

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA INDUSTRIAL METALÚRGICA DE VOLTA REDONDA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL

JÉSSICA GUERRA INÁCIO DE OLIVEIRA

A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E OS SEUS EFEITOS NA SAÚDE DA POPULAÇÃO DO
MUNICÍPIO DE VOLTA REDONDA

VOLTA REDONDA
2018

JÉSSICA GUERRA INÁCIO DE OLIVEIRA

**A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E OS SEUS EFEITOS NA SAÚDE DA POPULAÇÃO
DO MUNICÍPIO DE VOLTA REDONDA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Thiago Simonato Mozer
Coorientadora: Prof^a. Dra. Roberta Fernanda da Paz de Souza Paiva
Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Moreno dos Reis

Volta Redonda, RJ
2018

Ficha catalográfica automática - SDC/BEM

048p Oliveira, Jéssica Guerra Inácio de
A poluição atmosférica e os seus efeitos na saúde da
população do município de Volta Redonda / Jéssica Guerra
Inácio de Oliveira ; Thiago Simonato Mozer, orientador ;
Roberta Fernanda da Paz de Souza Paiva, coorientadora. Volta
Redonda, 2018.
119 f. : il.

Dissertação (mestrado) -Universidade Federal Fluminense,
Volta Redonda, 2018.

1. Doenças cardiovasculares. 2. Doenças respiratórias. 3.
Poluição do ar. 4. Fluorescência de Raios-X. 5. Produção
intelectual. I. Título II. Mozer, Thiago Simonato, orientador.
III. Paiva, Roberta Fernanda da Paz de Souza , coorientadora.
IV. Universidade Federal Fluminense. Escola de Engenharia
Industrial e Metalúrgica de Volta Redonda.

CDD -

JÉSSICA GUERRA INÁCIO DE OLIVEIRA

**A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E OS SEUS EFEITOS NA SAÚDE DA
POPULAÇÃO DO MUNICÍPIO DE VOLTA REDONDA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental

Aprovada em 02 de março de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Thiago S Mozer

Prof. Dr. Thiago Simonato Mozer - UFF
Orientador

Danielle Rubim Messeder dos Santos

Profª Dra. Danielle da Costa Rubim Messeder dos Santos - UFF

Marcio Sacramento de Oliveira

Prof. Dr. Marcio Sacramento de Oliveira - FIOCRUZ

Volta Redonda
2018

Dedico este trabalho à minha irmã Vanessa, que mesmo não estando mais presente fisicamente, sempre esteve em meu coração, norteando minha trajetória acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pois sem ele nada seria possível.

À minha mãe Sandra e a minha irmã Michelen, pelo carinho, confiança e por compreenderem minha ausência.

Ao meu esposo Diego, pelo companheirismo e paciência.

Ao meu orientador prof. Thiago Simonato Mozer, pela confiança e atenção.

À minha querida co-orientadora profª. Roberta Fernanda P. S. Paiva, pelo incentivo, pela paciência e pelo aprendizado que me proporcionou durante a realização desta pesquisa. Muito obrigada!

Ao meu co-orientador prof. Marcelo Moreno dos Reis, pela atenção e incentivo ao longo da pesquisa.

Ao prof. Givanildo, pela paciência, pelos ensinamentos e pelo apoio durante a realização dessa pesquisa.

Ao DATASUS e ao INEA pela disponibilização dos dados de saúde e dados ambientais, respectivamente.

À profª. Ana Carolina, ao prof. César Marcelo e ao prof. Anderson do Centro Universitário de Volta Redonda (UNIFOA), pelo empenho em colaborar com o desenvolvimento das análises do material particulado.

À profª Fabiana, pela confiança e por abrir as portas do Laboratório de Solos e Água para que eu pudesse realizar as análises.

Ao prof. Emmanoel, pelo apoio com as análises da PTS.

À graduanda Juliana, ao mestrando Natanael, aos técnicos Alexandre e José Paralovo pelo apoio e auxílio nas análises do material particulado.

Aos meus amigos de turma: Pâmela, Laís, Luciana, Lucinere, Leonardo, Silvana, Fernanda, Brisa, Camila, Luana e Lívia, por todo apoio na elaboração dessa pesquisa. Valeu galera!

A todos os professores do PGTA, por dividir seus conhecimentos, colaborando para o desenvolvimento dessa pesquisa.

À Universidade Federal Fluminense (UFF) e ao curso de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental.

À CAPES pelo auxílio financeiro concedido durante a pesquisa.

A todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para a realização dessa dissertação.

Você nunca sabe que resultados virão da sua ação. Mas se você não fizer nada, não existirão resultados.

Mahatma Gandhi

RESUMO

No presente trabalho, foram analisados os efeitos da poluição atmosférica sobre as doenças respiratórias (CID-10: J00-J99) e circulatórias (CID-10: I00-I99) da população do município de Volta Redonda/RJ, por faixa etária, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015, por meio do estudo de séries temporais. Foram utilizados dados diários de internações por doenças respiratórias e cardiovasculares para o total da população, crianças e idosos. Os dados diários das Partículas Totais em Suspensão (PTS), Material Particulado (MP_{10}), Ozônio (O_3), temperatura e umidade relativa do ar também foram analisados nesse estudo. Para estimar a associação entre as internações e os poluentes atmosféricos foi utilizado o Modelo Aditivo Generalizado de regressão de Poisson. Para a análise da distribuição espacial dos agravos em saúde, foi realizado um estudo de geoprocessamento, por meio da utilização de um *Geographic Information Systems (GIS)*. Foi realizado também o estudo da composição química da Partículas Totais em Suspensão (PTS), por meio da Fluorescência de Raios-X (FRX) a partir de amostras coletadas no período compreendido de março a junho de 2017. Os resultados indicam que a poluição atmosférica na cidade, esteve associada às internações por doenças respiratórias e circulatórias, principalmente pela exposição da população a PTS, MP_{10} e O_3 . Tal associação, ocorreu mesmo quando os níveis de poluentes não ultrapassaram os limites estabelecidos pela Legislação. Na presente pesquisa, também foi estimado o custo relacionado à poluição do ar, apresentando valor de R\$ 1.419.922,69. Foi observado, por meio da distribuição espacial das internações, que os setores Centro Norte e o Oeste são bem impactados pela poluição do ar, bem como o setor Centro Sul. Tais setores compreendem a maioria das internações. Com relação à análise química da poeira da cidade, observou-se a presença majoritária de ferro (79,5%) na PTS, sugerindo como principal fonte emissora, a atividade industrial. Os resultados gerados por meio desse trabalho podem contribuir para a formulação de políticas públicas mais efetivas, que visem maior controle das emissões atmosféricas e promoção do bem-estar da população.

Palavras-chave: Doenças cardiovasculares, Doenças respiratórias, Poluição do ar, Séries temporais, Fluorescência de Raios-X.

ABSTRACT

In the present work, the effects of air pollution on the respiratory diseases (ICD-10: J00-J99) and circulatory diseases (ICD-10: I00-I99) of the population of the municipality of Volta Redonda / RJ were analyzed by age, period from January 2013 to December 2015, through the study of time series. Daily data from hospitalizations for respiratory and cardiovascular diseases were used for the total population, children and the elderly. Daily data on Total Suspended Particles (PTS), Particulate Matter (PM_{10}), Ozone (O_3), temperature and relative humidity were also analyzed in this study. In order to estimate the association between hospitalizations and air pollutants, the Generalized Poisson Regression Additive Model was used. In order to analyze the spatial distribution of health problems, a geoprocessing study was carried out using a Geographic Information Systems (GIS). It was also carried out the study of the chemical composition of the Total Suspended Particles (PTS) by X-ray Fluorescence (FRX) from samples collected from March to June 2017. The results indicate that atmospheric pollution in the city, was associated with hospitalizations due to respiratory and circulatory diseases, mainly due to exposure of the population to PTS, MP_{10} and O_3 . Such an association occurred even when the levels of pollutants did not exceed the limits established by the Legislation. In the present research, we also estimated the cost related to air pollution, presenting a value of R\$ 1.419.922,69. It was observed, through the spatial distribution of hospitalizations, that the Central North and West sectors are well impacted by air pollution, as well as the Central South sector. These sectors comprise the majority of hospitalizations. Regarding the chemical analysis of the city's dust, it was observed the presence of iron (79,5%) in the PTS, suggesting industrial activity as the main emitting source. The results generated by this work can contribute to the formulation of more effective public policies, aiming at greater control of atmospheric emissions and the promotion of the well-being of the population.

