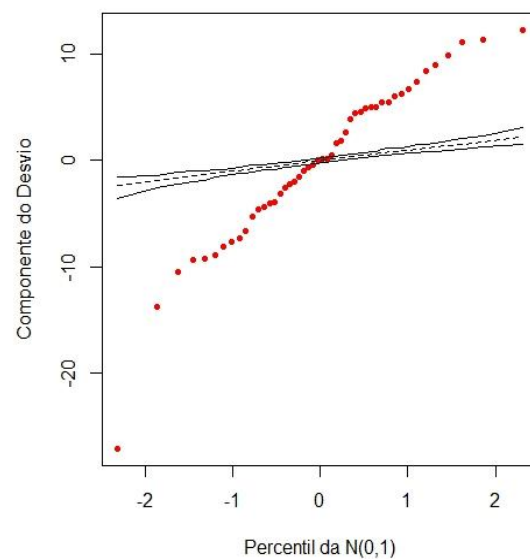


Figura 19. *Half normal plot* referente ao modelo ajustado aos dados mensais de internação respiratória em idosos no período de 2008-2011 na RMSM, com o uso da distribuição de Poisson.

De forma a corrigir o efeito da subdispersão, o modelo de regressão Binomial Negativo foi utilizado. O novo ajuste mostrou-se mais adequado (Figura 20) e foi notada a evidência de associação entre o ano de 2010 e internações por doenças respiratórias.

Na Figura 20 observa-se alguns pontos fora do envelope simulado. O valor externo ao envelope simulado foi identificado como sendo o mês de janeiro de 2008, já destacado por ter apresentado um sub-registro dos casos. Na tentativa de melhorar o ajuste do modelo e verificar a influência do valor atípico, o mês de janeiro foi removido do banco de dados e a análise refeita.

O novo ajuste apresentou resultado similar ao anterior, ou seja, evidência de associação entre as internações e o ano de 2010, porém com ajuste aperfeiçoado. O gráfico dos resíduos gerado pelo modelo Binomial Negativo final é apresentado na Figura 21.

Analisando os valores de AIC, o modelo Binomial Negativo mostrou-se superior aos demais. Para o modelo de Poisson o valor obtido foi de 2.704, já para o Binomial Negativo final, 664,39.

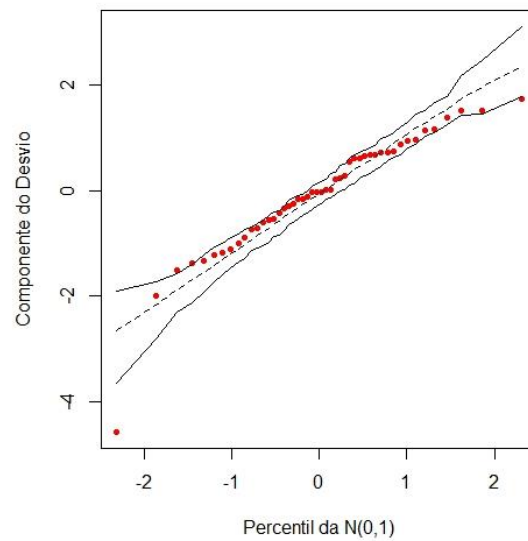


Figura 20. *Half normal plot* referente ao modelo ajustado aos dados mensais de internação respiratória em idosos no período de 2008-2011 na RMSP, com o uso da distribuição Binomial Negativa.

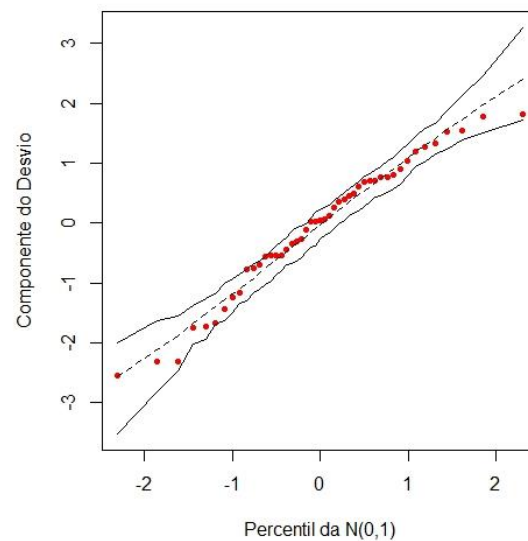


Figura 21. *Half normal plot* referente ao modelo final ajustado aos dados mensais de internação respiratória em idosos no período de 2008-2011 na RMSP, com o uso da distribuição Binomial Negativa.

5.1.1.3 Internações de idosos por doenças do aparelho circulatório

Na Tabela 14 são apresentados os resultados do modelo ajustado ao número de internações de pacientes idosos com doenças do aparelho circulatório. Nota-se que apenas a variável Umidade (p-valor = 0,0881) não foi significativa.

Tabela 14. Estimativas da Análise de *Deviance* do modelo de Poisson para doenças circulatórias em idosos.

Coefficientes	Diferença entre graus de liberdade	<i>Deviance</i> residual	Graus de liberdade	<i>Deviance</i>	Valor P
Nulo			47	4.203,1	
Umidade	1	0,02	46	4.203,1	0,0881
Temperatura	1	99,31	45	4.103,8	< 0,0001***
Ano	3	589,49	42	3.244,3	< 0,0001***
O ₃	1	101,82	41	3.142,4	< 0,0001***
MP ₁₀	1	67,04	40	3.075,4	< 0,0001***
NO ₂	1	4,07	39	3.071,3	0,0435*

*p=0,05; ***p=0,001.

Embora o resultado tenha demonstrado associações positivas, o ajuste dos dados não sucedeu de forma correta, houve a ocorrência também da subdispersão. Os indicativos da subdispersão podem ser verificados pelo desvio gerado pelo modelo (4,07 em 39 graus de liberdade) e pelo gráfico dos resíduos (Figura 22).

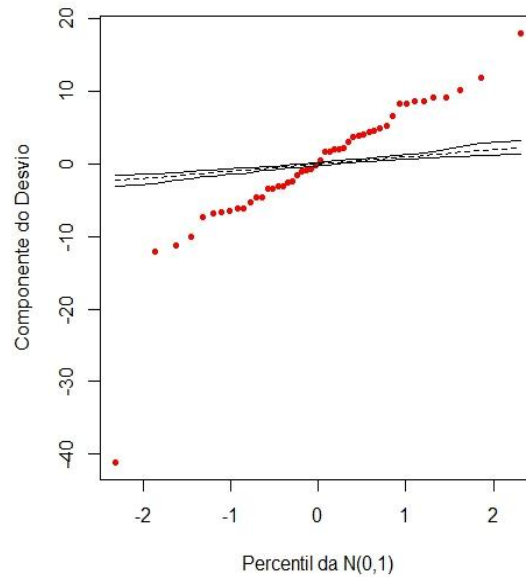


Figura 22. *Half normal plot* referente ao modelo ajustado aos dados mensais de internação circulatória em idosos no período de 2008-2011 na RMSP, com o uso da distribuição de Poisson.

Para corrigir o efeito da subdispersão e propor um melhor ajuste aos dados, o modelo de regressão Binomial Negativo foi novamente utilizado. Por meio deste modelo foi apresentada evidência de associação entre as internações circulatórias e os anos de 2010 e 2011. A Figura 23 confirma que o modelo Binomial Negativo é adequado aos dados.

O ajuste pela regressão Binomial Negativa mostrou-se superior, entretanto, verificando o gráfico do ajuste podemos notar que alguns resíduos apresentam um comportamento de desvio em relação ao envelope gerado. Com o intuito de identificação dos resíduos, um diagnóstico foi desenvolvido e o resíduo com tendência de desvio identificado foi o mês de janeiro de 2008, previamente já conhecido por problemas de sub-notificação.

O mês excepcional foi removido do banco de dados e uma nova análise pelo modelo Binomial Negativo foi executada. A nova análise mostrou-se superior, em termos de ajuste dos dados, (Figura 24) e exibiu evidência de associação entre as variáveis MP_{10} , ano de 2010, ano de 2011 e as internações por doenças circulatórias em idosos.

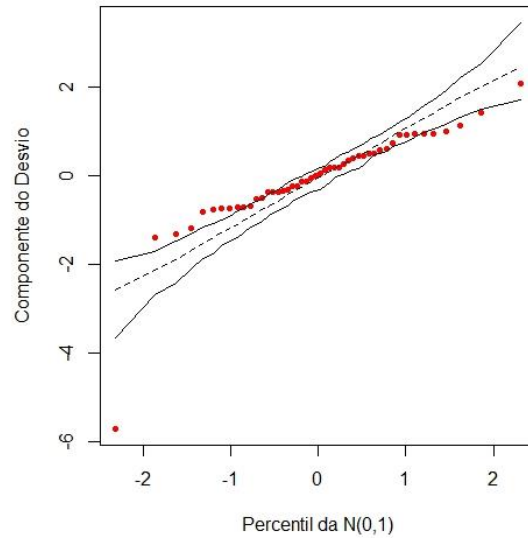


Figura 23. *Half normal plot* referente ao modelo ajustado aos dados mensais de internação circulatória em idosos no período de 2008-2011 na RMSP, com o uso da distribuição Binomial Negativa.

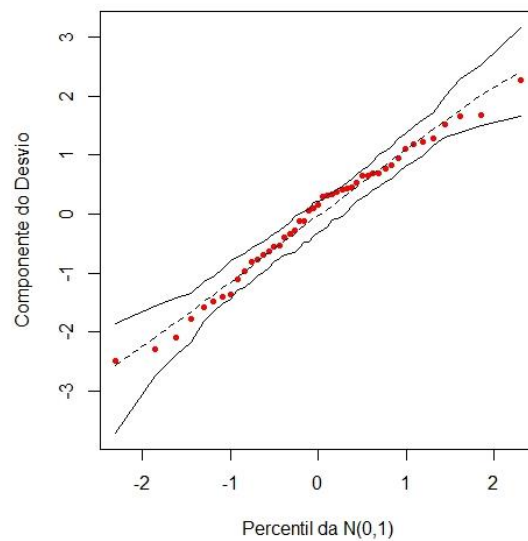


Figura 24. *Half normal plot* referente ao modelo final ajustado aos dados mensais de internação circulatória em idosos no período de 2008-2011 na RMSP, com o uso da distribuição Binomial Negativa.

O critério de Akaike novamente confirma o modelo Binomial Negativo final como sendo o mais conforme, AIC de 703,55. Para o modelo de Poisson o AIC foi de 3.572.

5.1.2 São Paulo

5.1.2.1 Internações de crianças por doenças do aparelho respiratório

Utilizando o mesmo procedimento metodológico de análise feito para a RMSP foi realizada a regressão para os dados registrados na cidade de São Paulo. A metodologia evidenciou associação entre as variáveis umidade, temperatura, MP_{10} , O_3 , NO_2 e as hospitalizações de crianças por doenças do aparelho respiratório. Ainda que os resultados tenham demonstrado associações positivas, a superdispersão ocorreu na análise. Para o ajuste dos dados ser adequado o desvio do modelo deve estar próximo ao número de graus de liberdade, entretanto, o desvio obtido foi de 62,01 em 39 graus de liberdade. A falta de ajuste pode ser observada na Figura 25.

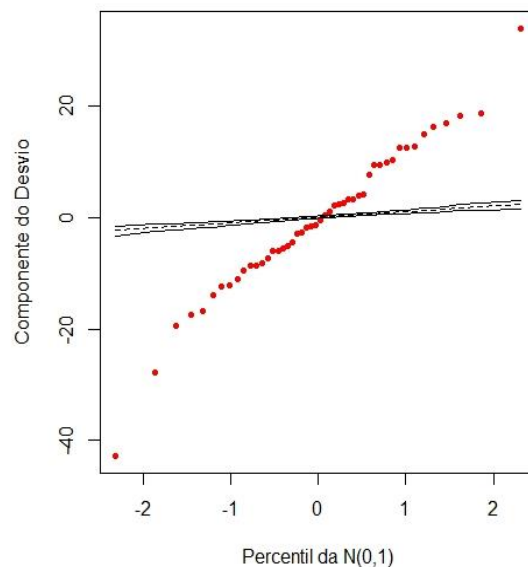


Figura 25. *Halfnormal plot* referente ao modelo ajustado aos dados mensais de internação respiratória em crianças no período de 2008-2011 em São Paulo, com o uso da distribuição de Poisson

De modo a minimizar o efeito da superdispersão e melhorar o ajuste, o modelo de regressão Binomial Negativo foi aplicado aos dados e o mês de janeiro de 2008 removido da série.

A nova análise Binomial Negativa demonstrou evidência de associação entre as internações por doenças do aparelho respiratório infantil e as variáveis temperatura e ozônio. O ajuste dos dados foi aprimorado, a figura 26 exibe o gráfico dos resíduos do modelo Binomial final.

Pelo critério de Akaike, foi confirmada a melhor adequação do modelo Binomial Negativo, AIC de 734,52, em comparação à 7.378 do modelo de Poisson.

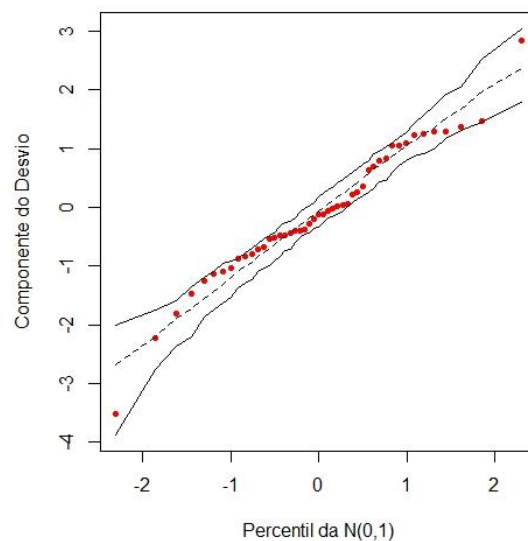


Figura 26. *Half normal plot* referente ao modelo final ajustado aos dados mensais de internação respiratória em crianças no período de 2008-2011 em São Paulo, com o uso da distribuição Binomial Negativa

5.1.2.2 Internações de idosos por doenças do aparelho respiratório

O emprego de Modelos Lineares Generalizados de regressão de Poisson aos dados de morbidade respiratória em idosos evidenciou associação positiva entre as variáveis umidade, temperatura, anos, O_3 , NO_2 e as internações hospitalares.

A superdispersão foi notada mesmo com os resultados positivos. O desvio obtido pelo modelo de Poisson foi de 176,6 em 39 graus de liberdade. A falta de ajuste pode ser confirmada através do *half-normal plot*, apresentado na Figura 27.

Buscando melhorar o ajuste dos dados e reduzir o efeito a superdispersão, o modelo de regressão Binomial Negativo foi utilizado, excluindo o dado do mês de janeiro de 2008.

Observou-se uma melhora no ajuste dos dados e a associação entre as variáveis umidade, temperatura, ano de 2010, ano de 2011, O_3 , NO_2 e as internações hospitalares foi novamente notada. A Figura 28 exibe o gráfico dos resíduos do modelo Binomial Negativo.

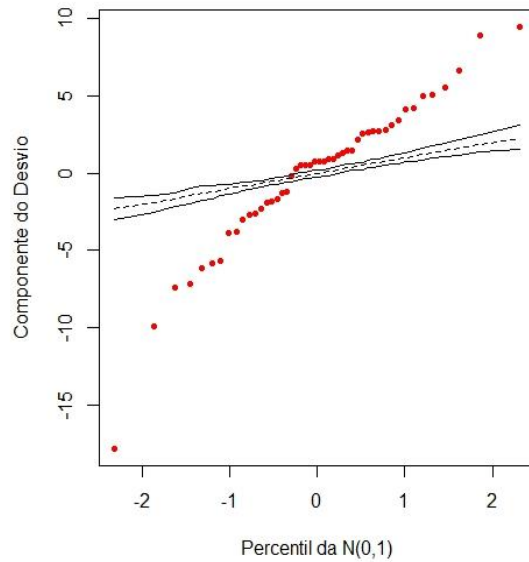


Figura 27. *Half normal plot* referente ao modelo ajustado aos dados mensais de internação respiratória em idosos no período de 2008-2011 em São Paulo, com o uso da distribuição de Poisson.

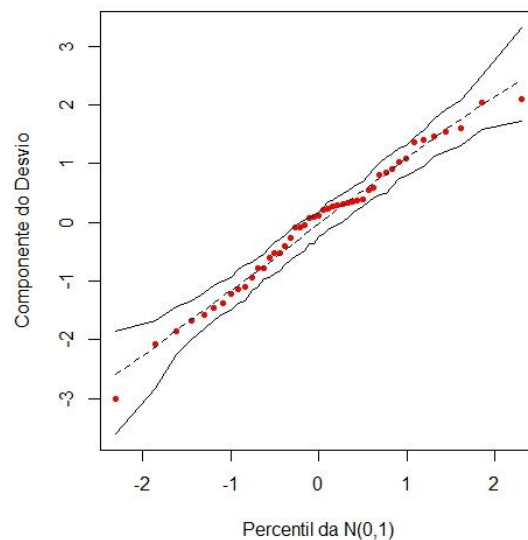


Figura 28. *Half normal plot* referente ao modelo final ajustado aos dados mensais de internação respiratória em idosos no período de 2008-2011 em São Paulo, com o uso da distribuição Binomial Negativa.

O critério de Akaike confirma a adequação do modelo Binomial Negativo final com AIC de 591,51. Para o modelo de Poisson o AIC foi de 1.320 e para o primeiro modelo Binomial Negativo incluindo o mês de janeiro de 2008 de 632.

5.1.2.3 Internações de idosos por doenças do aparelho circulatório

A análise dos dados de morbidade circulatória em idosos por meio dos Modelos Lineares Generalizados de regressão de Poisson apresentou associações significativas entre as variáveis umidade, temperatura, ano, O_3 , NO_2 e as internações, entretanto, o ajuste dos dados não foi preciso, a superdispersão incidiu na análise. A falta de ajuste pode ser confirmada através do *half-normal plot*, apresentado na Figura 29.

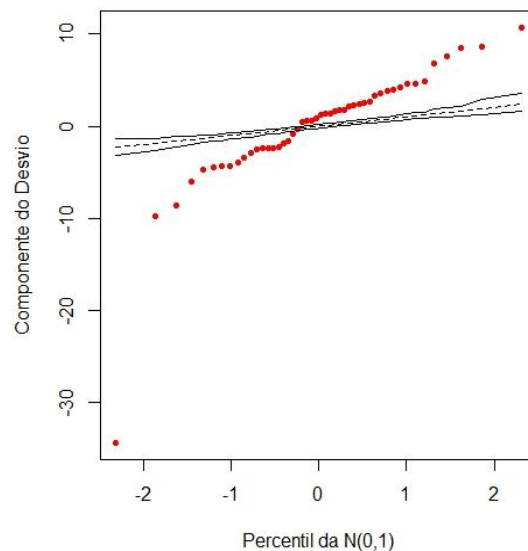


Figura 29. *Half normal plot* referente ao modelo ajustado aos dados mensais de internação circulatória em idosos no período de 2008-2011 em São Paulo, com o uso da distribuição de Poisson.

O modelo de regressão Binomial Negativo foi aplicado aos dados de forma a reduzir o efeito da superdispersão e garantir um melhor ajuste. A Figura 30 exibe o gráfico dos resíduos referente ao modelo Binomial Negativo, mostrando superioridade em relação ao modelo de

Poisson. Por essa nova regressão foi notada evidência de associação entre as internações circulatórias e as variáveis umidade, temperatura, NO_2 e ano.

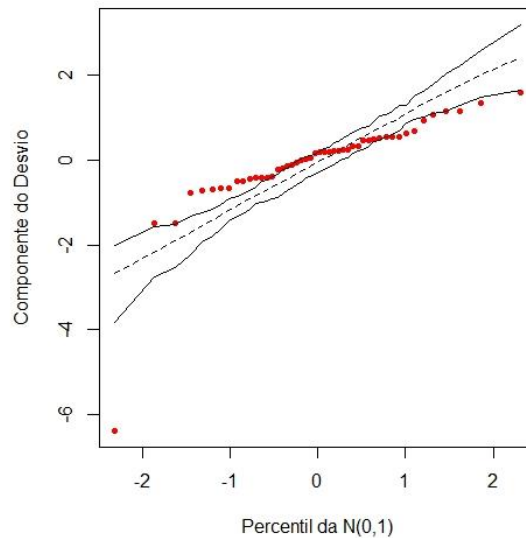


Figura 30. *Half normal plot* referente ao modelo ajustado aos dados mensais de internação circulatória em idosos no período de 2008-2011 em São Paulo, com o uso da distribuição Binomial Negativa.

Na Figura 30 nota-se pontos fora do envelope simulado. O valor externo ao envelope simulado foi identificado como sendo o mês de janeiro de 2008, já destacado por ter apresentado um sub-registro dos casos de internação.

Com a retirada deste ponto atípico do banco de dados a análise Binomial Negativa foi refeita. O novo ajuste evidenciou associação entre as admissões hospitalares por doenças circulatórias em idosos e as variáveis: umidade, temperatura, O_3 e anos de 2010 e 2011. A Figura 31 apresenta o gráfico dos resíduos do modelo final.

A tabela a seguir apresenta as estimativas do AIC (Tabela 15). Verifica-se que o modelo Binomial Negativo foi o mais adequado.

Tabela 15. Valores de AIC para os modelos de regressão.

Modelo	AIC
Poisson	2.188
Binomial Negativo I	722,43
Binomial Negativo II	639,85

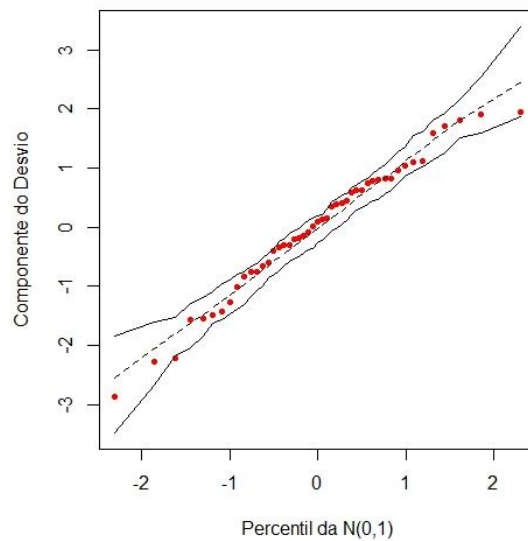


Figura 31. *Half normal plot* referente ao modelo final ajustado aos dados mensais de internação circulatória em idosos no período de 2008-2011 em São Paulo, com o uso da distribuição Binomial Negativa

5.1.3 Discussão dos resultados da regressão

Quando da utilização o modelo de regressão usando a distribuição de Poisson, quase a totalidade das variáveis explicativas esteve associada às internações, seja por doenças do aparelho circulatório ou respiratório em ambas faixas etárias avaliadas. Entretanto, verificou-se, por meio da análise de *deviance* e do *half normal plot*, que o modelo não se ajustou bem aos dados, podendo levar a interpretação errada quanto a associação da variável explanatória com a variável resposta.

As estimativas obtidas pelo modelo Binomial Negativo evidenciaram que os poluentes MP₁₀, O₃ e NO₂ têm influência sobre a saúde dos habitantes da RMSP e foram notadas

diferenças entre resultados observados para a Região Metropolitana de São Paulo e a cidade de São Paulo.

Não existem estações de monitoramento em todas as cidades que compõe a RMSP e grande parte destas localizam-se próximas à capital. Mesmo sendo um fator limitante ao trabalho, as análises foram realizadas com os dados disponíveis. Gonçalves et al. (2005) também avaliaram os efeitos da poluição na saúde da população da RMSP com dados de estações localizadas na cidade de São Paulo. Os resultados indicaram que para um verão com pouco contraste de temperatura e vapor d'água, a morbidade infantil apresentou-se associada à poluição, com destaque para o O₃; já para um verão com significativos contrastes de condições sinóticas a morbidade esteve associada às variáveis meteorológicas.

As estações de qualidade do ar utilizadas no trabalho foram as que apresentaram pelo menos 80% de dados válidos. De acordo com classificação realizada pela CETESB (2014), as estações de Diadema, Parque Dom Pedro e Santo André são consideradas como escala de bairro, estações de Cerqueira César e Pinheiros como microescala, estação de Santo André, representativa de média escala, já a estação de Ibirapuera, para MP₁₀ classificada como média escala e para os demais poluentes como escala urbana. Estações com representatividade espacial de microescala são representativas de áreas com dimensão de até 100 metros; de média escala são representativas de blocos de áreas urbanas; de escala bairro são representativas de bairros urbanos e finalmente de escala urbana são consideradas representativas de cidades ou regiões metropolitanas (Decreto Estadual n° 59.113/2013).

Outro aspecto limitante e de confusão dos resultados é a dinâmica de movimentação da população pela região urbana. Por exemplo, pessoas residentes na região leste da RMSP deslocam-se rotineiramente para a cidade de São Paulo durante o dia e vice-versa. Assim são expostas a diferentes concentrações de poluentes. Da mesma forma, que não necessariamente buscam atendimento médico em hospitais próximos as suas residências e vice-versa. Esse dinamismo justifica a realização da análise para a RMSP e São Paulo e as diferenças encontradas. Além disso, é esperado um menor efeito à saúde da população da RMSP, pois as concentrações dos poluentes primários de forma geral tendem a ser menores em locais mais afastados da região altamente urbanizada, ou seja, São Paulo.

O grupo de idosos mostrou-se mais sensível aos efeitos dos poluentes, principalmente na cidade de São Paulo. Foi verificado que o O₃ e MP₁₀ tem influência na ocorrência de doenças circulatórias, já as doenças respiratórias foram relacionadas com O₃ e NO₂. Ambas doenças

apresentaram internações durante todo ano, porém os meses de julho, agosto e setembro registraram os maiores números de internações. Resultados semelhantes foram encontrados por outros autores (Gouveia et al., 2003; Gouveia et al., 2006).

Para o grupo de crianças foi observada associação entre as internações respiratórias e o ozônio, somente na cidade de São Paulo. Prévios estudos desenvolvidos em São Paulo também identificaram associações com o O₃, além de outros poluentes. Gouveia e Fletcher (2000) associaram um incremento do 10º ao 90º percentil de NO₂ à um aumento de 6% nas admissões respiratórias, para o ozônio o aumento foi estimado em 5%. Estudo desenvolvido por Freitas et al. (2004) relacionou os poluentes MP₁₀, O₃ e CO à ocorrência de morbidade respiratória infantil. Um acréscimo de 10% nas internações mostrou-se associado a um aumento nos níveis de MP₁₀ do 10º ao 90º percentil. Para a RMSP nenhuma associação entre a morbidade infantil e as variáveis explicativas foi verificada.

Diversos autores concordam que a exposição ao O₃, MP₁₀ e NO₂ pode provocar implicações à saúde humana e entre os efeitos mais relatados estão falta de ar, tosse, irritação nos olhos, irritação das vias aéreas. Sabe-se também que repetidas exposições aos poluentes podem afetar defesas pulmonares; agravar sintomas de doenças pré-existentes, como a asma; promover efeitos no sistema cardiovascular; promover danos na mucosa nasal; redução da função pulmonar; entre variados outros efeitos (WHO, 2006; Künzli et al.; 2010).

Como grande parte da poluição na cidade de São Paulo e em toda a região metropolitana é proveniente de fontes móveis, altas concentrações de MP₁₀, CO, NO_x e O₃ são encontradas no ar ambiente (Saldiva et al., 1995). No ano de 2011, os veículos contribuíram com 97% das emissões de CO na RMSP, 82% de NO_x, 40% de MP, 36% de SO_x e 77% de HC. Os veículos pesados tiveram grande contribuição nas emissões de NO_x (67% do total), importante precursor do ozônio (CETESB, 2011).

Tanto em São Paulo como na RMSP, as maiores concentrações de ozônio foram observadas desde o final do inverno até o início do verão, sendo a primavera onde foram encontrados os maiores picos e ultrapassagens do padrão de qualidade do ar (160 µg/m³). Fato preocupante, devido aos problemas causados à saúde, uma vez que em dias ensolarados, a população passa mais tempo em locais abertos, aumentando sua exposição ao poluente.

Além de interações com os poluentes, as internações mostraram associação com os anos de 2010 e 2011, sendo esta, influenciada por uma junção de fatores: poluição e condições meteorológicas.

O inverno do ano de 2010 esteve entre os mais desfavoráveis à dispersão de poluentes na RMSP, principalmente devido à falta de chuvas (CETESB, 2011). A Figura a seguir apresenta as condições de 2010 quanto a temperatura e precipitação (Figura 32).

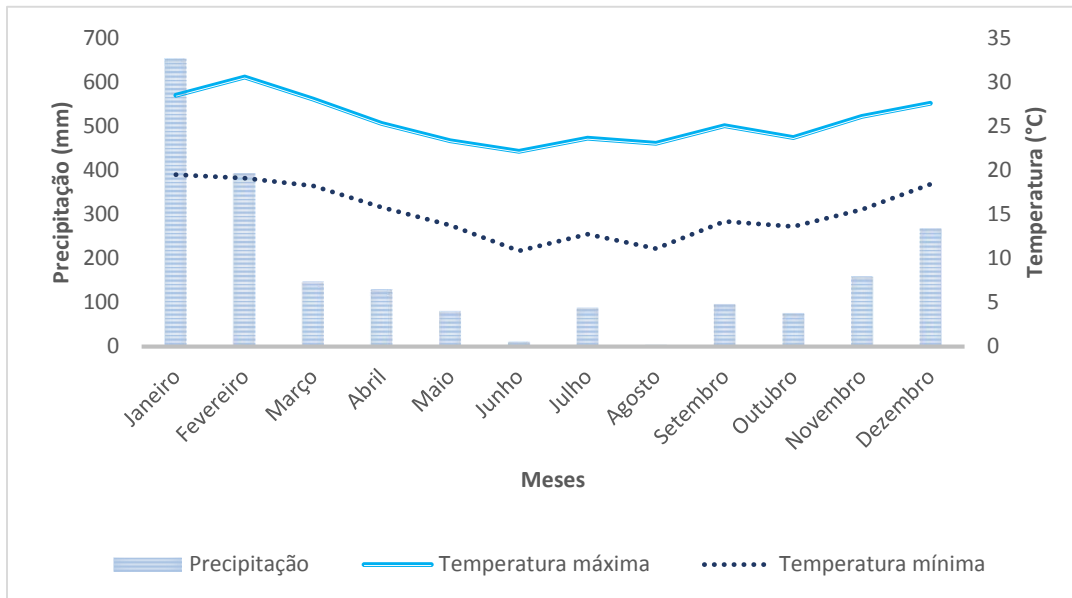


Figura 32. Precipitação e temperaturas médias mensais na RMSP no ano de 2010.

Os meses de junho, julho e agosto estiveram entre os mais secos. De acordo com a CETESB (2011), no ano de 2010 houve a atuação do fenômeno La Niña, o que favoreceu a estiagem, formação de inversões térmicas, ventos fracos e temperaturas elevadas, contribuindo com altas concentrações ozônio e material particulado.

As temperaturas máximas estiveram próximas aos 30°C, e como consequência da falta de chuvas, a umidade relativa do ar também registrou valores abaixo do recomendado (20%). A união destes fatores pode colaborar com o agravamento de doenças, principalmente, respiratórias.

O ano de 2011 apresentou condições muito similares ao ano de 2010 (Figura 33). Períodos de estiagem, principalmente nos meses de julho e setembro, e altas temperaturas. Conforme relatório da qualidade do ar da CETESB (2012), o inverno de 2011 apresentou 56 dias desfavoráveis à dispersão de poluentes, sendo registrado na RMSP aumento nas ultrapassagens do padrão de ozônio em relação ao ano anterior.

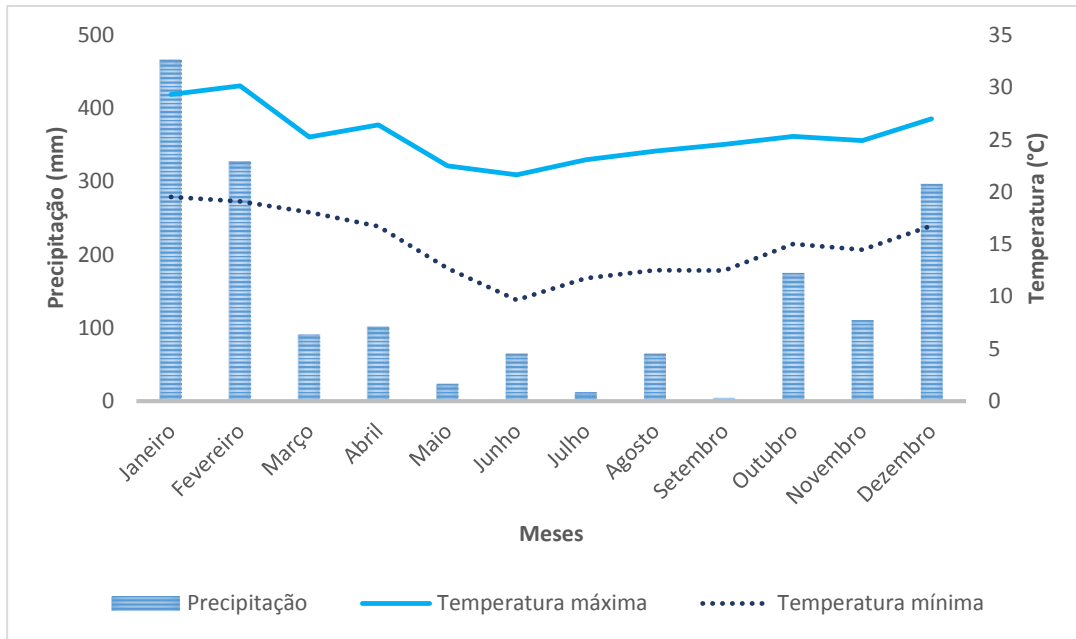


Figura 33. Precipitação e temperaturas médias mensais na RMSP no ano de 2011.

Sendo assim, quando associadas aos anos de 2010 e 2011, as internações podem estar indiretamente relacionadas às elevadas concentrações de poluentes, mesmo que interações individuais não tenham sido observadas.

As variáveis temperatura e umidade também exerceram um papel de risco nos desfechos em idosos e crianças. Seja de forma benéfica ou maléfica, o clima e as diferentes variações de tempo são fatores ambientais que podem influenciar o organismo humano (Murara e Amorim, 2010). Determinadas enfermidades podem estar mais sujeitas de ocorrer com variações de temperatura, baixa umidade, ondas de calor, etc.

Para Coelho e Saldiva (2011), variáveis meteorológicas não devem ser utilizadas apenas como variáveis de controle nos estudos, visto que a saúde é afetada não somente pela poluição mas também por fatores climáticos extremos. O bem estar dos indivíduos pode ser influenciado por fatores como a temperatura, precipitação, umidade, ventos, entretanto não são as únicas causas de agravo à saúde. Quando combinados ao estilo de vida da pessoa, podem contribuir com o agravo de determinados desfechos de saúde (Murara e Amorim, 2011).

Em estudo desenvolvido por Koken et al. (2003) foi verificado que altas temperaturas podem influenciar na frequência da ocorrência de internações por infarto do miocárdio e insuficiência cardíaca congestiva, já para aterosclerose coronariana e doença pulmonar cardíaca, atuam de forma contrária, na diminuição dos casos. Gouveia et al. (2003) encontraram

associações entre mortalidade respiratória e circulatória e altas e baixas temperaturas, principalmente para grupo de idosos e crianças. Para aumento de 1°C em temperaturas acima de 20°C, observou-se um aumento de 2,6% na mortalidade infantil.

Outros estudos sugerem que as variáveis meteorológicas podem modificar os efeitos dos poluentes na saúde, seja em altas ou baixas temperaturas (Wong et al., 1999; Wong et al.; 2014, Morris e Naumova, 1998). De acordo com Gordon (2003), altas temperaturas podem deixar as pessoas mais vulneráveis aos efeitos dos poluentes.

A baixa umidade do ar pode promover sensação de desconforto, alergias, ressecamento de pele, olhos, além de piora nos sintomas de doenças respiratórias existentes, ou em outras vezes, contribuir com a aparecimento das mesmas. Mecanismos de defesa do aparelho respiratório podem sofrer prejuízos com a baixa umidade, o que pode aumentar a probabilidade de entrada de partículas inaladas e promover infecções (Lopes et al., 2010).