Key words: Cardiovascular diseases, Respiratory diseases, Air Pollution, Time Series, X-Ray Fluorescence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Os subsistemas da Terra, p.24

Figura 2: Inversão térmica, p.32

Figura 3: Localização do município de Volta Redonda, no estado do Rio de Janeiro, p.51

Figura 4: Amostrador de Grandes Volumes AGV PTS, p.59

Figura 5: Número diário de internações hospitalares por doenças do sistema respiratório e curva de suavização, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015, p.64

Figura 6: Número diário de internações hospitalares por doenças do sistema respiratório em crianças menores de cinco anos e curva de suavização, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015, p.64

Figura 7: Número diário de internações hospitalares por doenças do sistema respiratório em idosos com 60 anos ou mais e curva de suavização, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015, p.65

Figura 8: Número diário de internações hospitalares por doenças do sistema circulatório e curva de suavização, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015, p.66

Figura 9: Número diário de internações hospitalares por doenças do sistema circulatório em indivíduos com 40 anos ou mais e curva de suavização, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015, p.67

Figura 10: Média diária de MP_{10} , na cidade de Volta Redonda/RJ, no período de junho de 2013 a dezembro de 2015, p.69

Figura 11: Média diária de O_3 , na cidade de Volta Redonda/RJ, no período de junho de 2013 a dezembro de 2015, p.69

Figura 12: Média diária de PTS, na cidade de Volta Redonda/RJ, no período de junho de 2013 a dezembro de 2015, p.70

Figura 13: Distribuição espacial das internações hospitalares por doenças do sistema respiratório, por bairro e setores, na cidade de Volta Redonda/RJ, no período de junho de 2013 a dezembro de 2015, p.71

Figura 14: Distribuição espacial das internações hospitalares por doenças do sistema circulatório, por bairro e setores, na cidade de Volta Redonda/RJ, no período de junho de 2013 a dezembro de 2015, p.73

Figura 15: Pátio de escória, localizado no bairro Brasilândia, em Volta Redonda, p.74

Figura 16: Risco relativo percentual para incrementos de $10\mu g/m^3$ de PTS e MP_{10} para internações hospitalares por doenças respiratórias totais, em Volta Redonda, no período de 2013 a 2015, p.78

Figura 17: Risco relativo percentual para incrementos de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PTS para internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças menores que cinco anos, em Volta Redonda, no período de 2013 a 2015, p.80

Figura 18: Risco relativo percentual para incrementos de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de O_3 e MP_{10} para internações hospitalares por doenças respiratórias em idosos, em Volta Redonda, no período de 2013 a 2015, p.82

Figura 19: Risco relativo percentual para incrementos de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PTS e MP_{10} para internações hospitalares por doenças circulatórias totais, em Volta Redonda, no período de 2013 a 2015, p.84

Figura 20: Risco relativo percentual para incrementos de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PTS e MP_{10} para internações hospitalares por doenças circulatórias em pessoas com 40 anos ou mais, em Volta Redonda, no período de 2013 a 2015, p.86

Figura 21: Amostra de PTS de Volta Redonda, pelo MEV, p.95

Figura 22: Comparação dimensional por caracterização de tamanho por diâmetro de partículas $\text{MP}_{2,5}$ e MP_{10} comparativamente à variação média do diâmetro médio de um fio de cabelo e de um grão de areia fina, p.96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição média da atmosfera seca abaixo de 25 quilômetros, p.25

Tabela 2: Classificação dos poluentes atmosféricos, p.27

Tabela 3: Efeitos dos principais poluentes no meio ambiente, p.34

Tabela 4: Efeitos gerais dos poluentes atmosféricos sobre a saúde humana, p.36

Tabela 5: Efeitos agudos e crônicos da poluição do ar, p.38

Tabela 6: Classificação das áreas do território nacional, conforme a Resolução CONAMA Nº 005/1989, p.46

Tabela 7: Padrões de qualidade do ar, no Brasil, p.47

Tabela 8: Critérios para caracterização de episódio agudo da poluição do ar, p.48

Tabela 9: Níveis máximos recomendados pela Organização Mundial de Saúde, p.59

Tabela 10: Internações hospitalares por todas as causas e por doenças do sistema respiratório, em Volta Redonda, no período de junho de 2013 a dezembro de 2015, p.62

Tabela 11: Análise descritiva da contagem diária das internações hospitalares por doenças do sistema respiratório, em Volta Redonda, no período de junho de 2013 a dezembro de 2015, p.62

Tabela 12: Internações hospitalares por todas as causas e por doenças do sistema circulatório, em Volta Redonda, no período de junho de 2013 a dezembro de 2015, p.65

Tabela 13: Análise descritiva da contagem diária das internações hospitalares por doenças do sistema circulatório, em Volta Redonda, no período de junho de 2013 a dezembro de 2015, p.66

Tabela 14: Análise descritiva das medições diárias de PTS, MP₁₀ e O₃ e dos fatores climáticos, na cidade de Volta Redonda, no período de junho de 2013 a dezembro de 2015, p.68

Tabela 15: Correlação de *Pearson* entre as internações hospitalares por doenças respiratórias e as variáveis ambientais, em Volta Redonda, no período de junho de 2013 a dezembro de 2015, p.76

Tabela 16: Correlação de *Pearson* entre as internações hospitalares por doenças circulatórias e as variáveis ambientais, em Volta Redonda, no período de junho de 2013 a dezembro de 2015, p.76

Tabela 17: Risco relativo percentual para as internações hospitalares por doenças respiratória e circulatória, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015, p.87

Tabela 18: Internações hospitalares por doenças respiratórias atribuídas a exposição ao MP₁₀ e ao PTS, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015, p.88

Tabela 19: Internações hospitalares por doenças circulatórias atribuídas a exposição ao MP₁₀ e ao PTS, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015, p.88

Tabela 20: Estimativa do custo associado à poluição do ar, devido às doenças respiratórias, na cidade de Volta Redonda, p.89

Tabela 21: Estimativa do custo associado à poluição do ar, devido às doenças circulatórias, na cidade de Volta Redonda, p.90

Tabela 22: Composição química da PTS de Volta Redonda, por meio da FRX, p.93

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

°C - Grau Celsius

β - Beta

μm - Micrômetro

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ - Micrograma por metro cúbico

% - Porcentagem

m - metro

g - grama

mg - miligrama

cm^2 - centímetro quadrado

mmHg - milímetro de mercúrio

m/s - metros por segundo

λ - Lambda

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AIH - Autorização de Internação Hospitalar

AIS - Ações Integradas de Saúde

AIC - Critério de Informação Akaike

AGV - Amostrador de Grande Volume

CF/88 - Constituição Federal de 1988

CFCs - Clorofluorcarbonetos

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CEP - Código de Endereçamento Postal

CID 10 - Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

CONTRAN - Conselho Nacional de Trânsito

CSN - Companhia Siderúrgica Nacional

COVs - Compostos orgânicos voláteis

DATASUS - Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde do Brasil

DOP - Dioctilphtalata

DPOC - Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica

EUA - Estados Unidos da América

FDO - Ftalato de Dioctil

GEE - Gases de Efeito Estufa

HC - Hidrocarbonetos

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEA - Instituto Estadual de Ambiente
INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
km - Quilômetro
km² - Quilômetro quadrado
MP - Material Particulado
MP₁₀ - Material Particulado com diâmetro igual ou menor que 10 µm
MP_{2,5} - Material Particulado com diâmetro igual ou menor que 2,5 µm
MAA - Média Aritmética Anual
MAG - Modelo Aditivo Generalizado
MCE - Método de Custos Evitados
MGA - Média Geométrica Anual
MLG - Modelo Linear Generalizado
MMA - Ministério do Meio Ambiente
OMS - Organização Mundial da Saúde
ONU - Organização das Nações Unidas
PCDD - Dibenzodioxinas Policloradas
PCDF - Dibenzofuranos
PI - Partículas Inaláveis
PMVR - Prefeitura Municipal de Volta Redonda
ppm - Parte por milhão
ppb - Parte por bilhão
POP - Poluentes Orgânicos Persistentes
PQAr - Padrões de Qualidade do Ar
PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
PRONAR - Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar
PTS - Partículas Totais em Suspensão
RPS - Rio Paraíba do Sul
RR - Risco Relativo
RMP - Região do Médio Paraíba
RJ - Rio de Janeiro
SIG - Sistemas de Informações
SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente
SMSVR - Secretaria Municipal de Saúde de Volta Redonda
SUS - Sistema Único de Saúde