5.2 Risco atribuível

O cálculo do risco atribuível foi utilizado como forma de determinar o número de admissões hospitalares, por doenças respiratórias e circulatórias, atribuídas às concentrações dos poluentes O₃ e MP₁₀, como já mencionado.

A seguir são apresentados os resultados para as cidades que foram destaque em termos de número de admissões hospitalares associadas aos poluentes MP₁₀ e O₃ (Tabelas 16 e 17). Tais resultados estão ponderados de acordo com a população de cada cidade em cada ano utilizado, conforme descrito na metodologia.

Os resultados com o número de casos de internações ocorridas em cada cidade da RMSP avaliada e o número de hospitalizações associadas à poluição do ar, no período de 2008 à 2011 estão apresentados no Apêndice I.

Tabela 16. Contribuição percentual das principais cidades em relação ao número total de internações respiratórias e circulatórias ocorridas na RMSP no período de 2008 à 2011.

Município	Ano	Internações circulatórias e respiratórias
São Paulo	2008	57%
	2009	57%
	2010	58%
	2011	58%
	2008	7%
Guarulhos	2009	7%
	2010	6%
	2011	6%
	2008	4%
São Bernardo do Campo	2009	4%
	2010	4%
	2011	4%

Tabela 17. Porcentagem do número de internações associadas ao O₃ e MP₁₀ para a cidade de São Paulo em relação ao total ocorrido na RMSP no período de 2008 à 2011.

Municípios	Ano	O ₃		MP ₁₀	
		Internações circulatórias	Internações respiratórias	Internações circulatórias	Internações respiratórias
São Paulo	2008	57%	57%	57%	57%
	2009	58%	58%	58%	58%
	2010	58%	58%	58%	58%
	2011	58%	58%	58%	58%

5.2.1 Discussão dos resultados do risco atribuível

Uma parcela significativa das internações efetivadas na RMSP é decorrente de problemas circulatórios, correspondendo a 11% do total das internações ocorridas de 2008 à 2011. As internações por doenças respiratórias correspondem a aproximadamente 10% do total no mesmo período.

Por meio do cálculo do risco atribuível foi verificado que os poluentes O₃ e MP₁₀ estão principalmente relacionados à casos de internação por problemas respiratórios. Das 396.722 internações, para 2008 à 2011, o poluente ozônio esteve associado à 12.299 casos, já o poluente material particulado, relacionado à 6.300 internações. Para internações por problemas circulatórios, foram observados 454.664 casos no período de estudo, dos quais, 5.048 relacionados ao MP₁₀ e 4.872 ao O₃. Portanto, embora o número de internações por problemas circulatórios tenha sido maior que por causas respiratórias, o risco atribuível associado aos poluentes O₃ e MP₁₀ apresentou-se maior por doenças respiratórias.

As cidades com o maior número de casos de internação, associados aos poluentes MP₁₀ e O₃, foram São Paulo, Guarulhos e São Bernardo do Campo. A cidade de São Paulo chegou a apresentar no ano de 2011, 3.000 casos de internações respiratórias associadas ao poluente ozônio. Devido a sua grande frota veicular e histórico problema com a poluição do ar, já era esperado que a capital do Estado fosse sobressair-se nos resultados (Martins et al., 2001, Arbex et al., 2011).

O problema da cidade de Guarulhos pode estar associado à proximidade com grandes rodovias de intenso fluxo veicular, como a Via Dutra e a Fernão Dias, e a presença do aeroporto internacional de Guarulhos, onde são utilizadas grandes quantidades de combustíveis fósseis e a ressuspensão de partículas do solo, devido ao movimento dos aviões, é significativa (Campos e Tomaz, 2009). Na cidade de São Bernardo do Campo a presença da indústria automobilística é um potencial fator na alteração da qualidade do ar local. Além disso, indústrias de autopeças, tintas, entre outras, que dão suporte a indústria automobilística também têm sua parcela de contribuição. A proximidade com Cubatão é uma possível hipótese de cooperação com os níveis de poluição (Sánchez-Ccoyllo et al., 2000).

Os casos de hospitalizações associadas ao ozônio apresentaram tendência de aumento ao longo dos anos. Para as internações associadas ao material particulado, tanto por doenças respiratórias como circulatórias, o ano de 2009 foi exceção, apresentando queda nos valores em relação ao ano anterior, porém nos anos seguintes, observou-se um aumento expressivo. De acordo com a CETESB (2010), devido ao programa de controle de emissões veiculares e as condições favoráveis à dispersão, houve uma redução nas concentrações do poluente MP_{10} no ano de 2009.

Ostro (2004) igualmente propôs o cálculo da fração atribuível para populações expostas às concentrações de material particulado (MP_{10} e $MP_{2,5}$). Em estudo desenvolvido na cidade de Bangkok, na Tailândia, o autor determinou que para uma população de 6 milhões de habitantes, cerca de 1.580 mortes prematuras poderiam estar relacionadas a exposição ao MP_{10} . Para dados infantis (< 5 anos), utilizando uma fração de risco atribuível de 0,091, 8 mortes anuais por infecções respiratórias agudas estariam associadas ao MP_{10} . De acordo com Ostro (2004), avaliar as consequências da exposição aos poluentes atmosféricos pode contribuir na definição de prioridades de controle de emissões.

Utilizando-se de metodologia de risco atribuível similar, Nagpure et al. (2014) determinaram o excesso de casos de mortalidade e hospitalizações associados aos poluentes SO_2 , NO_2 e MPS (material particulado em suspensão) em vários distritos do território nacional da capital Délhi. Entre o período de 1991 e 2010, altas concentrações de NO_x e material particulado foram relacionadas a grande parte das hospitalizações por Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) e mortalidade respiratória e cardiovascular. O distrito de North West Délhi apresentou, no ano de 2010, mais de 6.000 casos de internação por DPOC associados à poluição do ar. Em todo o território nacional, mais de 26.000 casos de internação

por DPOC no ano de 2010 foram atribuídos à poluição, 6.374 casos de mortalidade cardiovascular e 2.701 por mortalidade respiratória.

Os trabalhos citados mostram em termos absolutos o número de internações e mortes associadas à poluição do ar, entretanto, a comparação entre os resultados é dificultada por serem locais com realidades diferentes. Cada estudo avaliou uma localidade com características de poluentes, população e condições socioeconômicas distintas, no entanto, em ambos os estudos apontam para efeitos negativos sobre a saúde da população pela exposição ao ar poluído.

5.3 Distribuição espacial

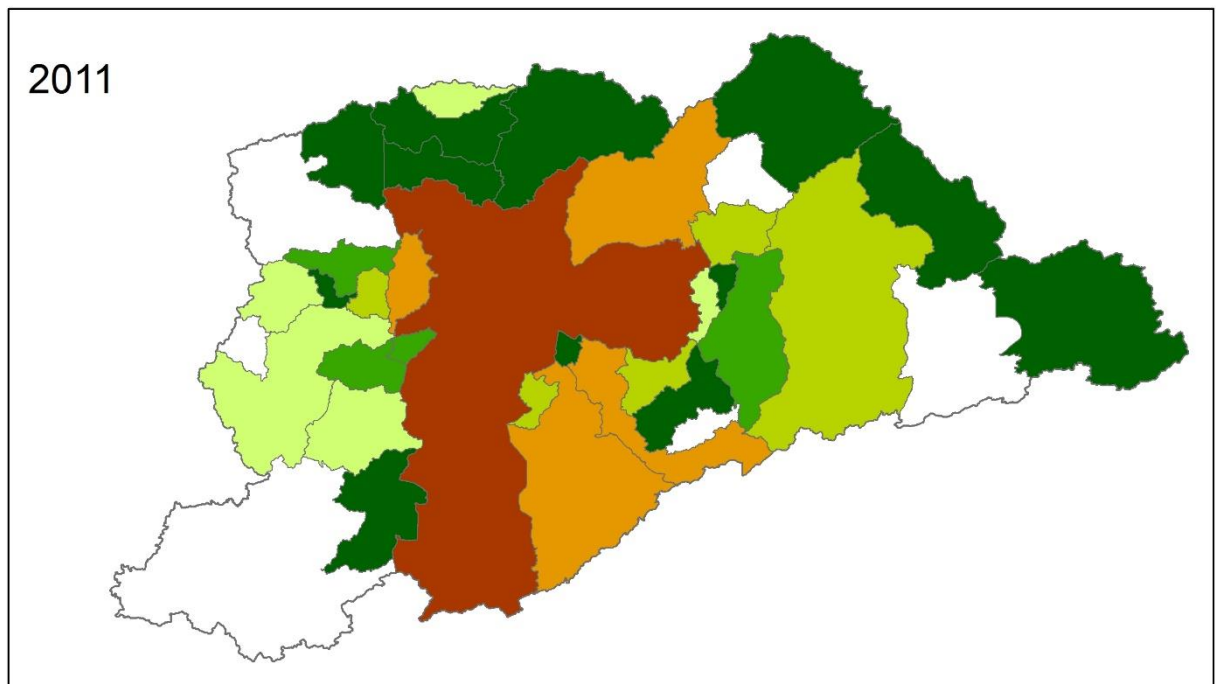
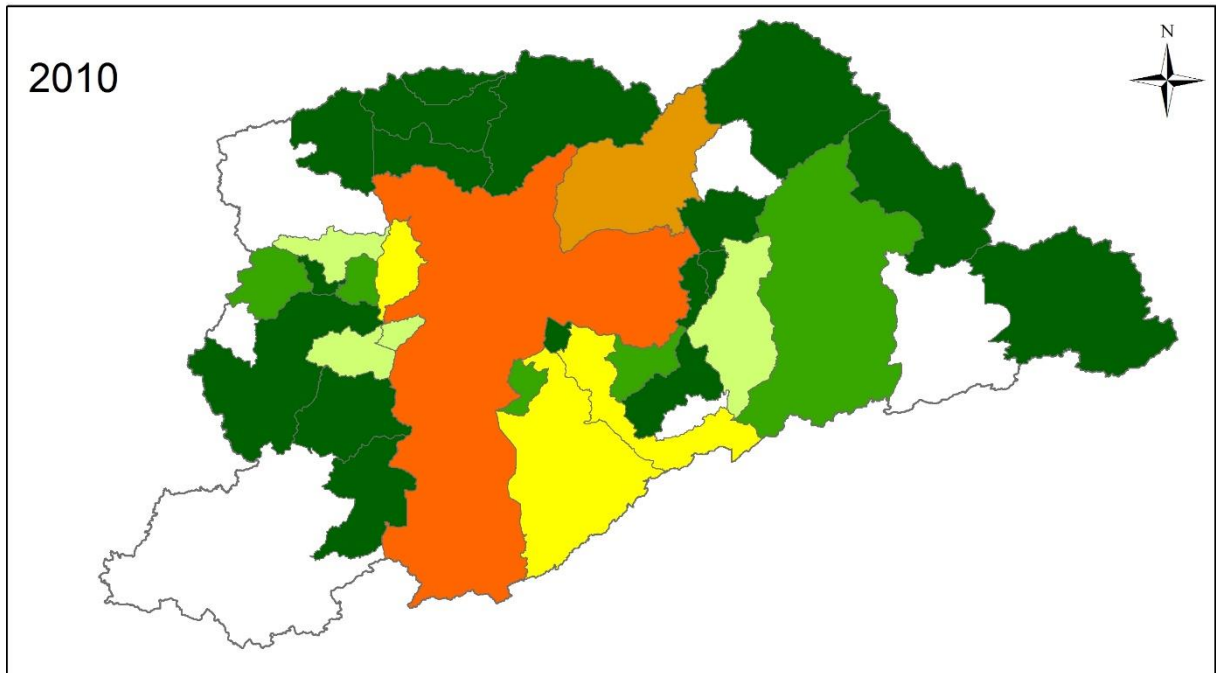
A distribuição espacial foi utilizada como um recurso para melhor visualização dos resultados obtidos na etapa do risco atribuível. Foi construída uma distribuição espacial das internações atribuídas às concentrações de O_3 e MP_{10} , para a RMSP, nos anos de 2008 à 2011.

Foram criadas escalas de acordo com os números de internações obtidos, com diferenciação por cores. O verde mais escuro representa os locais com menores números de hospitalizações e a cor cereja os locais com maiores quantidades.

A cidade de São Paulo apresentou o maior número de internações em todos os anos avaliados, seja por doenças respiratórias ou circulatórias. O destaque da capital é facilmente visualizado nas imagens da distribuição apresentadas no Apêndice II. Outras grandes cidades, como Osasco e Santo André, apresentaram um notável aumento no número de internações ao longo dos anos, principalmente por doenças respiratórias associadas ao ozônio.

Cidades menores, como Guararema e Salesópolis, apresentaram pouca alteração no número de internações no período de 2008 à 2011. Salesópolis chegou ao número máximo de 4 internações em 2011, sendo por doenças respiratórias associadas ao ozônio.

A Figura 34 mostra a distribuição espacial do número de internações por doenças respiratórias atribuídas ao O_3 para os anos de 2010 e 2011. Nesta pode ser observada o destaque da capital São Paulo e o nítido aumento do número de casos de 2010 para 2011, para várias localidades. A totalidade das imagens da distribuição espacial, de acordo com morbidade e poluente, está apresentada no Apêndice II.



Legenda

0 5 10 20 30 40
 km

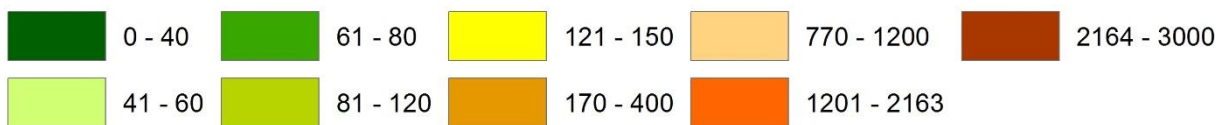


Figura 34. Distribuição espacial do número de internações respiratórias atribuídas ao O₃ na RMSP, 2010 e 2011.

5.4 Despesas de saúde

O custo de saúde obtido é referente às despesas hospitalares atribuídas aos poluentes MP₁₀ e O₃, calculado, multiplicando o número de internações efetuadas pelo valor pago por internação, conforme já explicitado. A internação é considerada quando o paciente ocupa um leito hospitalar por um período igual ou maior que 24 horas. Nesses casos, determinado valor é repassado pelo SUS ao hospital, o valor médio considerado no presente estudo foi de R\$ 1.230,15.

O valor resultante para o período de 2008 à 2011 foi de R\$ 35.083.559,27 com despesas de internação por doenças respiratórias e circulatórias associadas ao O₃ e MP₁₀. A maior parcela deste montante foi despendida com hospitalizações por problemas respiratórios, R\$ 22.879.258,36. Como já verificado, o poluente ozônio mostrou-se associado à maioria das internações respiratórias, sendo cerca de 15 milhões associados apenas a este poluente.

A tabela a seguir mostra os resultados calculados para o ano de 2011 (Tabela 18). Os resultados obtidos para os anos de 2008, 2009 e 2010 estão apresentados no Apêndice III.

Tabela 18. Despesas hospitalares com internações atribuídas ao O₃ e MP₁₀, RMSP – 2011.

Município	O ₃		MP ₁₀	
	Internações circulatórias	Internações respiratórias	Internações circulatórias	Internações respiratórias
Barueri	R\$ 32.298,00	R\$ 79.317,84	R\$ 24.378,15	R\$ 29.655,62
Caieiras	R\$ 11.645,45	R\$ 28.599,06	R\$ 8.789,85	R\$ 10.692,71
Cajamar	R\$ 8.649,24	R\$ 21.240,92	R\$ 6.528,35	R\$ 7.941,63
Carapicuíba	R\$ 49.328,53	R\$ 121.141,64	R\$ 37.232,60	R\$ 45.292,85
Cotia	R\$ 27.240,62	R\$ 66.897,87	R\$ 20.560,91	R\$ 25.012,00
Diadema	R\$ 51.595,64	R\$ 126.709,23	R\$ 38.943,79	R\$ 47.374,48
Embu	R\$ 32.230,01	R\$ 79.150,88	R\$ 24.326,84	R\$ 29.593,20
Embu-Guaçu	R\$ 8.394,30	R\$ 20.614,84	R\$ 6.335,92	R\$ 7.707,55
Ferraz de Vasconcelos	R\$ 22.612,26	R\$ 55.531,49	R\$ 17.067,47	R\$ 20.762,30
Francisco Morato	R\$ 20.722,39	R\$ 50.890,30	R\$ 15.641,02	R\$ 19.027,04
Franco da Rocha	R\$ 17.713,96	R\$ 43.502,17	R\$ 13.370,29	R\$ 16.264,74
Guararema	R\$ 3.471,83	R\$ 8.526,17	R\$ 2.620,50	R\$ 3.187,79
Guarulhos	R\$ 163.777,28	R\$ 402.206,34	R\$ 123.617,19	R\$ 150.378,28
Itapecerica da Serra	R\$ 20.497,99	R\$ 50.339,22	R\$ 15.471,64	R\$ 18.821,00
Itapevi	R\$ 27.049,15	R\$ 66.427,65	R\$ 20.416,39	R\$ 24.836,20
Itaquaquecetuba	R\$ 43.222,72	R\$ 106.146,90	R\$ 32.624,00	R\$ 39.686,56
Jandira	R\$ 14.554,69	R\$ 35.743,60	R\$ 10.985,71	R\$ 13.363,94
Mairiporã	R\$ 10.961,90	R\$ 26.920,36	R\$ 8.273,91	R\$ 10.065,08
Mauá	R\$ 55.925,37	R\$ 137.342,25	R\$ 42.211,82	R\$ 51.349,99
Mogi das Cruzes	R\$ 52.076,31	R\$ 127.889,67	R\$ 39.306,59	R\$ 47.815,83
Osasco	R\$ 88.674,83	R\$ 217.768,78	R\$ 66.930,73	R\$ 81.420,14
Poá	R\$ 14.180,65	R\$ 34.825,02	R\$ 10.703,39	R\$ 13.020,50
Ribeirão Pires	R\$ 15.100,69	R\$ 37.084,47	R\$ 11.397,83	R\$ 13.865,27
Salesópolis	R\$ 2.089,18	R\$ 5.130,64	R\$ 1.576,89	R\$ 1.918,26
Santa Isabel	R\$ 6.767,73	R\$ 16.620,28	R\$ 5.108,21	R\$ 6.214,05
Santo André	R\$ 90.090,28	R\$ 221.244,86	R\$ 67.999,10	R\$ 82.719,78
São Bernardo do Campo	R\$ 102.275,22	R\$ 251.168,80	R\$ 77.196,15	R\$ 93.907,85
São Caetano do Sul	R\$ 19.912,15	R\$ 48.900,52	R\$ 15.029,46	R\$ 18.283,10
São Paulo	R\$ 1.502.569,41	R\$ 3.690.029,15	R\$ 1.134.121,96	R\$ 1.379.640,72
Suzano	R\$ 35.196,88	R\$ 86.436,95	R\$ 26.566,20	R\$ 32.317,34
Taboão da Serra	R\$ 32.946,63	R\$ 80.910,77	R\$ 24.867,74	R\$ 30.251,19
TOTAL	R\$ 2.583.771,32	R\$ 6.345.258,62	R\$ 1.950.200,63	R\$ 2.372.386,99

5.4.1 Discussão dos resultados de despesas de saúde

De forma geral, as despesas calculadas acompanharam a tendência crescente do número de internações, vindo a totalizar, no ano de 2011, cerca de 13 milhões de reais. O ano de 2009 apresentou pequena queda nos valores, fato este, possivelmente associado à redução da concentração do MP₁₀ em tal ano. Nos anos seguintes, os valores já voltaram a aumentar (Figura 35).

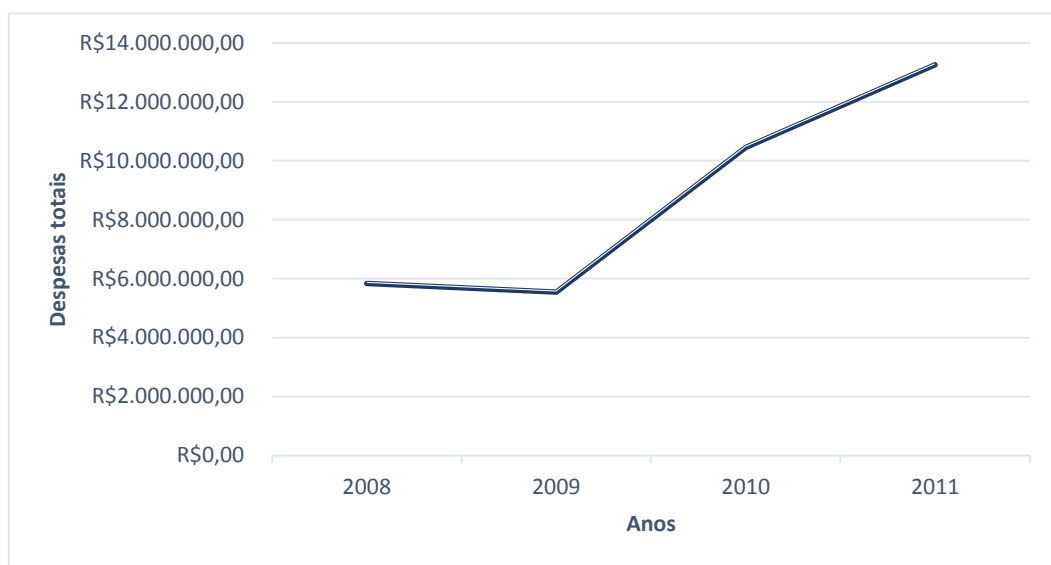


Figura 35. Valor total das despesas com internações atribuíveis aos poluentes O₃ e MP₁₀ na RMSP.

As cidades com o maior número de internações, conseqüentemente, vieram a exibir as maiores despesas ao longo dos anos. A tabela 19 apresenta os valores despendidos nas determinadas cidades. A capital São Paulo é o principal destaque, entretanto, Guarulhos e São Bernardo do Campo também exibiram altos gastos com despesas de saúde.

Tabela 19. Cidades com maiores despesas hospitalares atribuíveis aos poluentes O₃ e MP₁₀ da RMSP, 2008-2011.

Município	Despesas hospitalares calculadas			
	2008	2009	2010	2011
São Paulo	R\$ 3.333.674,13	R\$ 3.193.222,69	R\$ 6.083.602,44	R\$ 7.706.361,25
Guarulhos	R\$ 388.020,56	R\$ 375.888,11	R\$ 660.597,36	R\$ 839.979,09
São Bernardo do Campo	R\$ 243.143,40	R\$ 234.619,68	R\$ 413.806,49	R\$ 524.548,02

Diferentes metodologias são utilizadas para o cálculo do impacto econômico relacionado à poluição do ar. Da Silva et al. (2012) utilizaram o valor estimado de vida (*Value of Statistical Life - VLS*) para avaliar a mortalidade cardiorrespiratória associada ao MP₁₀. O VLS é a disposição à pagar para redução do risco de uma morte prematura, ou seja, quanto a sociedade estaria disposta a pagar para prevenção de uma morte prematura (Leung e Guria, 2006; Svensson, 2009). No estudo desenvolvido em São Paulo, Da Silva et al. (2012) estimaram gastos de mais de 18 bilhões de dólares no ano de 2003, em um cenário sem a existência de sistema de metrô na cidade.

Outra forma indireta de computar os custos monetários de saúde é o Disability-Adjusted Life Years (DALY). Miraglia et al. (2005), utilizaram esta metodologia para estimar as despesas derivadas da poluição do ar na cidade de São Paulo. De acordo com os autores, o DALY foi elaborado como uma forma de padronização mundial das estimativas de custo de saúde. Dois componentes devem ser considerados: o tempo de vida perdido por morte prematura (*Years of Life Lost - YLL*) e o tempo vivido sem perfeita saúde (*Years of Life Lived with Disability - YLD*). Os resultados indicaram 28.212 anos de vida perdidos e vividos em estado diferente da perfeita saúde, para crianças e idosos entre 1991 e 1994 em São Paulo. Para a estimativa dos custos foi considerado valor de VLS de 7.714 dólares. Tal valor, multiplicado pelo DALY obtido resultou em um custo com despesas de saúde de cerca de 3 milhões de dólares.

Apesar dos estudos citados também calcularem despesas de saúde, diferenças no período de estudo, local de estudo, poluentes avaliados e metodologia, restringem a comparação entre os resultados. Entretanto, todos trazem uma referência de magnitude do impacto proporcionado pela exposição à poluição atmosférica.

Mensurar as despesas econômicas relacionadas à poluição do ar pode servir como uma importante ferramenta para decisões estratégicas, sejam elas com intuito de diminuir as taxas de poluição atmosférica ou de maximizar a aplicação dos recursos de saúde. Quanto maior a

despesa com saúde, maior o gasto do governo e conseqüentemente, mais gastos para a população.

5.5 Comentários gerais

Os registros utilizados são provenientes do SUS, desta forma, os resultados apresentados representam os efeitos da poluição na parcela da população que utiliza o serviço, ou seja, a grande maioria do país. Os registros computados na base de dados do SUS são realizados com fins de controle e contagem, sendo assim, são passíveis de erros, podem apresentar problemas de precisão. Outro possível problema relacionado a base de dados é a dupla contagem do mesmo paciente, visto que não são identificadas reinternações.

Pelo fato de não serem disponibilizadas informações individuais de cada paciente, como local de residência, por exemplo, não é possível saber se o indivíduo internado em determinada cidade foi realmente exposto aos níveis de poluição daquele local. O paciente pode residir em um município e vir a adoecer em outro. Esta limitação também foi fator determinante na opção pela expansão do estudo para toda a RMSP, mesmo com as estações de monitoramento da qualidade do ar, na maioria, concentradas na cidade de São Paulo.

Outro fator limitante ao estudo foi a utilização de séries mensais de dados, uma vez que dados diários de internação não foram disponibilizados. Com a utilização de valores diários é possível analisar se o efeito da poluição apresenta um comportamento de defasagem de tempo. As manifestações dos efeitos da poluição na saúde humana apresentam uma certa defasagem em relação à exposição da pessoa aos agentes poluidores (Gouveia et al., 2006). Sendo assim, as internações podem estar associadas a poluição observada no mesmo dia e também em vários dias subsequentes (Coelho et al., 2010). Porém, com a utilização de séries mensais analisamos os efeitos crônicos, decorrentes de diversas exposições à poluição atmosférica.

Embora as análises tenham sido realizadas para três poluentes e enfatizados os efeitos individuais, a poluição do ar é formada por uma mistura de substâncias, prejudiciais ou não à saúde, sendo tarefa complexa conferir os efeitos na saúde a somente um poluente. Os poluentes podem também apresentar sinergia, os efeitos em conjunto são potencializados em relação aos efeitos individuais. No entanto, as interações entre poluentes não foram consideradas nas análises.

De qualquer forma, as análises realizadas no presente estudo foram satisfatórias para a previsão das internações. Os resultados mostram-se bastante expressivos e dentro da realidade proposta em outros trabalhos. Embora, tanto para as internações relacionadas à poluição como para as despesas de saúde, os valores obtidos podem apresentar-se conservadores.

Estudos como o presente podem servir de base para a elaboração de políticas públicas e tomada de decisões que visem a melhora da qualidade de vida da população. Lembrando que a saúde humana é também influenciada por fatores como nutrição, genética, condição social, gênero, cultura, higiene, entre outros (WHO, 2006).

6 CONCLUSÕES

As análises realizadas no presente trabalho evidenciaram através de um modelo ajustado ao conjunto de dados a associação entre os poluentes, variáveis meteorológicas e as interações por doenças respiratórias e circulatórias.

O risco atribuível ao O_3 e MP_{10} é maior para doenças respiratórias do que circulatórias. Além disso, pelas estimativas de despesas públicas de saúde, confirmou-se o grande impacto econômico vinculado à poluição do ar.

Diversos fatores que influenciam à saúde humana não foram levados em consideração no presente estudo, tais como: nutrição, genética, condição social, gênero, higiene, entre outros. Entretanto, os resultados obtidos conseguiram prever em termos quantitativos o risco oferecido à população pela poluição atmosférica, mesmo quando os padrões de qualidade do ar não são ultrapassados.

O Modelo Linear Generalizado com distribuição Binomial Negativa foi o que melhor se ajustou ao conjunto de dados reais, sendo fundamental a avaliação. O modelo ajustado possibilita a avaliação do impacto no número de hospitalizações para cenários futuros de temperatura, umidade relativa e concentrações de O_3 e MP_{10} para a região estudada.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, L. G. **Ethanol fuel use in Brazil: air quality impacts**. Energy and Environmental Science, p. 1015 -1037, 2009.

ANDRADE, M. F.; MIRANDA, R.M.; FORNARO, A.; KERR, A.; OYAMA, B.; ANDRE, P.A.; SALDIVA, P. **Vehicle emissions and PM_{2,5} mass concentration in six Brazilian cities**. Air Quality, Atmosphere and Health, v. 5, 2012.

ARBEX, M. A.; SANTIAGO, S.L.; MOYSES, E.P.; PEREIRA, L.A.; SALDIVA, P.H.; BRAGA, A.L.F. **Impact of urban air pollution on acute upper respiratory tract infections**. In: Prof. Anca Moldoveanu (Ed). Advanced Topics in Environmental Health and Air Pollution Cases Studies. InTech, 2011.

ARBEX, M. A. SANTOS, U. DE P. S., MARTINS, L. C., SALDIVA. P. H. N., PEREIRA, L. A. A., BRAGA, A. L. F. **A Poluição do ar e o sistema respiratório**. Jornal Brasileiro de Pneumologia, v. 38, n. 5, p. 643-655, 2012.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia das trópicos**. 15 Ed. Bertrand Brasil, 350 p., 2011.

BANCO DE SAÚDE. CID 10 - **Classificação Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde**. Disponível em:< <http://cid10.bancodesaude.com.br/cid-10/capitulos>>. Acesso em: 10 set. 2014.

BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. H. N. **Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana**. Trabalho apresentado no evento de sustentabilidade na geração e uso de energia, UNICAMP,2002.

BRASIL. Decreto Estadual nº 59.113, de 23 de Abril de 2013. Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providencias correlatadas. Diário Oficial, São Paulo, SP, 24 abril de 2013. Seção I, p. I.

CADERNOS CEDEC – CENTRO DE ESTUDOS DA CULTURA CONTEMPORÂNEA. **Poluição do ar em São Paulo e resposta da ação pública**. Cedec, n. 60, 1997.

CAMPOS, J.H.J.; TOMAZ, E. **Poluição atmosférica no Aeroporto de Guarulhos - SP**. In: 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009, Recife - PE. Anais do 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009.

CANÇADO, J.E.D.; BRAGA, A.; PEREIRA, L.A.A.; ARBEX, M.A.; SALDIVA, P.H.N.; SANTOS, U.D.P. **Repercussões clínicas da exposição à poluição do ar**. *Jornal Brasileiro de Pneumologia, Supl. 1*, p. S5-S11, 2006.

CARVALHO, V.S.B.; FREITAS, E.D.; MARTINS, L.D.; MARTINS, J.A.; MAZZOLI, C.R.; ANDRADE, M.F. **Air quality status and trends over the Metropolitan Area of São Paulo, Brazil as a result of emission control policies**. *Environmental Science & Policy*, v. 47, p. 68-79, 2015.

CETESB, 2008. **Relatório de qualidade do ar do estado de São Paulo 2007**. Série Relatórios/Cetesb, São Paulo, 2008, 284 p. (ISSN 0103-4103).

CETESB, 2009. **Relatório de qualidade do ar do Estado de São Paulo 2008**. Série Relatórios/Cetesb, São Paulo, 2009, 340 p. (ISSN 0103-4103).

CETESB, 2010. **Relatório da qualidade do ar no estado de São Paulo 2009**. Série Relatórios/CETESB, São Paulo, 2010, 120 p. (ISSN 0103-4103).

CETESB, 2011. **Relatório da qualidade do ar no estado de São Paulo 2010**. Série Relatórios/CETESB, São Paulo, 2011, 234 p. (ISSN 0103-4103).

CETESB, 2012. **Relatório da qualidade do ar no estado de São Paulo 2011**. Série Relatórios/CETESB, São Paulo, 2012, 120 p. (ISSN 0103-4103).

CETESB, 2012. **Ficha de informação toxicológica – Monóxido de carbono**. CETESB, Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental, 2012.

CETESB, 2014. **Dados do relatório de emissões veiculares 2013**. Disponível em:< <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/emissao-veicular/48-relatorios-e-publicacoes>>. Acesso em: janeiro/2015.

CETESB, 2014. **Relatório de qualidade do ar do estado de São Paulo 2013**. Série Relatórios/Cetesb, São Paulo, 2008, 110 p. (ISSN 0103-4103).

CETESB, 2014. **Classificação da representatividade espacial das estações de monitoramento da qualidade do ar da Cetesb no estado de São Paulo, segunda etapa**. CETESB, 2014.

CIDADES PAULISTAS, 2015. **Região de São Paulo ou Região Metropolitana de São Paulo**. Disponível em:< <http://www.cidadespaulistas.com.br/>>. Acesso em: 9 jan. 2015.

COMIN, A.; AMITRANO, C. **Economia e emprego: a trajetória recente da Região Metropolitana de São Paulo**. Novos Estudos, n. 66, 2003.

COELHO, M. S. Z. S. **Uma análise estatística com vistas a previsibilidade de internação por doenças respiratórias em função de condições meteorológicas na cidade de São Paulo**. 2007. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas. São Paulo, 2007.

COELHO, M.D.S.Z.S.; GONÇALVES, F.L.T.; LATORRE, M.R.D.O. **Statistical analysis aiming predicting respiratory tract disease hospital admissions from environmental variables in the city of São Paulo**. Journal of Environmental and Public Health, 11 p., 2010.

COELHO, M. DE S. Z. S.; SALDIVA, P. H. N. **Use of the “urban air index” to estimate morbidity and mortality in large cities: case study São Paulo, Brazil**. 19th Congress International of 442 Biometeorology. Auckland, 2011.

CONCEIÇÃO, G.M.S.; SALDIVA, P.H.N.; SINGER, J.M. **Modelos MLG E MAG para análise da associação entre poluição atmosférica e marcadores de morbi-mortalidade: Uma introdução baseada em dados da cidade de São Paulo**. Revista Brasileira de Epidemiologia, v. 4, n. 3, 2001.

CORDEIRO, G.M.; DEMÉTRIO, C.G.B. **Modelos lineares generalizados**. In: Minicurso 12º SEAGRO e 52º Reunião Anual RBRAL, UFMS, Santa Maria. Departamento de Ciências Exatas, ESALQ, USP, 2007.

DA SILVA, C.B.P.; SALDIVA, P.H.N.; AMATO-LOURENÇO, L.F.; RODRIGUES-SILVA, F.; MIRAGLIA, S.G.E.K. **Evaluation of the air quality benefits of the subway system in São Paulo, Brazil**. Journal of Environmental Management, v. 101, p. 191-196, 2012.

DATASUS – Departamento de Informática do SUS. **Internações hospitalares do SUS por local de internação – Notas técnicas**. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/sih/rxdescr.htm>>. Acesso em: 15 ago. 2014.

DEMÉTRIO, C.G.B. **Modelos lineares generalizados em experimentação agrônoma**. Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2002.

DOBSON, ANNETTE J. **An introduction to generalized linear models – 2nd ed**. Chapman & Hall/CRC texts in statistical science series, 2002.

DOCKERY, D.W.; POPE III, C.A. **Acute respiratory effects of particulate air pollution.** Annual Review of Public Health, v. 15, p. 107-132, 1994.

EPA – United States Environmental Protection Agency. **What are the six common air pollutants?** Disponível em: < <http://epa.gov/airquality/urbanair/>>. Acesso em: 10 dez. 2014.

FREITAS, E. D. **Circulações locais em São Paulo e sua influência sobre a dispersão de poluentes.** 2003. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas. São Paulo, 2003.

FREITAS, C.F.; BREMNER, S.A.; GOUVEIA, N.; PEREIRA, L.A.A.; SALDIVA, P.H.N. **Internações e órbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997.** Revista de Saúde Pública, 2004.

FREITAS, E. D.; ROZOFF, C. M.; COTTON, W. R.; SILVA DIAS, P. L. **Interactions of an urban heat island and sea breeze circulations during winter over the Metropolitan Area of São Paulo - Brazil.** Boundary - Layer Meteorology, v. 122(1), p. 43-65, 2007.

GONÇALVES, F.L.T.; CARVALHO, L.M.V.; CONDE, F.C.; LATORRE, M.R.D.O.; SALDIVA, P.H.N.; BRAGA, A.L.F. **The effects of air pollution and meteorological parameters on respiratory morbidity during summer in São Paulo City.** Environmental International, p. 343-349, 2005.