UNIFOA - Centro Universitário de Volta Redonda

UR - Umidade Relativa do ar

VEA - Valor Econômico do Ar

WHO - World Health Organization

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

1 INTRODUÇÃO, p.20

1.1 JUSTIFICATIVA, p.21

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO, p.22

2 OBJETIVOS, p.23

2.1 OBJETIVO GERAL, p.23

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS, p.23

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, p.24

3.1 ATMOSFERA, p.24

3.2 POLUIÇÃO DO AR, p.26

3.2.1 Poluentes gasosos, p.28

3.2.1.1 Monóxido de Carbono, p.28

3.2.1.2 Dióxido de Nitrogênio, p.28

3.2.1.3 Dióxido de Enxofre, p.29

3.2.1.4 Ozônio, p.30

3.2.2 Material Particulado, p.30

3.3 DISPERSÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA, p.31

3.4 EFEITOS DA POLUIÇÃO DO AR, p.33

3.4.1 Efeitos no meio ambiente, p.33

3.4.2 Efeitos na saúde humana, p.35

3.5 LEGISLAÇÃO SOBRE A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA, p.42

3.5.1 Padrões de qualidade do ar, p.45

4 METODOLOGIA, p.50

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, p.50

4.2 COLETA DE DADOS, p.52

4.2.1 Dados sobre a saúde, p.52

4.2.2 Dados ambientais, p.53

4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS, p.54

4.3.1 Estatística descritiva, p.54

4.3.2 Análise de regressão, p.54

- 4.4 ANÁLISE DOS GASTOS COM INTERNAÇÕES, p.57
- 4.5 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS INTERNAÇÕES HOSPITALARES, p.57
- 4.6 ANÁLISE DAS PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO – PTS, p.58
- 4.6.1 Coleta do material particulado por AGV, p.59
 - 4.6.2 Fluorescência de Raios-X, p.60
 - 4.6.3 Granulometria a laser, p.61
 - 4.6.4 Microscopia eletrônica de varredura, p.61
- 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES, p.62
- 5.1 ANÁLISE DESCRIPTIVA DOS DADOS DE SAÚDE, p.62
- 5.1.1 Doenças do sistema respiratório (CID 10: J00-J99), p.62
 - 5.1.2 Doenças do sistema circulatório (CID 10: I00-I99), p.65
- 5.2 ANÁLISE DESCRIPTIVA DOS DADOS AMBIENTAIS, p.67
- 5.3 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS INTERNAÇÕES HOSPITALARES, p.70
- 5.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS, p.76
- 5.4.1 Correlação de Pearson, p.76
 - 5.4.2 Análise de regressão, p. 77
 - 5.4.2.1 Internações hospitalares por doenças respiratórias totais, p.77
 - 5.4.2.2 Internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças, p.79
 - 5.4.2.3 Internações hospitalares por doenças respiratórias em idosos, p.82
 - 5.4.2.4 Internações hospitalares por doenças circulatórias totais, p.84
 - 5.4.2.5 Internações hospitalares por doenças circulatórias em pessoas com 40 anos ou mais, p.85
- 5.5 ANÁLISE DOS GASTOS COM AS INTERNAÇÕES HOSPITALARES, p.87
- 5.6 ANÁLISE DAS PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO – PTS, p.91
- 5.6.1 Análise química por Fluorescência de Raios-X, p.91
 - 5.6.2 Microscopia Eletrônica de varredura, p. 94
 - 5.6.3 Granulometria a laser, p.95
- 6 CONCLUSÃO, p.98
- 7 REFERÊNCIAS, p.100
- ANEXOS

1 INTRODUÇÃO

O ar é de extrema relevância para a sobrevivência na Terra, tanto para a espécie humana quanto para outras espécies. Quando sua qualidade é alterada, deixando-o impróprio ou nocivo ao bem-estar, começam a surgir muitas consequências, sejam na saúde da população, no meio ambiente ou na economia (AMARAL & PIUBELI, 2003; SAAR, 2004; PAIVA, 2014).

Desde a Revolução Industrial, assuntos relacionados à poluição atmosférica ganharam maior notoriedade devido ao enorme risco para a saúde humana, uma vez que essa expansão industrial contribuiu para o aumento da degradação da qualidade do ar. Com o processo migratório, que ocorreu com a industrialização, houve o aumento da urbanização nas cidades industriais, pois muitas pessoas se deslocaram do meio rural para essas cidades em busca de trabalho. Tal processo fez com que houvesse aumento no consumo energético, e também aumento da emissão de poluentes pela queima de combustíveis fósseis, emitidos por fontes móveis, como os veículos automotores, e por fontes fixas, como as indústrias, contribuindo para degradação do meio ambiente (OLIVEIRA, 2011; ARBEX et al., 2012; DAPPER, SPOHR & ZANINI, 2016).

Nesse contexto, alguns episódios de poluição do ar ocorreram na Europa e Estados Unidos da América (EUA), com destaque o de Londres, em 1952, que ocasionou cerca de quatro mil mortes. A partir desses episódios, alguns estudos buscaram verificar a associação da poluição do ar e os efeitos sobre a saúde humana (BRANCO, 1995; BRAGA et al., 2001; CARNESECA et al., 2012; CESAR et al., 2013; GAVINIER & NASCIMENTO, 2014).

A exposição da população aos diversos poluentes atmosféricos contribui para uma série de efeitos deletérios na saúde humana, tais como: mortalidade e morbidade por doenças no sistema respiratório, principalmente em crianças, idosos e pessoas que já apresentam algum tipo de problema crônico, baixo peso ao nascer, parto prematuro, doença falciforme, mortalidade por câncer no pulmão, acidente vascular encefálico, hipertensão arterial, entre outros (SOUZA et al., 1998; BOBAK, 2000; EZZATI et al., 2004; NEGRETE et al., 2010; RIBEIRO & PESQUEIRO, 2010; JASINSKI et al., 2011; CARNESECA et al., 2012; YANAGI, ASSUNÇÃO & BARROZO, 2012; NASCIMENTO, 2012; SILVA et al., 2013; CESAR et al., 2013; NASCIMENTO & FRANCISCO, 2013; ROMÃO et al., 2013; NARDOCCI et al., 2013; AMÂNCIO & NASCIMENTO, 2014; GAVINIER & NASCIMENTO, 2014; LIMA et al., 2014; PINHEIRO et al., 2014; SANTOS et al., 2014; BARBOSA et al., 2015).

Nesse sentido, o presente trabalho teve como proposta, analisar os efeitos da poluição atmosférica na saúde da população do município de Volta Redonda, por faixa etária e grupo de doenças relacionadas à poluição atmosférica, bem como analisar os custos associados à essas doenças e a composição química do material particulado.

1.1 JUSTIFICATIVA

As emissões de poluentes atmosféricos comprometem a qualidade de vida no planeta, afetando a população, através de doenças; o meio ambiente, por meio de perdas de algumas estruturas ecossistêmicas; e a economia, por meio de gastos associados às doenças relacionadas à poluição do ar, bem como aos custos envolvidos na recuperação do meio ambiente (PAIVA, 2014).

Estudos como este, que buscam analisar os efeitos da exposição aos poluentes do ar sobre a saúde humana são de extrema importância, pois podem nortear a elaboração de políticas públicas mais efetivas, voltadas para a proteção da saúde da população, bem como para o maior controle da poluição ambiental, no que se refere às emissões atmosféricas.

Na cidade de Volta Redonda, área de estudo desse trabalho, o processo de industrialização, o crescimento populacional e a rápida urbanização contribuíram, ao longo do tempo, para a degradação da qualidade do ar. Nesse contexto, trabalhos que buscam analisar os impactos da poluição atmosférica sobre a saúde humana, levando em consideração áreas de risco, bem como os custos envolvidos com este tipo de poluição para o Sistema Único de Saúde (SUS) são importantes (PEITER & TOBAR, 1998; REIS, 2004; REIS, 2009; OLIVEIRA, 2011).

Este trabalho possui relevância social, pois permite ao poder público, às empresas e à sociedade conhecer os perigos à saúde da população do município, associados às emissões de poluentes atmosféricos, no período estudado. A realização desse estudo tende a contribuir para debates sobre o meio ambiente e saúde pública, com o envolvimento da população residente. A partir desses debates, nos quais haja a presença de engajamento ativo de todos os *stakeholders*¹, podem ser elaboradas políticas públicas realmente efetivas, a fim de minimizar os impactos negativos da exposição à poluição do ar.

¹ Stakeholder é qualquer grupo ou indivíduo que pode afetar ou ser afetado pela realização dos objetivos de uma organização, ou seja, são todos os agentes envolvidos (FREEMAN, 1984; FREEMAN et al., 2010).