GORDON, C.J. **Role of environmental stress in the physiological response to chemical toxicants.** Environmental Research, v. 92, p. 1-7, 2003.

GOUVEIA, N.; FLETCHER, T. **Respiratory diseases in children in outdoor air pollution in São Paulo, Brazil: a time series analysis.** Occupational and Environmental Medicine, v. 57, p. 477-483, 2000.

GOUVEIA, N.; MENDONÇA, G.A.S.; LEON, A.P.; CORREIA, J.E.M.; FREITAS, C.U.; DAUMA, R.P.; MARTINS, L.C.; GIUSSEPE, L.; CONCEIÇÃO, G.M.S.; MANERICH, A.; CUNHA-CRUZ, J. **Poluição do ar e efeitos na saúde das populações de duas grandes metrópoles brasileiras.** Epidemiologia e Serviços da Saúde, 2003.

GOUVEIA, N.; HAJAT, SHAKOOR.; ARMSTRONG, B. **Socioeconomic differentials in the temperature-mortality relationship in São Paulo, Brazil.** International Journal of Epidemiology, v. 32, p. 390-397, 2003.

GOUVEIA, N.; FREITAS, C.U.; MARTINS, L.C.; MARCILIO, I.O. **Respiratory and cardiovascular hospitalizations associated with air pollution in the city of São Paulo, Brazil.** Caderno de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 2006.

GUARIEIRO, L. L.N.; GUARIEIRO, A. L.N. **Vehicles emissions: what will change with the use of biofuel?** In: FANG, Z. (Ed.). *Biofuels – Economy, Environment and Sustainability*, 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas populacionais dos municípios 2014.** Disponível em: <
<http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=2704>>.
Acesso em: 15 ago. 2014.

JACOBI, P.; SEGURA, D.B.; KJELLÉN, M. **Governmental responses to air pollution: summary of a study of the implementation of rodizio in São Paulo.** *Environment and Urbanization*, v. 11, n. 1, 1999.

KOKEN, P.J.M.; PIVER, W.T.; YE, F.; ELIXHAUSER, A.; OLSEN, L.M.; PORTIER, C.J. **Temperature, air pollution and hospitalization for cardiovascular diseases among elderly people in Denver.** *Environmental Health Perspectives*, v. 11, n. 10, 2003.

KÜNZLI, N.; PEREZ, L.; RAPP, R. **Air quality and health.** European Respiratory Society, 2010.

LAPAE/FMUSP - Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. **Emissões atmosféricas por fontes móveis e estimativa dos efeitos na saúde em seis regiões metropolitanas brasileiras.** LAPAE/FMUSP, 2007.

LEUNG, J.; GURIA, J. **Value of statistical life: adults versus children.** *Accident Analysis and Prevention*, v. 38, p. 1208-1217, 2006.

LOGAN, W.P.D. **Mortality in the London fog incident, 1952.** *The Lancet*, 1953.

LOPES, A.J.; NORONHA, A.J.; MAFORT, T.T. **Mecanismos de defesa do aparelho respiratório.** *Revista Hospital Universitário Pedro Ernesto, UERJ*, 2010.

MARTINS, L.C.; LATORRE, M.R.D.O.; SALDIVA, P.H.N.; BRAGA, A.L.F. **Relação entre poluição atmosférica e atendimentos por infecção de vias aéreas superiores no município de São Paulo: avaliação do rodízio de veículos.** *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 4, n. 3, 2001.

MARTINS, L. D. **Sensibilidade da Formação de Ozônio Troposférico às Emissões Veiculares na Região Metropolitana de São Paulo**. 2006. 198 f. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas. São Paulo, 2006.

MEDEIROS, A.; GOUVEIA, N. **Relação entre baixo peso ao nascer e a poluição do ar no Município de São Paulo**. Revista de Saúde Pública, p. 965-972, 2005.

METZGER, K.B.; TOLBERT, P.E.; KLEIN, PEEL, J. L.; FLANDERS, W.D.; TODD, K.; MULHOLLAND, J. A.; RYAN, P.B.; FRUMKIN, H. **Ambienta ir pollution and cardiovascular emergency department visits**. Epidemiology, v. 15, n. 1, 2004.

MIRAGLIA, S.G.E.K.; SALDIVA, P.H.N.; BÖHM, G.M. **An evaluation o fair pollution health impacts and costs in São Paulo, Brazil**. Environmental Management, v. 35, p. 667-676, 2005.

MORRIS, R.D.; NAUMOVA, E.N. **Carbon monoxide and hospital admissions for congestive heart failure: evidence of an increased effect at low temperatures**. Environmental Health Perspectives, v. 106, n. 10, 1998.

MOYA, J.; BEARER, C.F.; ETZEL, R.A. **Children´s behavior and physiology and how it affects exposure to environmental contaminants**. Pediatrics, v. 113, n. 4, 2004.

MURARA, P.G.; AMORIM, M.C.C.T. **Clima e saúde: variações atmosféricas e óbitos por doenças circulatórias**. Revista Brasileira de Climatologia, 2010.

MMA, 2013. PROCONVE: **Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores**. Disponível em:< <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/controle-de-emissoes-veiculares>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

NAGPURE, A. S.; GURJAR, B.R.; MARTEL, JC. **Human health risks in national capital territory of Delhi due to air pollution**. Atmospheric Pollution Research, v. 5, 2014.

NATALINO, R.R. **Clima e saúde – Contribuição ao estudo das condições atmosféricas e relação com doenças respiratórias: subsídio às políticas públicas**. 2011. 218 f. Tese de Doutorado – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 2011.

NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R.W.M. **Generalized linear models**. Journal of the Royal Statistical Society, v. 135, n. 3, p. 370-384, 1972.

NOBRE, C.A.; YOUNG, A.F.; SALDIVA, P.; MARENGO, J.A.; NOBRE, A.D.; ALVES JR, S.; DA SILVA, G.C.M.; LOMBARDO, M. **Vulnerabilidade das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana de São Paulo**. Sumário executivo. INPE/UNICAMP/USP/IPT/UNESP-Rio Claro, 2010.

OSTRO, B. **Outdoor air pollution: assesing the environmental burden disease at national and local levels**. World Health Organization, Geneva, 2004.

PAULA, G. A. **Modelos de regressão com apoio computacional**. Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

PEEL, J. L.; TOLBERT, P.E.; KLEIN, M.; METZGER, K.B.; FLANDERS, W.D.; TODD, K.; MULHOLLAND, J. A.; RYAN, P.B.; FRUMKIN, H. **Ambient air pollution and respiratory emergency department visits**. *Epidemiology*, v. 16, n. 2, 2005.

PITTON, S.E.C.; DOMINGOS, A.E. **Tempo e doenças: efeito dos parâmetros climáticas nas crises hipertensivas nos moradores de Santa Gertrudes-SP**. *Estudos Geográficos*, Rio Claro, p. 75-86, 2004.

POPE III, C.A.; RENLUND, D.G.; KFOURY, A.G.; MAY, H.T.; HORNE, B.D. **Relation of heart failure hospitalization to exposure to fine particulate air pollution**. *The American Journal of Cardiology*, 2008.

POSADA, D.; BUCKLEY, T.R. **Model selection and model averaging in phylogenetics: advantages of Akaike information criterion and bayesian approach ove likelihood ratio tests**. *Systematic Biology*, p. 793-808, 2004.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2013. URL <http://www.R-project.org/>.

RODRIGUES-SILVA, F., SANTOS, U. DE P., SALDIVA, P. H. N., AMATO-LOURENÇO, L.F., MIRAGLIA, S. G. E. **The Risks and economic estimation of absenteeism due to air pollution in São Paulo, Brazil**. *Aerossol and Air Quality Research*, 2012.

SALDIVA, P.H.N.; POPE III, C.A.; SCHWARTZ, J.; DOCKERY, D.W.; LICHTENFELS, A.J.; SALGE, J.M.; BARONE, I.; BOHM, G.M. **Air pollution and mortality in elderly people: a time-series study in São Paulo, Brazil**. *Archives of Environmental Health*, v. 50, 1995.

SALVI, S. **Health effects of ambient air pollution in children.** Paediatric Respiratory Reviews, 2007.

SÁNCHEZ-CCYOLLO, O.R.; DIAS, P.L.S.; ANDRADE, M.F. **O transporte de poluentes emitidos em Cubatão para a Região Metropolitana de São Paulo: estudo de caso de agosto de 1999.** In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000.

SEINFELD, J.H.; PANDIS, S.N. **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change.** John Wiley & Sons, Inc., 1998.

SOUZA, C.G.; NETO, J.L.S. **Geografia da saúde e climatologia médica: ensaios sobre a relação clima e vulnerabilidade.** HYGEIA, Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde, p. 116-126, 2008.

SUBSECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO METROPOLITANO. **Região Metropolitana de São Paulo.** Disponível em: < <http://www.sdmropolitano.sp.gov.br/>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

SCHWARTZ, J. **Air Pollution and children's health.** Pediatrics, v. 113, n. 4, 2004.

SHARMA, G.; GOODWIN, J. **Effect of aging respiratory system physiology and immunology.** Clinical Interventions in Aging, 2006.

SVENSSON, M. **The value of a statistical life in Sweden: estimates from two studies using the "Certain Approach" calibration.** Accident Analysis and Prevention, v. 41, p.430-437, 2009.

TADANO, Y. S. **Análise do impacto de MP₁₀ na saúde populacional: estudo de caso em Araucária, Paraná.** 2007. 99 f. Tese de Mestrado – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação. Curitiba, 2007.

TADANO, Y. DE S., UGAYA, C. M. L., FRANCO, A. T. **Método de regressão de Poisson: Metodologia para avaliação do impacto da poluição atmosférica na saúde populacional.** Ambiente & Sociedade, Campinas, v. XII, n. 2, p. 241-255, 2009.

VORMITTAG, E.M.P.A.A.; RODRIGUES, C.G.; SALVIDA, P.H.N. **Projeção da mortalidade, internações hospitalares na rede pública e gastos públicos de saúde**

decorrentes da poluição atmosférica no Estado de São Paulo, 2012 a 2030. Instituto Saúde e Sustentabilidade, São Paulo, 2014.

WONG, T.Z.; LAU, T.S.; YU, T.S.; NELLER, A.; WONG, L.S.; TAM, W.; PANG, S.W. **Air pollution and hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases in Hong Kong.** Occupational and Environmental Medicine, v. 56, p. 679-683, 1999.

WONG, M.C.S.; TAM, W.W.S.; WANG, H.H.X; LAO, X.Q.; ZHANG, D.D.; CHAN, S.W.M.; KWAN, M. W.M.; FAN, C.K.M.; CHEUNG, C. S.K.; TONG, E.L.H.; CHEUNG, N.T.; TSE, L.A.; YU, I.T.S. **Exposure to air pollutants and mortality in hypertensive patients according to demography: a 10 year case-crossover study.** Environmental Pollution, v. 192, p. 179-185, 2014.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Monitoring ambient air quality for health impact assessment.** WHO, 1999.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Air Quality Guidelines: global update 2005.** WHO, 2006.

APÊNDICE I

As tabelas devem ser avaliadas em conjunto para um melhor entendimento dos resultados. Os dados de internação exibidos nas tabelas A1 e A2 demonstram que, por exemplo, das 585 internações por doenças circulatórias ocorridas na cidade de Poá no ano de 2008, 3 estariam associadas à exposição ao poluente ozônio e 7 ao poluente material particulado.

Tabela A1. Número de internações por classe de doença, RMSP – 2008.

Município	Internações circulatórias	Internações respiratórias
Barueri	1.394	1.244
Caieiras	457	408
Cajamar	329	294
Carapicuíba	2.046	1.827
Cotia	943	842
Diadema	2.076	1.854
Embu	1.291	1.152
Embu-Guaçu	325	290
Ferraz de Vasconcelos	927	827
Francisco Morato	817	730
Franco da Rocha	681	608
Guararema	140	125
Guarulhos	6.737	6.014
Itapeçerica da Serra	838	748
Itapevi	1.064	950
Itaquaquecetuba	1.851	1.653
Jandira	581	519
Mairiporã	408	364
Mauá	2.174	1.941
Mogi das Cruzes	1.956	1.746
Osasco	3.755	3.352
Poá	585	522
Ribeirão Pires	587	524
Salesópolis	84	75
Santa Isabel	246	219
Santo André	3.537	3.158
São Bernardo do Campo	4.222	3.769
São Caetano do Sul	796	710
São Paulo	57.880	51.671
Suzano	1.471	1.314
Taboão da Serra	1.184	1.057

Tabela A2. Número de internações associadas ao O₃ e MP₁₀, RMSP – 2008.

Município	O ₃		MP ₁₀	
	Internações circulatórias	Internações respiratórias	Internações circulatórias	Internações respiratórias
Barueri	7	19	17	22
Caieiras	2	6	6	7
Cajamar	2	4	4	5
Carapicuíba	10	27	26	33
Cotia	5	13	12	15
Diadema	10	28	26	33
Embu	6	17	16	21
Embu-Guaçu	2	4	4	5
Ferraz de Vasconcelos	5	12	12	15
Francisco Morato	4	11	10	13
Franco da Rocha	3	9	8	11
Guararema	1	2	2	2
Guarulhos	34	90	84	108
Itapecerica da Serra	4	11	10	13
Itapevi	5	14	13	17
Itaquaquecetuba	9	25	23	30
Jandira	3	8	7	9
Mairiporã	2	5	5	7
Mauá	11	29	27	35
Mogi das Cruzes	10	26	24	31
Osasco	19	50	47	60
Poá	3	8	7	9
Ribeirão Pires	3	8	7	9
Salesópolis	0	1	1	1
Santa Isabel	1	3	3	4
Santo André	18	47	44	57
São Bernardo do Campo	21	56	53	68
São Caetano do Sul	4	11	10	13
São Paulo	291	771	722	926
Suzano	7	20	18	24
Taboão da Serra	6	16	15	19

Tabela A3. Número de interações por classe de doença, RMSP – 2009.

Município	Internações circulatórias	Internações respiratórias
Barueri	1.589	1.430
Caieiras	519	467
Cajamar	374	337
Carapicuíba	2.309	2.079
Cotia	1.071	964
Diadema	2.339	2.106
Embu	1.463	1.317
Embu-Guaçu	365	329
Ferraz de Vasconcelos	1.054	949
Francisco Morato	925	833
Franco da Rocha	773	696
Guararema	159	143
Guarulhos	7.641	6.879
Itapecerica da Serra	953	858
Itapevi	1.211	1.090
Itaquaquecetuba	2.113	1.902
Jandira	659	594
Mairiporã	465	419
Mauá	2.455	2.210
Mogi das Cruzes	822	740
Osasco	4.226	3.805
Poá	661	596
Ribeirão Pires	659	593
Salesópolis	94	85
Santa Isabel	276	248
Santo André	3.960	3.565
São Bernardo do Campo	4.769	4.294
São Caetano do Sul	894	805
São Paulo	64.911	58.439
Suzano	1.672	1.506
Taboão da Serra	1.337	1.204

Tabela A4. Número de internações associadas ao O₃ e MP₁₀, RMSP – 2009.

Município	O₃		MP₁₀	
	Internações circulatórias	Internações respiratórias	Internações circulatórias	Internações respiratórias
Barueri	11	29	10	13
Caieiras	4	10	3	4
Cajamar	3	7	2	3
Carapicuíba	16	43	15	19
Cotia	7	20	7	9
Diadema	16	43	15	19
Embu	10	27	9	12
Embu-Guaçu	3	7	2	3
Ferraz de Vasconcelos	7	19	7	9
Francisco Morato	6	17	6	8
Franco da Rocha	5	14	5	6
Guararema	1	3	1	1
Guarulhos	53	141	49	63
Itapecerica da Serra	7	18	6	8
Itapevi	8	22	8	10
Itaquaquecetuba	15	39	13	17
Jandira	5	12	4	5
Mairiporã	3	9	3	4
Mauá	17	45	16	20
Mogi das Cruzes	6	15	5	7
Osasco	29	78	27	35
Poá	5	12	4	5
Ribeirão Pires	5	12	4	5
Salesópolis	1	2	1	1
Santa Isabel	2	5	2	2
Santo André	27	73	25	33
São Bernardo do Campo	33	88	30	39
São Caetano do Sul	6	16	6	7
São Paulo	449	1.195	414	537
Suzano	12	31	11	14
Taboão da Serra	9	25	9	11

Tabela A5. Número de internações por classe de doença, RMSP – 2010.

Município	Internações circulatórias	Internações respiratórias
Barueri	1.493	1.277
Caieiras	537	459
Cajamar	398	340
Carapicuíba	2.293	1.960
Cotia	1.248	1.067
Diadema	2.395	2.048
Embu	1.490	1.274
Embu-Guaçu	389	333
Ferraz de Vasconcelos	1.044	893
Francisco Morato	958	819
Franco da Rocha	816	698
Guararema	160	137
Guarulhos	7.580	6.481
Itapecerica da Serra	947	809
Itapevi	1.996	1.707
Itaquaquecetuba	1.245	1.065
Jandira	672	575
Mairiporã	502	429
Mauá	2.587	2.212
Mogi das Cruzes	2.405	2.057
Osasco	4.136	3.536
Poá	658	562
Ribeirão Pires	701	600
Salesópolis	97	83
Santa Isabel	313	268
Santo André	4.196	3.588
São Bernardo do Campo	4.748	4.060
São Caetano do Sul	926	792
São Paulo	69.805	59.688
Suzano	1.628	1.392
Taboão da Serra	1.517	1.297

Tabela A6. Número de internações associadas ao O₃ e MP₁₀, RMSP – 2010.

Município	O ₃		MP ₁₀	
	Internações circulatórias	Internações respiratórias	Internações circulatórias	Internações respiratórias
Barueri	18	46	18	23
Caieiras	7	17	7	8
Cajamar	5	12	5	6
Carapicuíba	28	71	28	35
Cotia	15	39	15	19
Diadema	30	74	30	36
Embu	18	46	18	23
Embu-Guaçu	5	12	5	6
Ferraz de Vasconcelos	13	32	13	16
Francisco Morato	12	30	12	15
Franco da Rocha	10	25	10	12
Guararema	2	5	2	2
Guarulhos	94	235	93	115
Itapecerica da Serra	12	29	12	14
Itapevi	25	62	25	30
Itaquaquecetuba	15	39	15	19
Jandira	8	21	8	10
Mairiporã	6	16	6	8
Mauá	32	80	32	39
Mogi das Cruzes	30	75	30	36
Osasco	51	128	51	63
Poá	8	20	8	10
Ribeirão Pires	9	22	9	11
Salesópolis	1	3	1	1
Santa Isabel	4	10	4	5
Santo André	52	130	52	64
São Bernardo do Campo	59	147	59	72
São Caetano do Sul	11	29	11	14
São Paulo	864	2.163	861	1.057
Suzano	20	50	20	25
Taboão da Serra	19	47	19	23

Tabela A7. Número de internações por tipo de doença, RMSP – 2011.