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos, iniciados pela Introdução. O segundo capítulo apresenta os objetivos que englobaram este estudo. Já o terceiro capítulo concentra-se em abordar a revisão bibliográfica, com conceitos importantes referentes à poluição atmosférica, a saber: os principais poluentes do ar e como ocorre sua dispersão na atmosfera; os efeitos da poluição do ar, no meio ambiente e na saúde humana; a legislação que versa sobre este tipo de poluição, e os padrões de qualidade do ar. A metodologia que envolveu a execução desse trabalho é tratada no capítulo 4. Já os resultados obtidos, bem como a discussão dos mesmos são apresentados no capítulo 5. E por último, tem-se a conclusão do trabalho no capítulo seis.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar os efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde da população de Volta Redonda, por faixa etária e grupo de doenças selecionados relacionados à poluição do ar.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

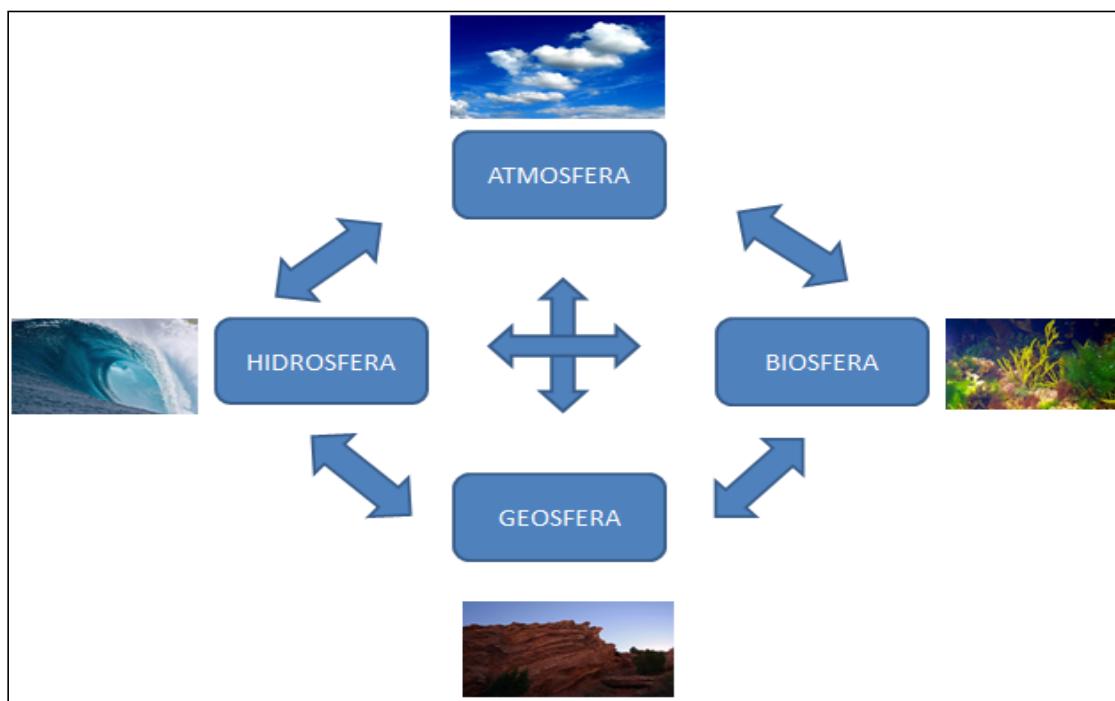
- Correlacionar as concentrações de poluentes (MP_{10} , O_3 e PTS) com o número de internações por doenças respiratórias totais, em menores de cinco anos e em idosos com 60 anos ou mais, bem como com o número de internações por doenças circulatórias totais e em pessoas com 40 anos ou mais, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015;
- Estimar o efeito da poluição atmosférica sobre as doenças respiratórias e circulatórias;
- Estimar os gastos médicos e incidência de doenças no sistema respiratório e circulatório associadas à poluição do ar;
- Mapear as áreas do município onde há maior ocorrência de morbidade associadas à poluição atmosférica;
- Determinar as concentrações de metais pesados associados ao material particulado em suspensão na atmosfera da cidade de Volta Redonda, no período de março a junho de 2017.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A ATMOSFERA

A Terra é um sistema que representa uma parte do Universo. Este sistema é formado por vários subsistemas, como a hidrosfera, a geosfera, a biosfera, e a atmosfera, nos quais há a presença tanto de matéria quanto de energia, bem como a interação entre eles, fazendo com que um equilíbrio seja mantido. Caso exista alguma modificação em qualquer dos subsistemas, isso afetaria os demais, colaborando para um desequilíbrio no sistema Terra (AYOADE, 1996). A Figura 1 revela a interação entre os subsistemas terrestres.

Figura 1 – Os subsistemas da Terra



Fonte: Adaptado de AYOADE, 1996.

Segundo Gomes (2010) a atmosfera é constituída por uma mistura de gases. Dentre eles, os mais relevantes são: oxigênio, nitrogênio, dióxido de carbono, argônio, ozônio e vapor d'água. Demais gases podem estar presentes em quantidades pequenas. Dentre eles, estão: hélio, neônio, metano, criptônio, hidrogênio, entre outros (Tabela 1).

Tabela 1: Composição média da atmosfera seca abaixo de 25 quilômetros

Gás	Concentração em volume (ar seco)
Nitrogênio (N_2)	78,08%
Oxigênio (O_2)	20,94%
Argônio (Ar)	0,93%
Dióxido de carbono (CO_2)	0,03%
Neônio (Ne)	18,18 ppm
Hélio (He)	5,24 ppm
Ozônio (O_3)	0,60 ppm
Hidrogênio (H)	0,50 ppm
Criptônio (Kr)	1,14 ppm
Xenônio (Xe)	0,09 ppm
Metano (Me)	1,50 ppm
Óxido nitroso (N_2O)	0,40 ppm

Fonte: Adaptado de AYOADE, 1996; GOMES, 2010.

De acordo com Ayoade (1996, p. 15) o oxigênio, o nitrogênio e o argônio são “constantes quanto ao volume, espacial e temporalmente”. Já o volume de vapor d’água na atmosfera pode sofrer variações, chegando a praticamente de zero, em regiões áridas, e até cerca de 3% a 4% em trópicos úmidos. Esse vapor, presente na atmosfera, está relacionado tanto com a temperatura do ar como também com a disponibilidade de água na superfície da Terra. Logo, em latitudes médias, a quantidade é maior no verão do que no inverno, quando a retenção de umidade pela atmosfera é pequena.

Com relação ao ozônio, sua formação ocorre sob a influência de radiação ultravioleta, onde acontece o rompimento das moléculas de oxigênio. Os átomos separados ligam-se de forma individual com outras moléculas de oxigênio. O ozônio está presente entre as altitudes de 15 e 35 quilômetros da atmosfera (BOTKIN & KELLER, 2011).

Segundo Ayoade (1996) a inserção do dióxido de carbono na atmosfera, ocorre através da atividade dos organismos vivos nos oceanos e continentes. O processo de fotossíntese auxilia na manutenção da estabilidade da quantidade de CO_2 . O crescente uso de combustíveis fósseis pelos seres humanos tem afetado o equilíbrio da atmosfera, levando a um aumento do dióxido de carbono nesse subsistema.

A atmosfera também apresenta quantidades significativas de aerossóis, que são partículas de poeira em suspensão, matéria orgânica, fumaça, entre outros, podendo ter origem natural ou antropogênica. Há uma estimativa de que 30% dos aerossóis presentes na atmosfera, tem origem antropogênica, ou seja, produzidos pelos seres humanos, logo sua quantidade no meio atmosférico pode aumentar continuadamente ao longo do tempo (AYOADE, 1996; ALMEIDA, 1999; GOMES, 2010).

A atmosfera, por ser um subsistema não estático, no qual acontecem modificações a todo o momento, acaba sendo impactada tanto pelas substâncias que são emitidas pelos seres vivos, a exemplo, o metano e o dióxido de carbono, como também por atividades humanas agrícolas e industriais, através de substâncias químicas produzidas de forma artificial, como os clorofluorcarbonos (CFCs). Essas substâncias reagem quimicamente na atmosfera, afetando seu equilíbrio e alterando a qualidade do ar (GOMES, 2010).

De acordo com Teixeira et al. (2009), a Terra pode ser considerada um sistema fechado, devido ao fato de não haver trocas significativas de matéria com o universo. No entanto, há trocas de energia. Sendo um sistema fechado, toda a matéria presente na Terra se conserva por inteiro. Logo, é necessário haver uma gestão dos recursos naturais de forma racional, pois eles são limitados. Os poluentes gerados também merecem especial atenção, uma vez que permanecem dentro do sistema terrestre, contribuindo para um risco potencial de desequilíbrio do planeta. Sendo o sistema terrestre composto por subsistemas, onde existem interações entre eles, é interessante que as externalidades geradas pelo uso demaisado dos recursos naturais, bem como a formação de poluentes sejam mantidas dentro dos limites de cada um, para que não haja um efeito em cadeia.

3.2 A POLUIÇÃO DO AR

Para Azuaga (2000) e Saar (2004) a poluição do ar refere-se à presença de substâncias nocivas na atmosfera, que poderão impactar de maneira negativa a saúde e o bem-estar da sociedade, bem como o meio ambiente, através de perdas ou danos à flora e à fauna.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) considera como poluente atmosférico qualquer substância presente no ar que, pela sua concentração, possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso ao meio ambiente e prejudicial à segurança e às atividades normais da população. Dentre os principais poluentes, estão: as partículas totais em suspensão (PTS), fumaça e partículas inaláveis (PI), dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de carbono (CO), Ozônio (O_3) e dióxido de nitrogênio (NO_2) (BRASIL, 1990a).