Município	Internações circulatórias	Internações respiratórias
Barueri	1.509	1.278
Caieiras	544	461
Cajamar	404	342
Carapicuíba	2.304	1.952
Cotia	1.272	1.078
Diadema	2.410	2.041
Embu	1.505	1.275
Embu-Guaçu	392	332
Ferraz de Vasconcelos	1.056	895
Francisco Morato	968	820
Franco da Rocha	827	701
Guararema	162	137
Guarulhos	7.650	6.480
Itapeçerica da Serra	957	811
Itapevi	1.263	1.070
Itaquaquecetuba	2.019	1.710
Jandira	680	576
Mairiporã	512	434
Mauá	2.612	2.213
Mogi das Cruzes	2.432	2.061
Osasco	4.142	3.509
Poá	662	561
Ribeirão Pires	705	597
Salesópolis	98	83
Santa Isabel	316	268
Santo André	4.208	3.565
São Bernardo do Campo	4.777	4.047
São Caetano do Sul	930	788
São Paulo	70.183	59.452
Suzano	1.644	1.393
Taboão da Serra	1.539	1.304

Tabela A8. Número de internações associadas ao O₃ e MP₁₀, RMSP – 2011.

Município	O ₃		MP ₁₀	
	Internações circulatórias	Internações respiratórias	Internações circulatórias	Internações respiratórias
Barueri	26	64	20	24
Caieiras	9	23	7	9
Cajamar	7	17	5	6
Carapicuíba	40	98	30	37
Cotia	22	54	17	20
Diadema	42	103	32	39
Embu	26	64	20	24
Embu-Guaçu	7	17	5	6
Ferraz de Vasconcelos	18	45	14	17
Francisco Morato	17	41	13	15
Franco da Rocha	14	35	11	13
Guararema	3	7	2	3
Guarulhos	133	327	100	122
Itapecerica da Serra	17	41	13	15
Itapevi	22	54	17	20
Itaquaquecetuba	35	86	27	32
Jandira	12	29	9	11
Mairiporã	9	22	7	8
Mauá	45	112	34	42
Mogi das Cruzes	42	104	32	39
Osasco	72	177	54	66
Poá	12	28	9	11
Ribeirão Pires	12	30	9	11
Salesópolis	2	4	1	2
Santa Isabel	6	14	4	5
Santo André	73	180	55	67
São Bernardo do Campo	83	204	63	76
São Caetano do Sul	16	40	12	15
São Paulo	1.221	3.000	922	1.122
Suzano	29	70	22	26
Taboão da Serra	27	66	20	25

APÊNDICE II

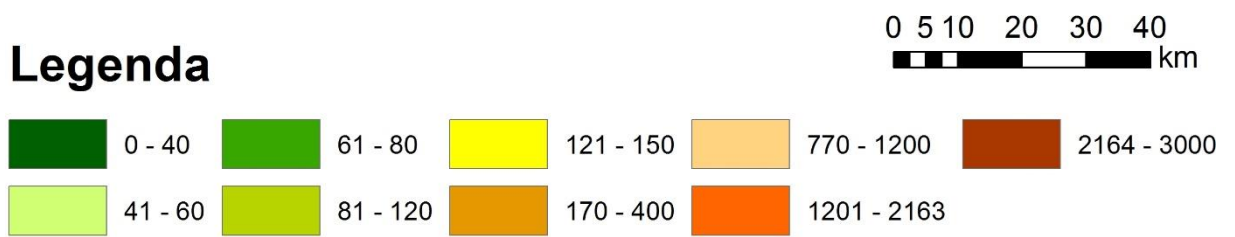
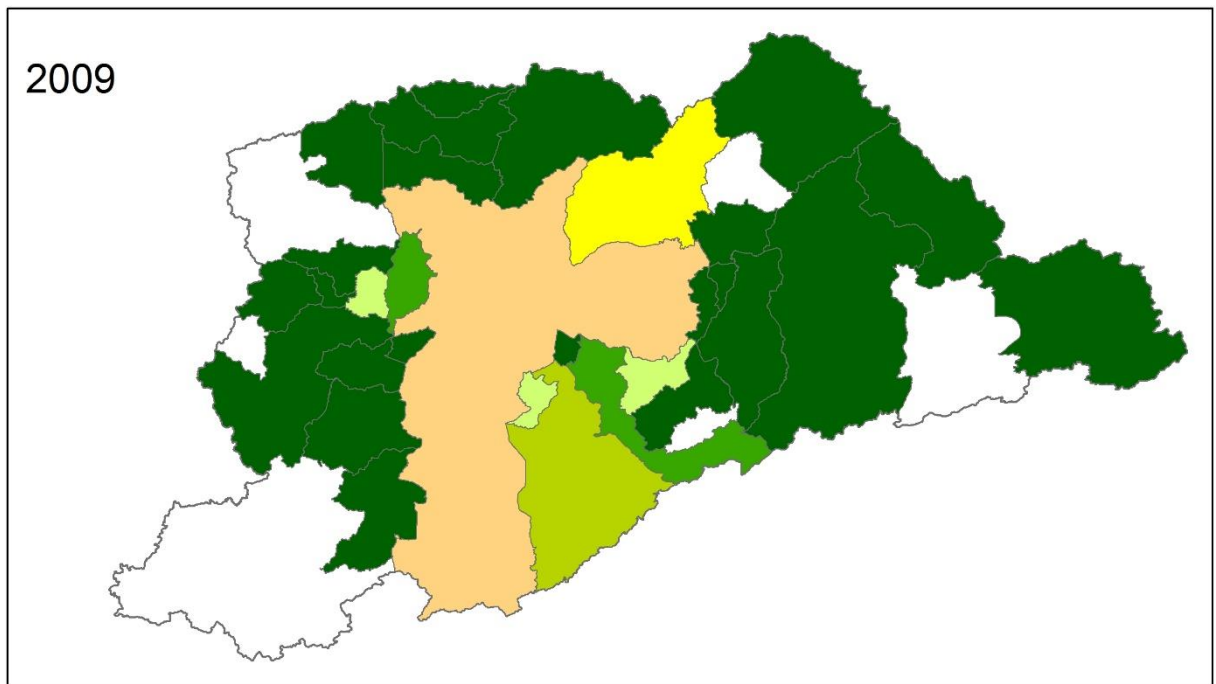
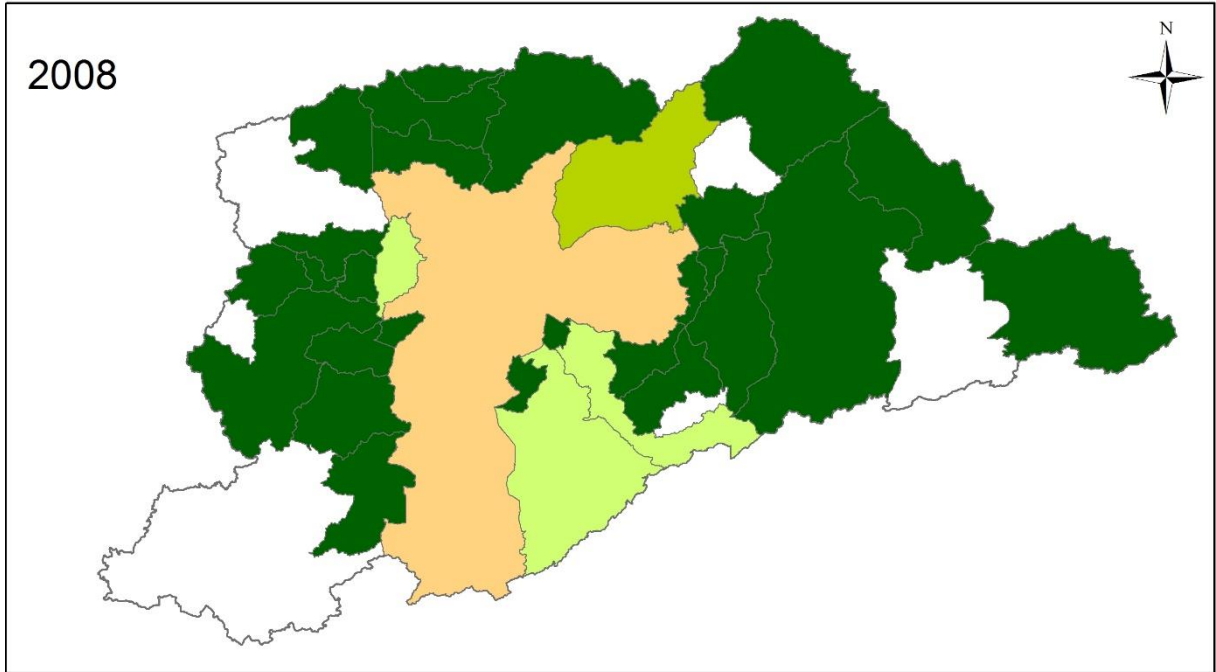


Figura A1. Distribuição espacial do número de internações respiratórias atribuídas ao O₃ na RMSP, 2008 e 2009.

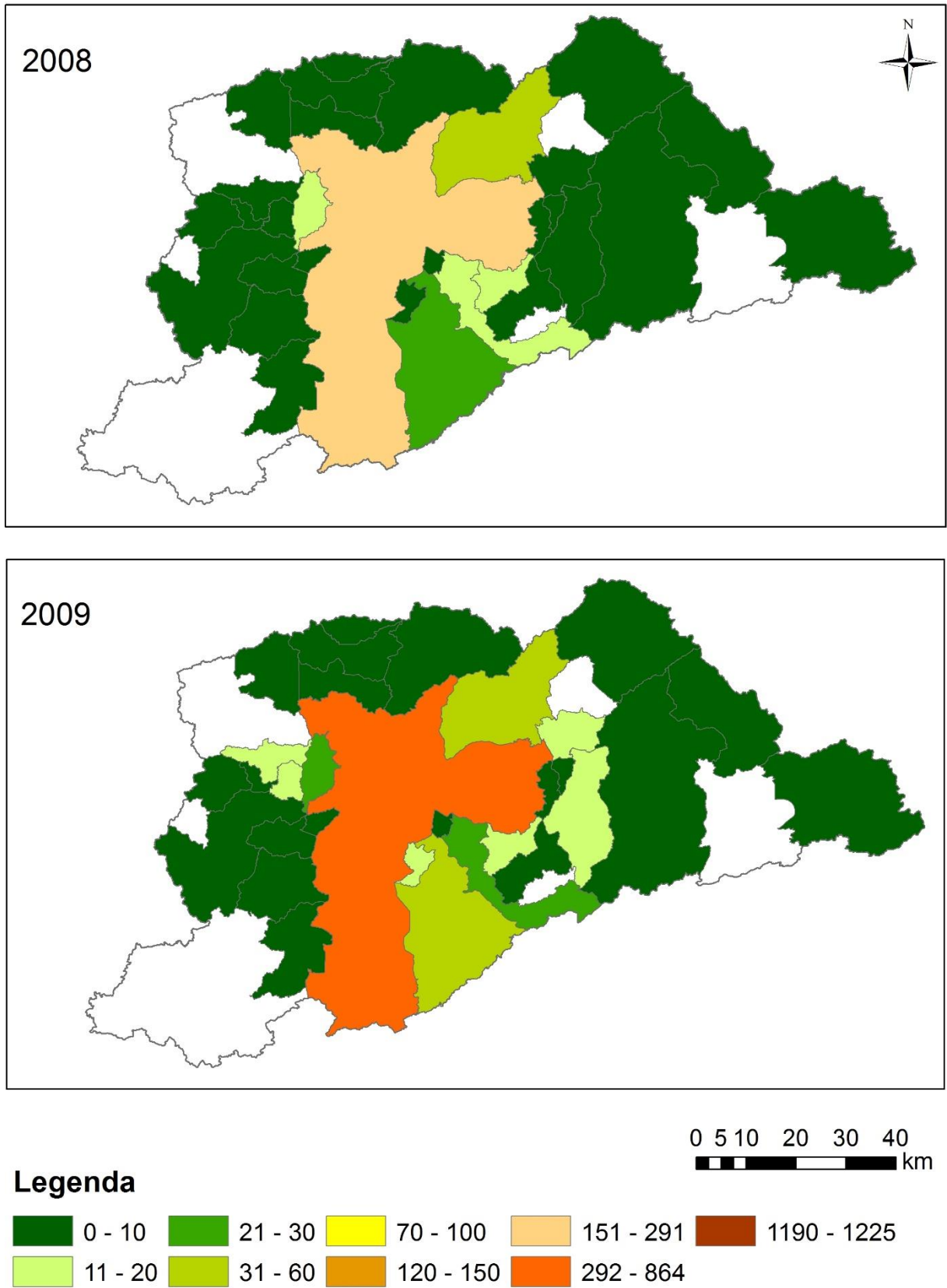
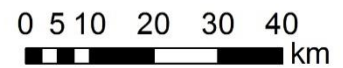
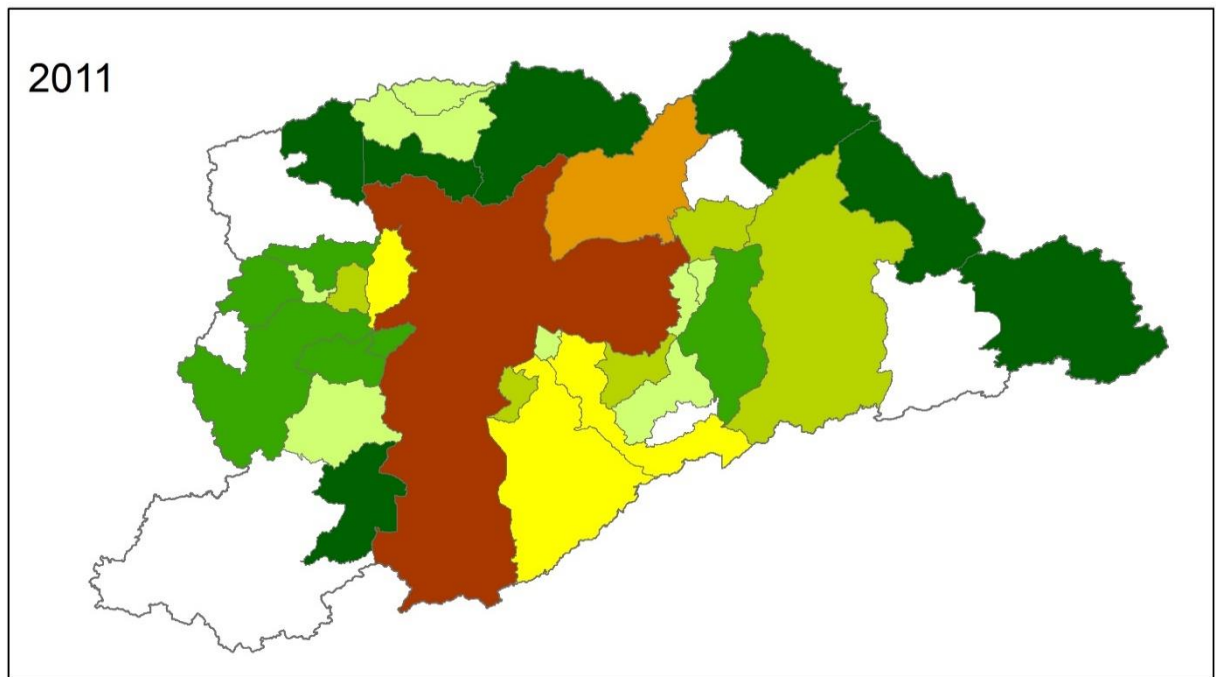
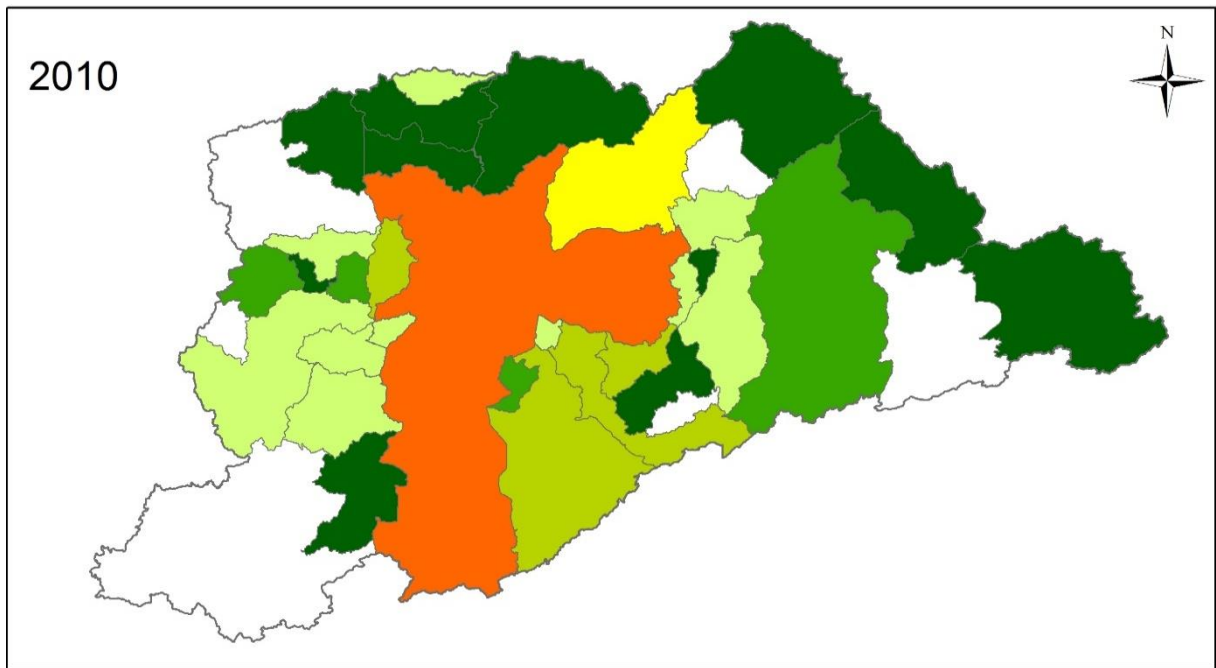


Figura A2. Distribuição espacial do número de internações circulatórias atribuídas ao O₃ na RMSP, 2008 e 2009.



Legenda

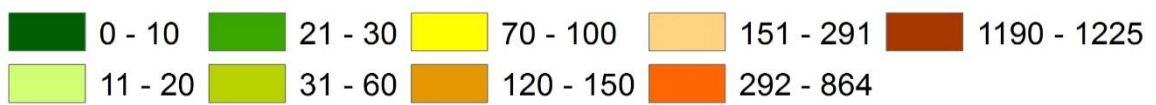
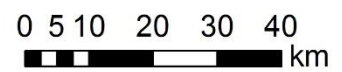
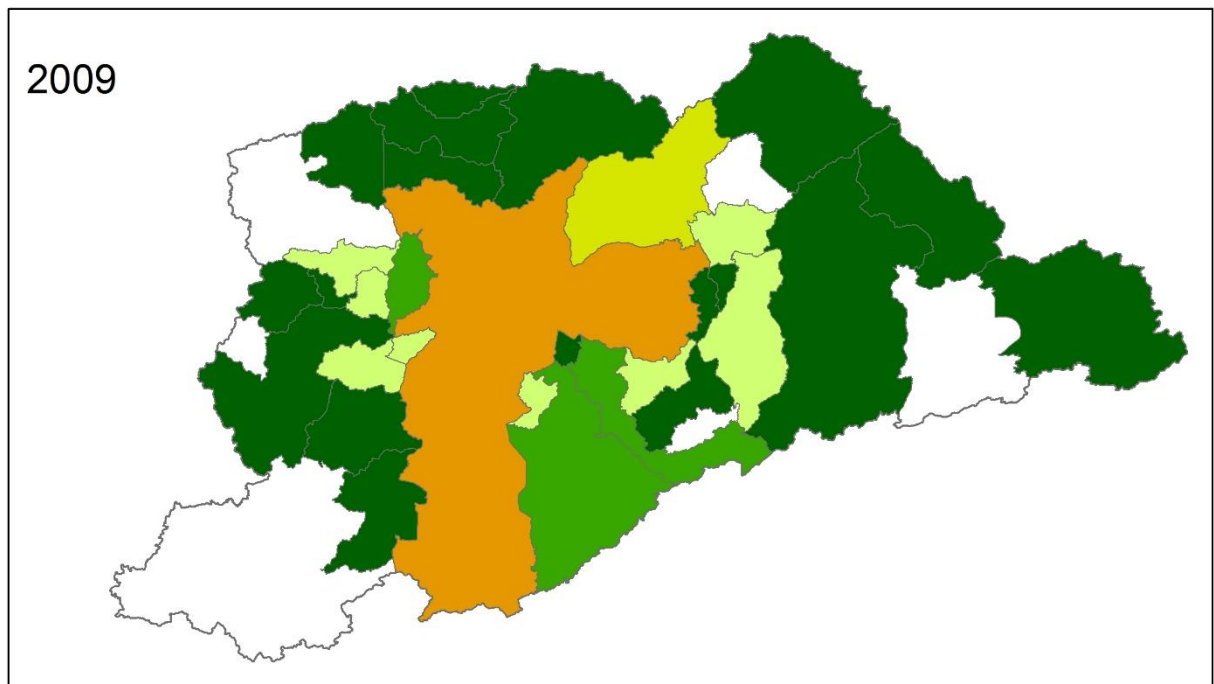
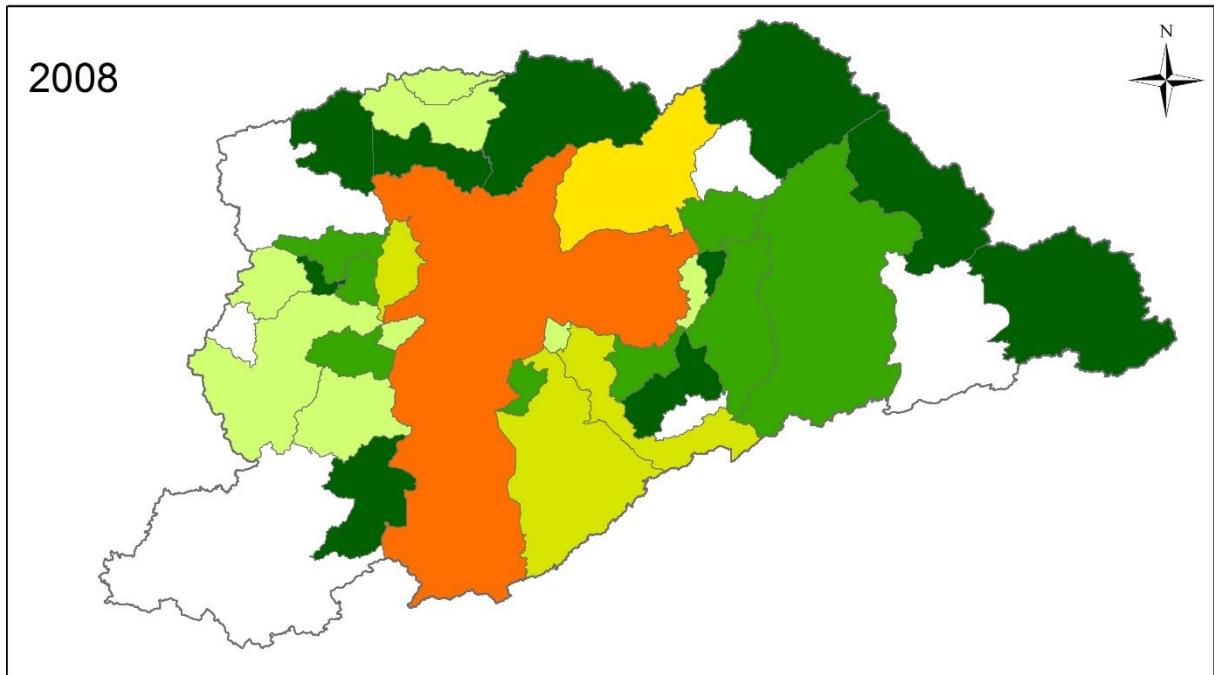


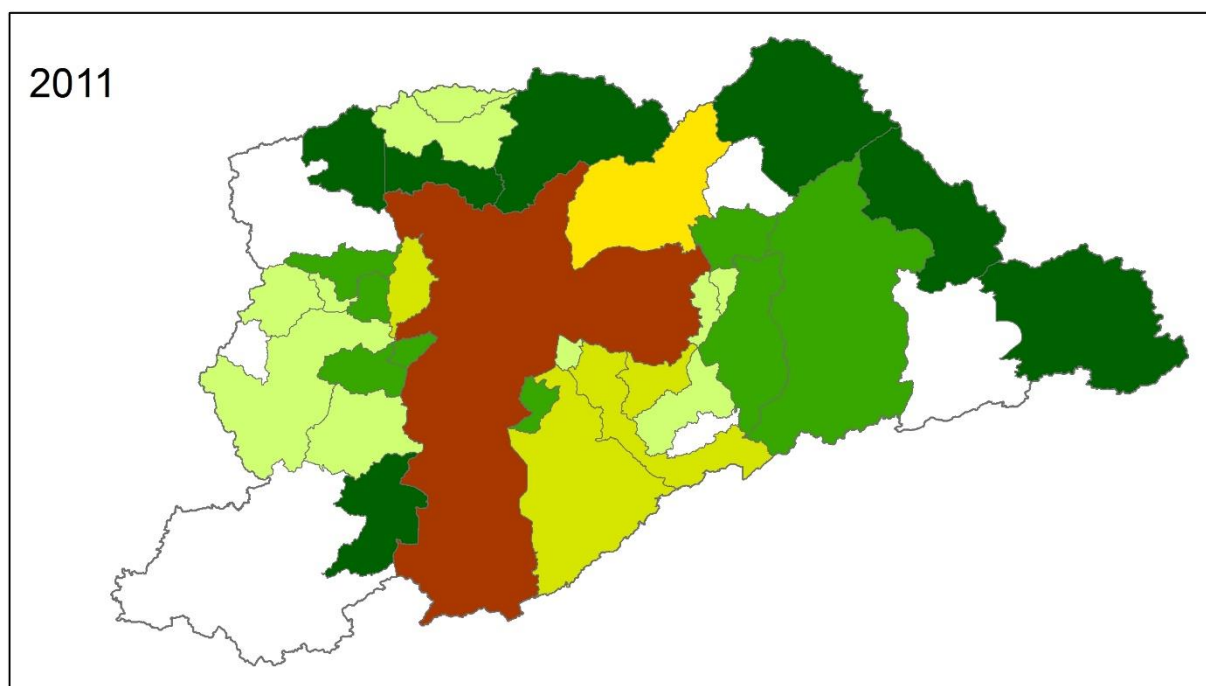
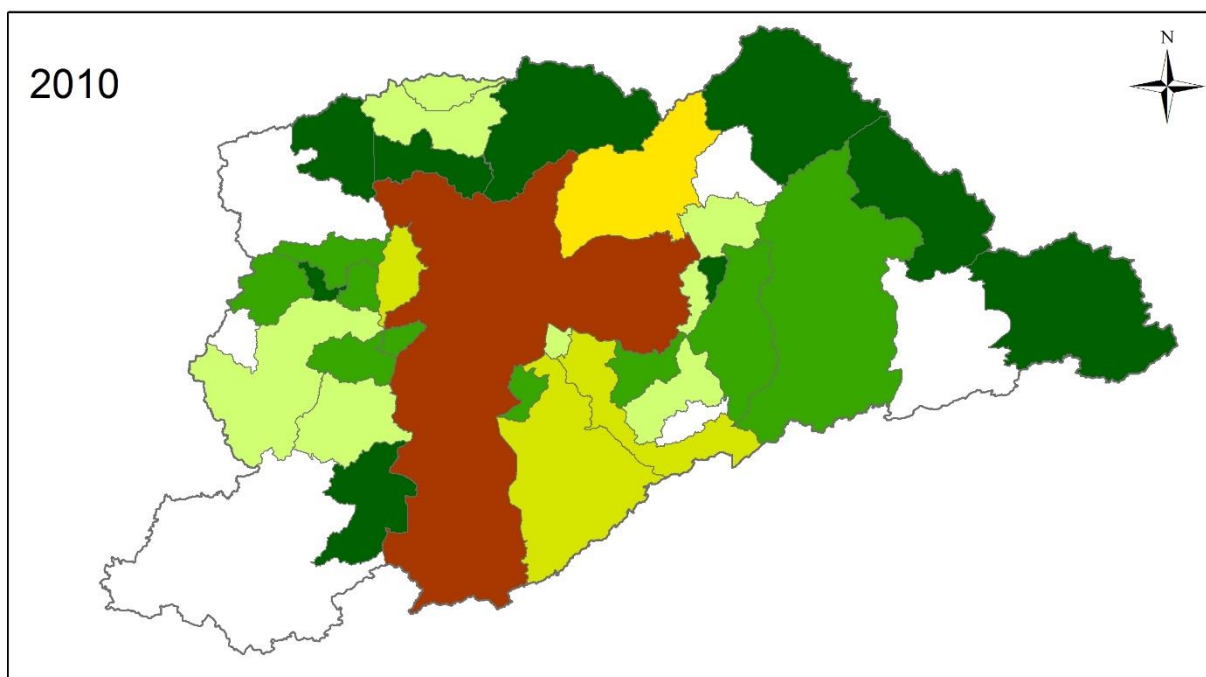
Figura A3. Distribuição espacial do número de interações circulatorias atribuídas ao O₃ na RMSP, 2010 e 2011.



Legenda



Figura A4. Distribuição espacial do número de internações respiratórias atribuídas ao MP₁₀ na RMSP, 2008 e 2009.



0 5 10 20 30 40
km

Legenda

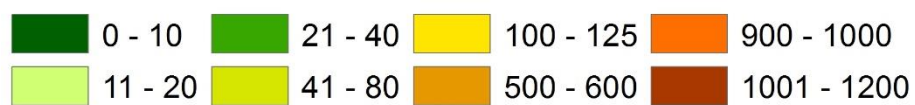
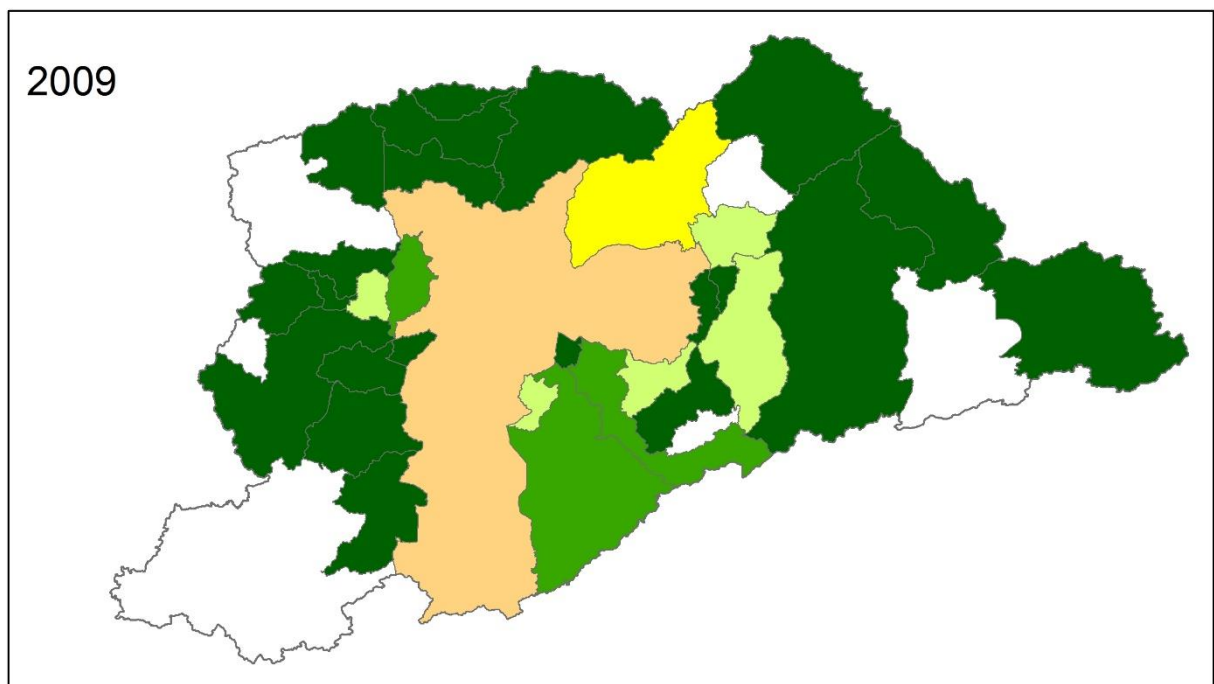
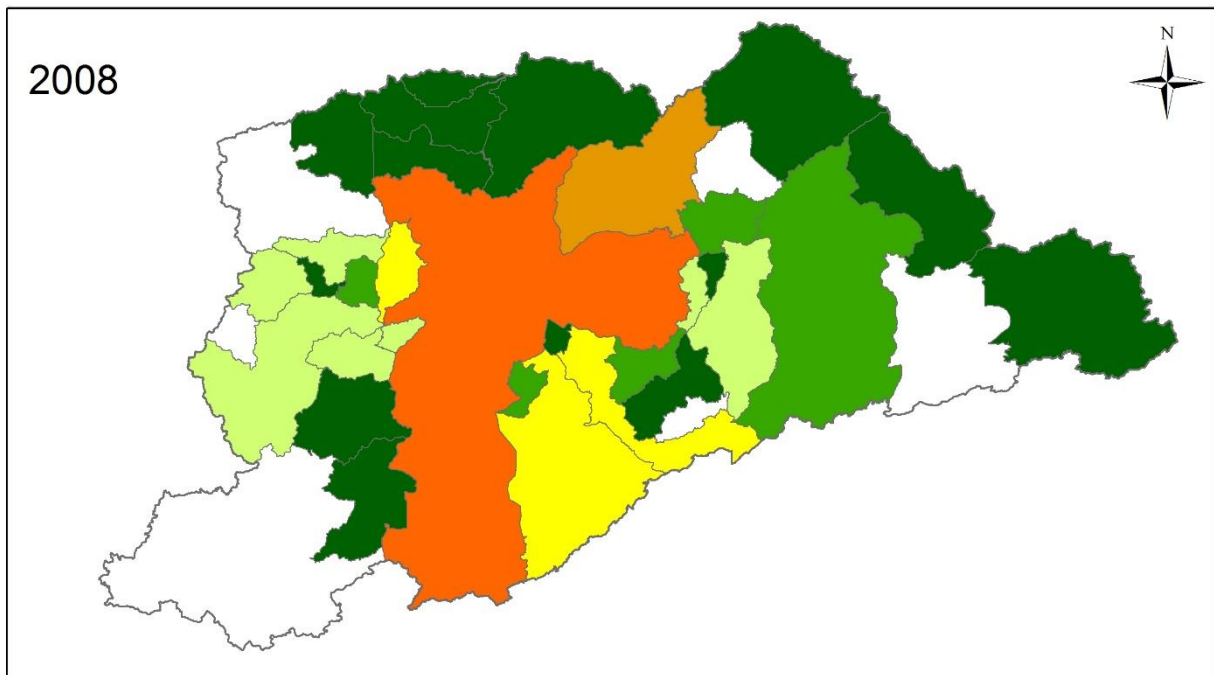


Figura A5. Distribuição espacial do número de internações respiratórias atribuídas ao MP_{10} na RMSP, 2010 e 2011.