Os poluentes atmosféricos podem ser emitidos de forma natural, onde os gases são liberados a partir de processos naturais para a atmosfera, como por exemplo, as atividades vulcânicas e as queimadas naturais. Existem também as fontes antropogênicas, nas quais os poluentes são emitidos a partir de atividades humanas. Essas emissões podem ser móveis ou estacionárias. As fontes móveis se referem às fontes que não possuem lugar fixo, como veículos, navios e aeronaves. Já as estacionárias, são fontes que tem lugar fixo, como chaminés

de indústrias, queimadas, entre outros (ALMEIDA, 1999; LOUREIRO, 2005; DAPPER, SPOHR & ZANINI, 2016).

Conforme Moreira e Tirabassi (2004), as principais fontes de emissão de poluentes que colaboram para a degradação da qualidade do ar na área urbana são: emissões industriais, emissões advindas da produção de energia, tráfego veicular e, no caso de países frios, aquecedores.

Segundo Loureiro (2005), os poluentes podem ser classificados, de acordo com a sua origem, em dois grupos: primários e secundários. Os poluentes primários são aqueles emitidos diretamente pela fonte, como exemplo, tem-se o monóxido de carbono, material particulado, compostos orgânicos voláteis, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, entre outros. Na baixa atmosfera, esses poluentes podem sofrer modificações e reações fotoquímicas, originando assim os poluentes denominados secundários, como o ozônio e o trióxido de enxofre.

Os poluentes primários, após serem emitidos, são submetidos a processos de transporte, mistura e transformação química, que influenciam na distribuição das suas concentrações na atmosfera, tanto no espaço como no tempo, pois os níveis de concentração de poluentes na atmosfera dependem de condições de emissão e de condições meteorológicas (TUNDO & ZECCHINI, 2007).

Os poluentes podem ser classificados, em função de seu estado físico, em dois grupos: material particulado, gases e vapores. De acordo com a classe química, os poluentes também podem ser classificados em orgânicos e inorgânicos. A Tabela 2 apresenta a classificação de alguns poluentes do ar (ALMEIDA, 1999).

Tabela 2: Classificação dos poluentes atmosféricos

CLASSIFICAÇÃO		EXEMPLOS
Estado Físico	Material particulado	Poeiras, fumos, fumaça, névoas
	Gases e vapores	CO, CO ₂ , SO ₂ , O ₃ , NO _x , HC, NH ₃ , Cl, H ₂ S
Origem	Poluentes primários	CO, SO ₂ , Cl, NH ₃ , H ₂ S, CH ₄
	Poluentes secundários	O ₃ , Aldeídos, Sulfatos, Ácidos orgânicos, Nitratos orgânicos
Classe Química	Poluentes orgânicos	Hidrocarbonetos, Aldeídos, Ácidos orgânicos, Nitratos orgânicos, Partículas orgânicas
	Poluentes inorgânicos	CO, CO ₂ , Cl, SO ₂ , NO _x , Névoas ácidas

Fonte: ASSUNÇÃO, 1998.

Dentre os poluentes presentes na atmosfera, os principais ocorrem na forma de gases e vapores (CO, CO₂, SO₂, O₃, NO_x, HC, NH₃, Cl, H₂S) ou na forma de partículas sólidas (MP), tais como: poeiras, fumos, fumaça (GODISH, 1991; DRUMM et al., 2014).

3.2.1 Poluentes gasosos

Os poluentes podem ser liberados para atmosfera sob a forma de gás devido às inúmeras atividades antropogênicas e também naturais. O monóxido de carbono (CO), o dióxido de nitrogênio (NO₂), o dióxido de enxofre (SO₂) e o ozônio (O₃) são exemplos de poluentes gasosos (ALMEIDA, 1999; MILANEZ, 2008).

3.2.1.1 Monóxido de Carbono

Monóxido de carbono (CO) é um gás incolor, inodoro, sem sabor e não irritante, logo sua inalação dificilmente é percebida. É um gás perigoso por ser um asfixiante químico, podendo deixar um indivíduo inconsciente ou até levá-lo a óbito (PENNEY, 2000). De acordo com Lacerda, Leroux e Morata (2005) pouco mais da metade de monóxido de carbono presente na troposfera tem origem em atividades antropogênicas. Tais atividades envolvem, por exemplo, os processos de combustão incompleta de materiais carbonáceos, sendo o escapamento dos veículos, uma fonte significativa, pois possui altas concentrações de CO.

O monóxido de carbono (CO) prejudica a oxigenação dos tecidos, podendo ser classificado como asfixiante sistêmico. Isso ocorre por que o CO entra em competição com o oxigênio pela hemoglobina contida nos glóbulos vermelhos do sangue (que realizam o transporte do oxigênio para os tecidos de todos os órgãos do corpo), fazendo com que a mesma não consiga realizar a troca por oxigênio, e nem expulsar o CO. A afinidade da hemoglobina pelo CO é 240 vezes maior que pelo O₂. Logo, se houver saturação do monóxido de carbono na hemoglobina de até 60%, pode ocorrer desde a perda da consciência até a morte (SAAR, 2004; LACERDA; LEROUX & MORATA, 2005).

3.2.1.2 Dióxido de nitrogênio

É um gás irritante e tóxico, que possui forte odor e apresenta coloração castanha. Esse gás participa de reações químicas que provocam a chuva ácida, e também faz parte da formação do *smog* fotoquímico, evento no qual ocorre o aprisionamento de poluentes próximos à superfície da Terra. O NO₂ pode ter origem natural, à exemplo, vulcanismos, decomposição de matéria orgânica, ações bacterianas e descargas elétricas na atmosfera. As atividades humanas

também podem dar origem ao NO₂, por meio do processo de combustão em fontes móveis e fixas (ARBEX et al., 2012).

O dióxido de nitrogênio (NO₂) afeta a saúde humana. O gás pode causar desde problemas de irritabilidade (aos olhos, nariz e mucosas) a uma série de graves doenças respiratórias, como enfisema pulmonar, traqueítis, bronquites, hemorragias alveolares, insuficiência respiratória e até câncer (CASTRO, ARAÚJO & SILVA, 2013). Por ser um gás oxidante e solúvel nos tecidos, ele reage com o epitélio alveolar, bem como com o interstício e o endotélio dos capilares pulmonares. Esse processo pode formar lesões pulmonares, bem como causar o aumento da suscetibilidade às doenças respiratórias (SAMET, 2000).

Quando inalado, o NO₂ atinge e é retido nos pulmões, sendo depositado primariamente nos brônquios, bronquíolos, e nos alvéolos (pequena deposição nessa área) (BRAGA et al., 2001). Os sintomas relacionados a esse poluente não ocorrem de maneira imediata, mas a exposição continuada pode provocar alterações morfológicas pulmonares e transformações no sistema imunológico (CHANEY et al., 1981; SCHELSINGER et al., 1990; FUJIMAKI et al., 1993; BRAGA, PEREIRA & SALDIVA, 2002).

3.2.1.3 Dióxido de enxofre

É um gás bastante tóxico, denso e incolor. Na atmosfera são lançados vários compostos de enxofre, originado de fontes naturais, como vulcões e oxidação de compostos voláteis de enxofre advindos da decomposição de matéria orgânica, além de fontes antropogênicas, que são as principais fontes emissoras. O gás é lançado para atmosfera através da queima de combustíveis fósseis que tenham enxofre em sua composição, principalmente sob a forma de óxido de enxofre (SO_x) e gás sulfídrico (H₂S). Algumas atividades se destacam por suas emissões, como: geração de energia, o uso de veículos e o aquecimento doméstico (MMA, 2017a).

O dióxido de enxofre (SO₂) pode sofrer reações químicas, gerando material particulado e outros óxidos, como o trióxido de enxofre (SO₃), a partir da reação do SO₂ com o oxigênio. Uma vez formado o SO₃, o mesmo pode reagir com a água e formar outro poluente secundário, o ácido sulfúrico (H₂SO₄) (HLAVAY, 1993).

Esse gás além de impactar negativamente o sistema respiratório dos seres humanos, causa irritação nos olhos, alterando a visibilidade. A exposição por curto período de tempo ao SO₂ aponta alterações na eficiência da função pulmonar. Os danos desse gás podem ser irreversíveis, ou seja, esse poluente pode causar a morte em pessoas com histórico de doenças respiratórias e cardiovasculares (SAAR, 2004).

Devido à elevada reatividade desse gás, sua distribuição ao longo do trato respiratório ocorre de maneira não uniforme. O efeito do SO₂ na saúde humana (mesmo em baixa concentração) está relacionado à solubilidade desse gás nas paredes do sistema respiratório, pois ele se dissolve na secreção úmida, alcançando às vias aéreas inferiores, ocasionando espasmos dos bronquíolos (WHO, 1999; CETESB, 2000).

A exposição a grandes concentrações de SO₂ pode irritar o sistema respiratório, danificando os tecidos do pulmão e provocando alterações na defesa pulmonar, bem como o agravamento de doença cardiovascular já existente (SANTOS, 2004). Devido a esse poluente lesar a parte muco-ciliar do indivíduo, o mesmo passa a apresentar doenças crônicas, como, traqueobronquite crônica e doença obstrutiva crônica, no qual o portador fica predisposto a ter infecções respiratórias (BÖHM, 1996; DICKEY, 2000).