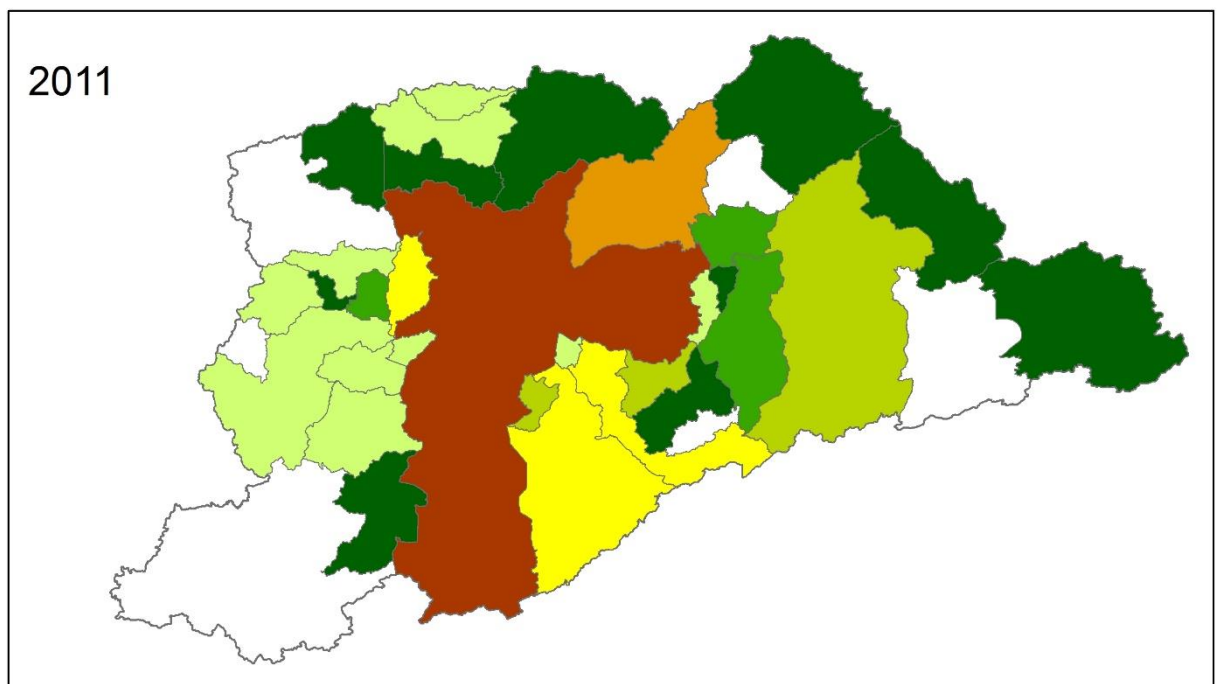
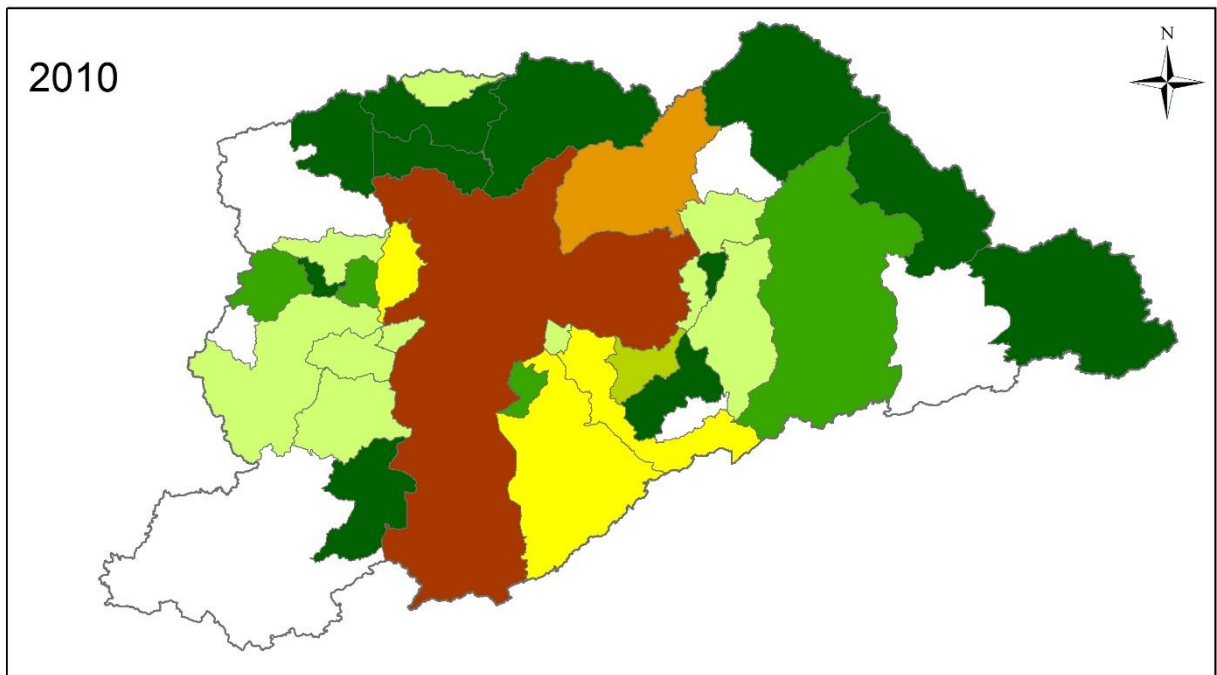


0 5 10 20 30 40
km

Legenda



Figura A6. Distribuição espacial do número de interações circulatorias atribuídas ao MP₁₀ na RMSP, 2008 e 2009.



0 5 10 20 30 40
km

Legenda

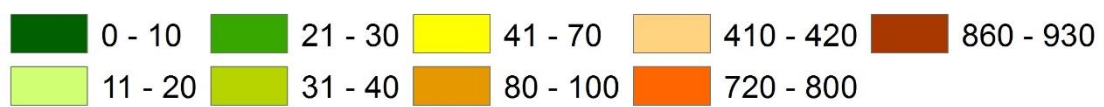


Figura A7. Distribuição espacial do número de interações circulatorias atribuídas ao MP₁₀ na RMSP, 2010 e 2011.

APÊNDICE III

Tabela A9. Despesas hospitalares com internações atribuídas ao O₃ e MP₁₀, RMSP – 2008.

Município	O ₃		MP ₁₀	
	Internações circulatórias	Internações respiratórias	Internações circulatórias	Internações respiratórias
Barueri	R\$ 8.610,59	R\$ 22.831,21	R\$ 21.392,25	R\$ 27.432,87
Caieiras	R\$ 2.821,12	R\$ 7.480,27	R\$ 7.008,81	R\$ 8.987,92
Cajamar	R\$ 2.034,44	R\$ 5.394,37	R\$ 5.054,39	R\$ 6.481,61
Carapicuíba	R\$ 12.642,66	R\$ 33.522,38	R\$ 31.409,59	R\$ 40.278,85
Cotia	R\$ 5.828,13	R\$ 15.453,45	R\$ 14.479,48	R\$ 18.568,11
Diadema	R\$ 12.829,25	R\$ 34.017,10	R\$ 31.873,14	R\$ 40.873,29
Embu	R\$ 7.975,22	R\$ 21.146,52	R\$ 19.813,74	R\$ 25.408,62
Embu-Guaçu	R\$ 2.007,72	R\$ 5.323,54	R\$ 4.988,01	R\$ 6.396,50
Ferraz de Vasconcelos	R\$ 5.724,98	R\$ 15.179,94	R\$ 14.223,21	R\$ 18.239,48
Francisco Morato	R\$ 5.050,92	R\$ 13.392,66	R\$ 12.548,57	R\$ 16.091,97
Franco da Rocha	R\$ 4.207,50	R\$ 11.156,29	R\$ 10.453,16	R\$ 13.404,86
Guararema	R\$ 863,05	R\$ 2.288,39	R\$ 2.144,16	R\$ 2.749,62
Guarulhos	R\$ 41.624,68	R\$ 110.369,00	R\$ 103.412,88	R\$ 132.614,00
Itapeceirica da Serra	R\$ 5.177,11	R\$ 13.727,25	R\$ 12.862,08	R\$ 16.494,00
Itapevi	R\$ 6.572,83	R\$ 17.428,04	R\$ 16.329,62	R\$ 20.940,68
Itaquaquecetuba	R\$ 11.437,43	R\$ 30.326,67	R\$ 28.415,30	R\$ 36.439,04
Jandira	R\$ 3.589,93	R\$ 9.518,79	R\$ 8.918,86	R\$ 11.437,32
Mairiporã	R\$ 2.519,96	R\$ 6.681,75	R\$ 6.260,62	R\$ 8.028,46
Mauá	R\$ 13.430,80	R\$ 35.612,15	R\$ 33.367,66	R\$ 42.789,82
Mogi das Cruzes	R\$ 12.084,28	R\$ 32.041,82	R\$ 30.022,35	R\$ 38.499,88
Osasco	R\$ 23.202,86	R\$ 61.523,03	R\$ 57.645,48	R\$ 73.923,06
Poá	R\$ 3.612,41	R\$ 9.578,41	R\$ 8.974,72	R\$ 11.508,95
Ribeirão Pires	R\$ 3.624,97	R\$ 9.611,72	R\$ 9.005,93	R\$ 11.548,97
Salesópolis	R\$ 517,28	R\$ 1.371,59	R\$ 1.285,14	R\$ 1.648,03
Santa Isabel	R\$ 1.517,81	R\$ 4.024,51	R\$ 3.770,86	R\$ 4.835,66
Santo André	R\$ 21.856,70	R\$ 57.953,65	R\$ 54.301,05	R\$ 69.634,27
São Bernardo do Campo	R\$ 26.083,07	R\$ 69.159,98	R\$ 64.801,10	R\$ 83.099,25
São Caetano do Sul	R\$ 4.916,83	R\$ 13.037,10	R\$ 12.215,43	R\$ 15.664,74
São Paulo	R\$ 357.617,96	R\$ 948.234,01	R\$ 888.470,55	R\$ 1.139.351,60
Suzano	R\$ 9.091,36	R\$ 24.106,00	R\$ 22.586,69	R\$ 28.964,59
Taboão da Serra	R\$ 7.313,50	R\$ 19.391,94	R\$ 18.169,74	R\$ 23.300,40
TOTAL	R\$ 626.387,35	R\$ 1.660.883,54	R\$ 1.556.204,58	R\$ 1.995.636,42

Tabela A10. Despesas hospitalares com internações atribuídas ao O₃ e MP₁₀, RMSP – 2009.

Município	O ₃		MP ₁₀	
	Internações circulatórias	Internações respiratórias	Internações circulatórias	Internações respiratórias
Barueri	R\$ 13.509,46	R\$ 35.990,21	R\$ 12.479,58	R\$ 16.182,95
Caieiras	R\$ 4.410,86	R\$ 11.750,87	R\$ 4.074,61	R\$ 5.283,76
Cajamar	R\$ 3.183,94	R\$ 8.482,26	R\$ 2.941,22	R\$ 3.814,03
Carapicuíba	R\$ 19.636,23	R\$ 52.312,38	R\$ 18.139,28	R\$ 23.522,19
Cotia	R\$ 9.102,80	R\$ 24.250,53	R\$ 8.408,85	R\$ 10.904,22
Diadema	R\$ 19.888,09	R\$ 52.983,37	R\$ 18.371,94	R\$ 23.823,90
Embu	R\$ 12.436,85	R\$ 33.132,69	R\$ 11.488,73	R\$ 14.898,07
Embu-Guaçu	R\$ 3.107,04	R\$ 8.277,38	R\$ 2.870,17	R\$ 3.721,91
Ferraz de Vasconcelos	R\$ 8.962,09	R\$ 23.875,67	R\$ 8.278,87	R\$ 10.735,66
Francisco Morato	R\$ 7.865,17	R\$ 20.953,41	R\$ 7.265,58	R\$ 9.421,67
Franco da Rocha	R\$ 6.568,69	R\$ 17.499,49	R\$ 6.067,93	R\$ 7.868,62
Guararema	R\$ 1.348,78	R\$ 3.593,25	R\$ 1.245,96	R\$ 1.615,70
Guarulhos	R\$ 64.968,05	R\$ 173.079,74	R\$ 60.015,26	R\$ 77.825,06
Itapeceirica da Serra	R\$ 8.099,64	R\$ 21.578,04	R\$ 7.482,17	R\$ 9.702,53
Itapevi	R\$ 10.294,67	R\$ 27.425,76	R\$ 9.509,86	R\$ 12.331,96
Itaquaquecetuba	R\$ 17.963,73	R\$ 47.856,71	R\$ 16.594,28	R\$ 21.518,70
Jandira	R\$ 5.606,84	R\$ 14.937,03	R\$ 5.179,40	R\$ 6.716,42
Mairiporã	R\$ 3.957,99	R\$ 10.544,37	R\$ 3.656,25	R\$ 4.741,26
Mauá	R\$ 20.874,15	R\$ 55.610,30	R\$ 19.282,83	R\$ 25.005,09
Mogi das Cruzes	R\$ 6.992,22	R\$ 18.627,80	R\$ 6.459,17	R\$ 8.375,96
Osasco	R\$ 35.934,46	R\$ 95.732,08	R\$ 33.195,02	R\$ 43.045,79
Poá	R\$ 5.624,39	R\$ 14.983,79	R\$ 5.195,62	R\$ 6.737,44
Ribeirão Pires	R\$ 5.600,89	R\$ 14.921,18	R\$ 5.173,91	R\$ 6.709,29
Salesópolis	R\$ 802,10	R\$ 2.136,85	R\$ 740,95	R\$ 960,83
Santa Isabel	R\$ 2.345,24	R\$ 6.247,90	R\$ 2.166,45	R\$ 2.809,36
Santo André	R\$ 33.671,82	R\$ 89.704,25	R\$ 31.104,88	R\$ 40.335,39
São Bernardo do Campo	R\$ 40.551,38	R\$ 108.031,92	R\$ 37.459,98	R\$ 48.576,40
São Caetano do Sul	R\$ 7.605,11	R\$ 20.260,57	R\$ 7.025,34	R\$ 9.110,14
São Paulo	R\$ 551.912,79	R\$ 1.470.336,87	R\$ 509.838,13	R\$ 661.134,90
Suzano	R\$ 14.218,65	R\$ 37.879,55	R\$ 13.134,71	R\$ 17.032,49
Taboão da Serra	R\$ 11.367,83	R\$ 30.284,75	R\$ 10.501,21	R\$ 13.617,50
TOTAL	R\$ 958.411,95	R\$ 2.553.280,97	R\$ 885.348,12	R\$ 1.148.079,19

Tabela A11. Despesas hospitalares com internações atribuídas ao O₃ e MP₁₀, RMSP – 2010.

Município	O ₃		MP ₁₀	
	Internações circulatórias	Internações respiratórias	Internações circulatórias	Internações respiratórias
Barueri	R\$ 22.744,16	R\$ 56.933,32	R\$ 22.649,18	R\$ 27.821,36
Caieiras	R\$ 8.174,61	R\$ 20.462,74	R\$ 8.140,47	R\$ 9.999,44
Cajamar	R\$ 6.057,01	R\$ 15.161,95	R\$ 6.031,72	R\$ 7.409,12
Carapicuíba	R\$ 34.915,52	R\$ 87.400,76	R\$ 34.769,72	R\$ 42.709,76
Cotia	R\$ 19.003,14	R\$ 47.568,79	R\$ 18.923,79	R\$ 23.245,24
Diadema	R\$ 36.474,79	R\$ 91.303,93	R\$ 36.322,48	R\$ 44.617,10
Embu	R\$ 22.695,12	R\$ 56.810,59	R\$ 22.600,36	R\$ 27.761,39
Embu-Guaçu	R\$ 5.929,94	R\$ 14.843,87	R\$ 5.905,18	R\$ 7.253,69
Ferraz de Vasconcelos	R\$ 15.900,29	R\$ 39.801,70	R\$ 15.833,89	R\$ 19.449,73
Francisco Morato	R\$ 14.593,35	R\$ 36.530,18	R\$ 14.532,42	R\$ 17.851,05
Franco da Rocha	R\$ 12.432,96	R\$ 31.122,26	R\$ 12.381,04	R\$ 15.208,38
Guararema	R\$ 2.441,55	R\$ 6.111,70	R\$ 2.431,35	R\$ 2.986,58
Guarulhos	R\$ 115.443,39	R\$ 288.978,67	R\$ 114.961,33	R\$ 141.213,97
Itapecerica da Serra	R\$ 14.417,82	R\$ 36.090,79	R\$ 14.357,62	R\$ 17.636,33
Itapevi	R\$ 30.398,41	R\$ 76.093,51	R\$ 30.271,48	R\$ 37.184,29
Itaquaquecetuba	R\$ 18.967,15	R\$ 47.478,69	R\$ 18.887,94	R\$ 23.201,21
Jandira	R\$ 10.235,53	R\$ 25.621,64	R\$ 10.192,79	R\$ 12.520,42
Mairiporã	R\$ 7.648,11	R\$ 19.144,81	R\$ 7.616,18	R\$ 9.355,41
Mauá	R\$ 39.401,07	R\$ 98.629,03	R\$ 39.236,54	R\$ 48.196,63
Mogi das Cruzes	R\$ 36.634,44	R\$ 91.703,59	R\$ 36.481,47	R\$ 44.812,40
Osasco	R\$ 62.988,58	R\$ 157.673,45	R\$ 62.725,56	R\$ 77.049,61
Poá	R\$ 10.015,31	R\$ 25.070,39	R\$ 9.973,49	R\$ 12.251,04
Ribeirão Pires	R\$ 10.681,81	R\$ 26.738,79	R\$ 10.637,21	R\$ 13.066,33
Salesópolis	R\$ 1.477,08	R\$ 3.697,43	R\$ 1.470,91	R\$ 1.806,81
Santa Isabel	R\$ 4.766,42	R\$ 11.931,34	R\$ 4.746,52	R\$ 5.830,43
Santo André	R\$ 63.901,85	R\$ 159.959,54	R\$ 63.635,01	R\$ 78.166,74
São Bernardo do Campo	R\$ 72.315,19	R\$ 181.019,87	R\$ 72.013,22	R\$ 88.458,21
São Caetano do Sul	R\$ 14.101,25	R\$ 35.298,33	R\$ 14.042,36	R\$ 17.249,09
São Paulo	R\$ 1.063.146,34	R\$ 2.661.275,16	R\$ 1.058.706,96	R\$ 1.300.473,97
Suzano	R\$ 24.797,14	R\$ 62.072,36	R\$ 24.693,59	R\$ 30.332,64
Taboão da Serra	R\$ 23.101,17	R\$ 57.827,00	R\$ 23.004,70	R\$ 28.258,07
TOTAL	R\$ 1.825.800,47	R\$ 4.570.356,19	R\$ 1.818.176,48	R\$ 2.233.376,45