3.2.1.4 Ozônio

O ozônio (O₃) é um poluente secundário e sua formação se dá a partir de outros poluentes. Na estratosfera, o mesmo é encontrado naturalmente, com a função de absorver radiação solar, fazendo com que parte dos raios ultravioletas não chegue à superfície terrestre. Já na troposfera é um gás bastante oxidante. Sua formação (ozônio troposférico) ocorre por meio de reações químicas entre o dióxido de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis com a presença de radiação solar (DALLAROSA, 2005).

Este poluente é oxidante, quando na troposfera, pode diminuir a capacidade da função pulmonar, causando irritações nas vias aéreas superiores e inferiores, conjuntivites, náusea, dor de cabeça, falta de ar e tosse. Geralmente, após a exposição a concentrações superiores a 360 µg/m³, os danos na função pulmonar podem ser identificados durante o período de uma hora, e os efeitos vão aumentando de forma gradual nas primeiras horas, aliviando no período de um ou dois dias (NICOLAI, 1999; KOPP et al., 1999; DICKEY, 2000).

3.2.2 Material Particulado

É um conjunto de partículas no estado sólido ou líquido em suspensão na atmosfera, na forma de poeira, neblina, fumaça e fuligem, no qual variam em tamanho, composição química, morfologia, e propriedades físicas. As partículas totais em suspensão (PTS) consistem em partículas com diâmetro igual ou superior 100 µm e materiais com diâmetros de 10 µm e 2,5 µm (MP₁₀ e MP_{2,5}). O material particulado inalável pode se apresentar sob três tamanhos. São eles: ultrafino (MP_{0,1}) com diâmetro aerodinâmico inferior a 0,1µm; fino (MP_{2,5}) com diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 µm; e grosso (MP_{2,5} - MP₁₀) com diâmetro aerodinâmico

entre 2,5 e 10 μm (IOVINE, 2012). O material particulado se constitui pela junção da PTS com material particulado inalável (COELHO, 2007).

A queima de combustíveis fósseis, de biomassa vegetal e emissões de amônia na agricultura são exemplos de fonte de emissões de material particulado (MMA, 2017a). Entre os principais componentes do material particulado, estão: o carbono, o chumbo, o vanádio, o bromo e os óxidos de enxofre e nitrogênio.

3.3 DISPERSÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

De acordo com Cunha (2002), a concentração, o transporte e a diluição da emissão de poluentes na atmosfera têm influência direta sob a qualidade do ar. Devido à rápida dispersão de poluentes atmosféricos, os efeitos deletérios dos mesmos podem ser sentidos tanto a nível local quanto global, podendo ser considerado um problema internacional (CRUZ, 2002).

A dispersão de poluentes varia em função da temperatura do ar, estabilidade e turbulência da atmosfera e velocidade do vento. Este último tem efeito direto na diluição de poluentes atmosféricos, ou seja, os poluentes diluem-se mais rápido em ventos de 10 m/s do que em ventos de 6m/s. Com a taxa de emissão de contaminantes considerada constante pode-se entender que a taxa de concentração do poluente varia inversamente à sua diluição, ou seja, se a velocidade do vento aumenta, a taxa de concentração diminui (ALMEIDA, 1999; CUNHA, 2002).

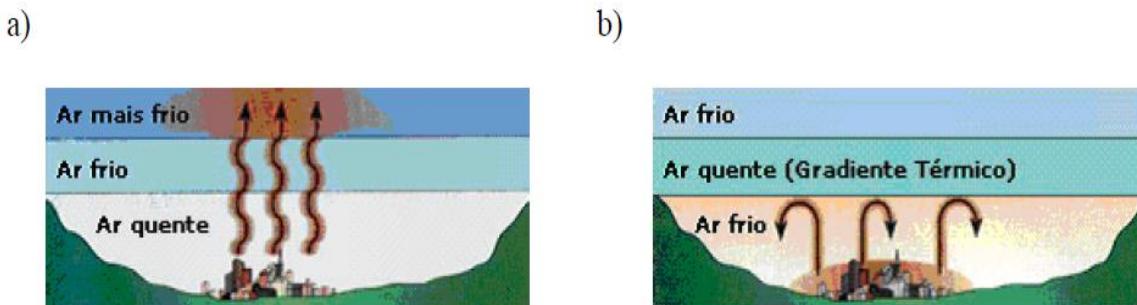
A diluição de poluentes em áreas rurais e urbanas geralmente apresenta uma diferença considerável. Nas áreas urbanas, as superfícies são desiguais e irregulares, por exemplo, devido à presença de muitos edifícios. Logo, essa rugosidade da superfície urbana diminui a angulação da velocidade do vento vertical. Nas cidades, quando comparada ao que ocorre em zonas rurais, a velocidade do vento não acresce em intensidade com relação à altitude, devido à turbulência gerada pela rugosidade da superfície (CUNHA, 2002).

Conforme Almeida (1999), a estabilidade da atmosfera também está intimamente relacionada com a dispersão de poluentes, podendo ser classificada em estabilidade atmosférica neutra; estável ou instável. Os fatores que caracterizam uma condição neutra da atmosfera são, o céu com muitas nuvens e os ventos fortes. Já a elevada radiação solar e ventos de baixa velocidade são característicos de uma atmosfera instável. A presença de ventos leves e a ausência de radiação solar e nuvens referem-se a uma estabilidade atmosférica estável, na qual a temperatura não reduz tão rápido com a elevação da altitude. Esse tipo de condição não é favorável para a dispersão de poluentes, contribuindo para a poluição atmosférica, ou seja,

ocorrerá menor transporte e diluição de poluentes quando a condição da atmosfera se apresentar mais estável.

A dispersão de poluentes pode ser influenciada pela inversão térmica, uma vez que a mesma age como um bloqueio, estabelecendo limites de diluição e transporte de contaminantes. Conforme mostra a Figura 2, a inversão térmica acontece quando uma camada de ar quente se encontra acima de uma camada mais fria. Nos meses de inverno, por exemplo, onde há céu claro e ausência de ventos, acontece a perda de calor por radiação durante o período da noite, fazendo com que o ar mais próximo à superfície da Terra se resfrie e se torne mais denso que a camada de ar localizada a altitudes maiores. Logo, o ar quente funciona como uma barreira para o ar frio, aprisionando os contaminantes, podendo ocasionar casos críticos de poluição atmosférica. A condição térmica normalmente ocorre quando há diminuição da temperatura do ar com aumento da altitude. Tem-se a inversão quando a temperatura do ar aumenta com a altitude, pois o ar seco resfria a uma taxa de 1°C para cada 100 metros de altitude – taxa adiabática seca (DUCHIADE, 1992; ALMEIDA, 1999; CUNHA, 2002).

Figura 2: Inversão térmica



Fonte: MILLER JÚNIOR, 1998.

- a) dispersão normal dos poluentes do ar;
- b) dispersão de poluentes do ar sob efeito de inversão térmica

A inversão térmica colabora para situações críticas de poluição do ar, fazendo com que hajam elevados níveis de concentração e de reação de poluentes, próximo a superfície da Terra, colaborando para a ocorrência do *smog*, que pode ser classificado como *smog* industrial e *smog* fotoquímico. O *smog* industrial é típico em cidades úmidas e frias, formando uma névoa, de cor cinza que recobre determinado local e tem seu pico de concentração nos meses de inverno. Já o *smog* fotoquímico se apresenta na cor avermelhada ou marrom, sendo típico em regiões quentes e com clima seco. Sua ocorrência se dá em dias quentes e com muito sol (BRAGA et al., 2002).

Conforme Miranda e Baptista (2009), a inalação do *smog* reflete negativamente na saúde da população, pois pode desencadear inflamação nas vias aéreas, podendo durar por até

18 horas, acarretando em dificuldade respiratória, agravando casos de alergias, asma e problemas no aparelho circulatório.

Outro fator que colabora para a dispersão de poluentes e consequentes melhorias da qualidade do ar, são as chuvas. As precipitações atuam como um agente de limpeza da atmosfera, pois ao condensar o vapor d'água, carrega consigo grande parte dos contaminantes dispersos no ar. Esse processo melhora a qualidade do ar, mas transfere os poluentes atmosféricos para o solo e águas superficiais, originando outros problemas ambientais (ALMEIDA, 1999).

3.4 EFEITOS DA POLUIÇÃO DO AR

3.4.1 Efeitos no meio ambiente

A poluição do ar pode impactar tanto a fauna quanto a flora, de maneira aguda ou crônica. Nos animais, este tipo de poluição colabora para a deterioração do sistema respiratório, bem como prejuízos aos dentes, olhos e ossos (ASSUNÇÃO, 1998; RADICCHI, 2012; ORMENEZI, 2017).

Na vegetação, os poluentes atmosféricos podem produzir lesões nas folhas, frutos e caule; afetam também o crescimento das plantas, podendo causar interrupção em seu processo reprodutivo, ocasionando a morte de determinadas espécies. Os prejuízos causados à vegetação ocorrem devido à diminuição da capacidade fotossintetizadora, uma vez que o acúmulo de partículas nas folhas reduz a penetração de luz. Os poluentes depositados podem penetrar através das raízes e causar danos na estrutura da planta. Nesse contexto, as áreas verdes podem sofrer redução em sua quantidade, bem como alteração na sua qualidade. A redução dessas áreas pode acarretar a diminuição de fontes de alimentação para demais espécies, fazendo com que haja um *stress* nos ecossistemas (ASSUNÇÃO, 1998).

Alguns poluentes presentes no ar podem contribuir para mudanças climáticas, como por exemplo, o aquecimento da Terra. A elevação de concentrações de gases de efeito estufa – GEE (CO_2 , O_3 , CH_4 , NO_x) na atmosfera, oriundos principalmente de fontes antrópicas, colaboraram para a aceleração do aquecimento global, pois os GEE absorvem parte da radiação solar, retendo o calor nessa camada da Terra, não realizando o seu lançamento para o espaço. É relevante salientar que o efeito estufa é um processo essencial, pois mantém o planeta aquecido, garantindo a manutenção da vida. O problema está no excesso dos poluentes associados ao efeito estufa, que são responsáveis pelo aumento no ritmo do aquecimento na

superfície da Terra (Troposfera) (SANTOS, 2007). A Tabela 3 demonstra quais são os efeitos dos poluentes no meio ambiente.

Tabela 3: Efeitos dos principais poluentes no meio ambiente

Poluentes	Efeitos gerais no meio ambiente
Partículas totais em suspensão - PTS	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
Partículas inaláveis (MP_{10} , $MP_{2,5}$) e Fumaça	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
Dióxido de enxofre (SO_2)	Contribui para a formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação e a colheita.
Dióxido de nitrogênio (NO_2)	Contribui para a formação de chuva ácida, danos à vegetação e a colheita.
Ozônio (O_3)	Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas; plantas ornamentais.

Fonte: Adaptado de CETESB, 2013.

O equilíbrio dos ecossistemas é afetado pela poluição do ar, comprometendo o fornecimento de bens e serviços ambientais. Os ecossistemas exercem funções, que podem ser definidas como as interações entre os elementos de um ecossistema, envolvendo a mudança de energia, regulação de gases, do clima, do ciclo hidrológico e ciclagem de nutrientes (DALY & FARLEY, 2003). As funções do ecossistema podem ser agrupadas em quatro, são elas: regulação; produção; habitat e de informação (DE GROOT et al., 2002).

As funções de regulação estão relacionadas com a capacidade de regulação dos ecossistemas sobre processos ecológicos fundamentais, de apoio à vida, através de ciclos biogeoquímicos e outros processos que envolvam a esfera da vida (ANDRADE & ROMEIRO, 2009). Para Paiva (2010) dentre as funções de regulação, pode-se citar a regulação do clima e de gases. O primeiro caso refere-se à manutenção de um clima oportuno para a saúde humana, no qual elementos que estejam associados a um bom clima devem ser preservados, e não degradados, pois a consequência desta seria a perda de serviços ofertados por esse tipo de função. Já a regulação de gases também possui muita relevância, pois está diretamente relacionada com a manutenção da vida na Terra, uma vez que mantém o ar limpo e adequado para os seres vivos, contribuindo para a prevenção de ocorrência de doenças associadas à poluição atmosférica.

As funções de produção estão associadas aos recursos do meio ambiente, no qual deles possam ser retirados produtos, como: alimentos, drogas para medicamentos, matérias-primas, bem como produtos ornamentais. Com relação às funções de habitat, é relevante salientar que os ecossistemas fornecem o local apropriado para manutenção e reprodução dos seres vivos. Por fim, a última função refere-se à informação, ou seja, está relacionada à possibilidade do fornecimento de meios pelos quais o indivíduo pode se desenvolver espiritualmente e mentalmente, através de informações educacionais, históricas, espirituais e estéticas (PAIVA, 2010).

Abordar o conceito de funções ecossistêmicas é importante, uma vez que é por meio dessas funções que se formam os serviços ecossistêmicos, que são os benefícios tanto diretos como indiretos fornecidos aos seres humanos, a partir dos ecossistemas para satisfazerem as suas necessidades. Conforme Sukhdev (2008), a manutenção da vida na Terra está profundamente associada a capacidade de fornecimento de serviços ecossistêmicos. Dentre esses serviços estão, por exemplo, a constituição do solo, a oferta de alimentos e a regulação do clima (ANDRADE & ROMEIRO, 2009).

3.4.2 Efeitos na saúde humana

A poluição atmosférica ganhou notoriedade a partir da Revolução Industrial, e sua relação com a saúde da população começou a ser mais estudada, principalmente nos centros urbanos que se formaram a partir da era industrial (SANTOS et al., 2008). A rápida urbanização, a atividade industrial e o consequente aumento de veículos, refletiu e ainda reflete na qualidade do ar, afetando negativamente a saúde humana, contribuindo dessa forma para o aumento do número de mortalidade e morbidade por doenças associadas à poluição do ar (DAPPER, SPOHR & ZANINI, 2016).

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), no ano de 2012 foi estimado que 6,5 milhões de mortes prematuras, no mundo, são resultado da exposição à poluição do ar. Tais óbitos estão relacionados a pequenas partículas (por exemplo, MP₁₀) que causam doenças cardiovasculares, respiratórias e cânceres (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2009; 2016; OBERG et al., 2011).

Devido à crescente quantidade de pessoas expostas à poluição atmosférica, a OMS recomenda a adoção de padrões abaixo daqueles vigentes em diversos países, pois admite que um número significativo de óbitos por ano, em todo o mundo esteja relacionado com a degradação da qualidade do ar. Nesse cenário, muitos estudos foram realizados, buscando maiores esclarecimentos sobre os efeitos dos poluentes na saúde humana (SANTOS et al., 2008;

CARNESECA et al., 2012; YANAGI, ASSUNÇÃO & BARROZO, 2012; NASCIMENTO, 2012; CESAR et al., 2013; NASCIMENTO e FRANCISCO, 2013; ROMÃO et al., 2013; NARDOCCI et al., 2013; AMÂNCIO & NASCIMENTO, 2014; GAVINIER & NASCIMENTO, 2014; LIMA et al., 2014; PINHEIRO et al., 2014; SANTOS et al., 2014). A Tabela 4 apresenta os efeitos gerais dos principais poluentes sobre a saúde humana.

Tabela 4: Efeitos gerais dos poluentes atmosféricos sobre a saúde humana

Poluentes	Efeitos gerais sobre a saúde
Partículas totais em suspensão (PTS)	Câncer no pulmão, aumento do risco de doenças respiratórias crônicas, arteriosclerose, asma, bronquite, bem como alterar a frequência cardíaca.
Partículas inaláveis (MP_{10}) e Fumaça	Prejuízos ao sistema respiratório e cardiovascular (doenças respiratórias crônicas, arteriosclerose, asma, bronquite, cânceres). Mortes prematuras.
Dióxido de enxofre (SO_2)	Desconforto na respiração, doenças respiratórias, agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares já existentes. Pessoas com asma, doenças crônicas de coração e pulmão são mais sensíveis ao SO_2 .
Dióxido de nitrogênio (NO_2)	Aumento da sensibilidade à asma e à bronquite, abaixa a resistência às infecções respiratórias.
Monóxido de Carbono (CO)	Altos níveis estão associados a prejuízo dos reflexos, da capacidade de estimar intervalos de tempo, no aprendizado, de trabalho e visual.
Ozônio (O_3)	Irritação nos olhos e vias respiratórias, diminuição da capacidade pulmonar. Exposição a altas concentrações pode resultar em sensações de aperto no peito, tosse, chiado na respiração. O O_3 tem sido ao aumento de admissões hospitalares.

Fonte: CETESB, 2000.

Conforme Coelho (2007) quando uma pessoa respira ar poluído, uma quantidade significativa dos poluentes presentes na atmosfera atinge a circulação do organismo, por meio dos pulmões, podendo afetar muitos órgãos e sistemas do indivíduo. Künzli, Perez e Rapp (2010) apontam que as elevadas concentrações de oxidantes e pró-oxidantes, presentes nos poluentes (PTS, MP_{10} , $MP_{2,5}$, O_3 e NOx), quando entram em contato com o epitélio respiratório, ocasionam a formação de radicais livres de oxigênio e de nitrogênio, fazendo com que haja uma indução do estresse oxidativo nas vias aéreas. Nesse processo, se o aumento de radicais livres no organismo não for combatido pelas defesas antioxidantes, inicia-se uma liberação de células

e mediadores inflamatórios que alcançam a circulação sistêmica, levando a uma inflamação que afeta o sistema respiratório e também pode causar efeitos em outros sistemas do organismo.

Tal inflamação nas vias aéreas, pode reduzir a função pulmonar, elevando o número de casos de asma e doença pulmonar obstrutiva crônica, bem como afetar as internações por doenças cardiovasculares (SHAH & BALKHAIR, 2011).

Outros estudos corroboram Shah e Balkhair (2011), revelando que a exposição a poluentes (gasosos e MP) está associada a maior ocorrência de desfechos envolvendo as vias aéreas superiores (como a tosse, a obstrução nasal, laringoespasmo e disfunção de cordas vocais) e as vias aéreas inferiores, como tosse, sibilância e dispneia, geralmente em crianças (KELLY & FUSSELL, 2011; SCHUSTERMAN, 2011).

A forma como os contaminantes atmosféricos afetam a saúde dos seres humanos ocorre de maneira diferente para cada indivíduo, ou seja, a resposta à uma determinada concentração de poluente vai depender, por exemplo, da faixa etária e da genética. Conforme a literatura, os idosos e crianças são mais suscetíveis à poluição do ar. Isso ocorre devido, entre outros fatores, pelos idosos possuírem um sistema imunológico mais enfraquecido e fragilizado, e a criança, por sua vez, por não ter desenvolvido totalmente o seu sistema imunológico. Com relação à genética, os portadores de doenças crônicas ou alergias, como asma, fibroses e doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC - doenças do sistema respiratório); arritmias, doenças isquêmicas do coração e hipertensão arterial (doenças do sistema circulatório); bem como diabetes são mais suscetíveis a poluição atmosférica (TADANO, 2007; BROOK et al., 2010).

Os poluentes atmosféricos podem afetar a saúde de duas formas, aguda ou crônica. Os efeitos crônicos são aqueles que se manifestam após um longo espaço de tempo entre a exposição e os efeitos, e são avaliados em estudos longitudinais, com duração de anos ou décadas. Já os efeitos agudos ocorrem em um curto espaço de tempo (horas ou dias) após a exposição aos poluentes (BRAGA, ZANOBETTI, SCHWARTZ, 2001). A Tabela 5 apresenta alguns efeitos crônicos e agudos da poluição do ar na saúde humana.

Tabela 5: Efeitos agudos e crônicos da poluição do ar

Efeitos agudos
Aumento da mortalidade
Aumento dos sintomas em pessoas com DPOC ¹ e asma
Aumento da mortalidade por doenças respiratórias
Maior frequência de infecções respiratórias agudas
Aumento do número de internações hospitalares por pneumonia
Aumento de sintomas e sinais de irritação nos olhos, narinas e garganta
Aumento da prevalência de sintomas respiratórios agudos
Alterações agudas na função pulmonar
Aumento do número de consultas médicas, de atendimentos de emergência e de internações
Aumento da taxa de absenteísmo no trabalho e na escola
Efeitos crônicos
Aumento da mortalidade por doenças respiratórias
Aumento da incidência e prevalência de asma e DPOC
Aumento da incidência e mortalidade por câncer de pulmão
Aumento da incidência e de mortalidade por pneumonia
Alterações crônicas na função pulmonar
Redução crônica do VEF ² e CVF ³
Menor desenvolvimento pulmonar em criança e jovens
Aumento da prevalência de pessoas com VEF abaixo da normalidade
Aumento na taxa de declínio do VEF
Outros efeitos
Recém-nascidos com baixo peso
Partos prematuros
Alteração no desenvolvimento cognitivo das crianças

Fonte: Adaptado de KÜNZLI, PEREZ, RAPP, 2010.

1 – Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica

2 – Volume Expiratório Forçado

3 – Capacidade Vital Forçada

Durante a gestação, a exposição da mulher aos poluentes do ar pode comprometer o desenvolvimento do feto, causando prematuridade, baixo peso ao nascer, anomalias congênitas e até levar ao óbito intrauterino ou perinatal (SRÁM et al., 2005). O comprometimento do feto ocorre pelo fato do mesmo inalar os poluentes do ar por meio da mãe, sendo que a gestante pode ter seu sistema respiratório afetado, comprometendo dessa forma o transporte de oxigênio e glicose através da placenta. Os poluentes também podem afetar a coagulabilidade sanguínea da mãe, aumentando a probabilidade de infarto placentário e vilosite crônica (KANNAN et al., 2006; RITZ & WILHELM, 2008).

Devido aos diversos efeitos deletérios causados à saúde humana, pela degradação da qualidade do ar, muitos estudos epidemiológicos começaram a ser desenvolvidos. Tais estudos têm por objetivo avaliar a associação entre poluição atmosférica e casos de morbidade e

mortalidade por doenças associadas a esse tipo de poluição, utilizando para isso modelos estatísticos, como o modelo de regressão de Poisson (TADANO, 2007).

Na Dinamarca, um grupo de 57.053 indivíduos foi acompanhado, entre 1993 e 2006, para avaliar o impacto da poluição do ar referente ao tráfego sobre a incidência doenças pulmonares crônicas (DPOC). Foi verificado que a longo prazo, a exposição à poluição atmosférica colabora para o desencadeamento da DPOC. O estudo revelou associação positiva entre DPOC e a exposição a concentrações de NO₂ (ANDERSEN et al., 2011).

No Brasil, alguns estudos sobre os efeitos da poluição atmosférica na saúde da população revelaram que mesmo quando os poluentes estão abaixo dos níveis de concentração determinados por lei, eles provocam efeitos na saúde humana (SANTOS et al., 2008; MORAES et al., 2010; AMÂNCIO & NASCIMENTO, 2012; GAVINIER & NASCIMENTO, 2014; DAPPER, SPOHR & ZANINI, 2016).

Reis (2009) em seu trabalho, realizado no município de Volta Redonda - Rio de Janeiro, investigou a associação entre a prematuridade e baixo peso ao nascer e a exposição materna aos poluentes atmosféricos, no período de 2003 a 2006. O autor sugere que a exposição a SO₂, O₃, e MP₁₀, ainda que em baixas concentrações, colabora para a prematuridade e o baixo peso ao nascer.

Kloog et al. (2012) buscaram avaliar a associação entre o parto prematuro e o peso ao nascer com a concentração diária de MP_{2,5}, em Massachusetts (EUA), no período de 2000 a 2008. Os autores identificaram que a exposição ao MP_{2,5} durante o último mês gestacional colabora para o baixo peso ao nascer e parto prematuro.

A análise da associação da exposição de mulheres grávidas ao material particulado e os partos prematuros também foi estudada, na cidade de São José dos Campos, São Paulo, no período de 2005 a 2009. A conclusão foi de que a exposição ao material particulado pela gestante está relacionada com o efeito agudo no nascimento de bebês prematuros (LIMA et al., 2014).

Romão et al. (2013) estudaram a associação entre MP₁₀ e baixo peso ao nascer, no município de Santo André, São Paulo, no período de 2000 a 2006. Constataram que a exposição ao material particulado no terceiro semestre gestacional eleva em 26% o risco de baixo peso ao nascer. Tal associação foi identificada ainda com as concentrações de MP₁₀ dentro dos padrões de qualidade do ar.

Para Leite et al. (2011) os efeitos dos poluentes afetam o meio ambiente e a saúde humana, e esse impacto não se restringe aos locais que estão próximos à fonte de emissão, pois os poluentes podem viajar por muitos quilômetros pela atmosfera, chegando até locais distantes.

Nesse sentido, um estudo global foi realizado com objetivo de estimar óbitos prematuros causados por MP_{2,5}, resultante de transporte atmosférico e produção e consumo de bens e serviços em várias regiões do mundo. Os resultados revelaram que 3,45 milhões de mortes prematuras foram relacionadas à poluição MP_{2,5}, no ano de 2007, em todo o mundo. Foi ainda constatado que dessas 3,45 milhões de mortes prematuras, aproximadamente 12% estavam relacionadas a poluição do ar emitida em outra região do mundo diferente daquela em que ocorreu o óbito (ZHANG et al., 2017).

Já no município de Ribeirão Preto, em São Paulo, em 2010, um estudo realizado sobre a relação da incidência de doenças respiratórias alérgicas, em escolas, considerando diversas áreas e o fluxo de veículos com a poluição atmosférica, revelou que onde existe bastante tráfego de veículos ocorreu maior prevalência de asma e rinite (NICOLUSSI et al., 2014).

Amâncio e Nascimento (2012) buscaram estimar a ocorrência de internações por asma, em crianças com até 10 anos, após sua exposição a poluentes (MP, SO₂ e O₃) na cidade de São José dos Campos, São Paulo, no período de 2004 a 2005. Os autores concluíram que existe forte correlação entre internações e o material particulado e o dióxido de enxofre.

Jasinski et al. (2011) analisaram os efeitos dos poluentes na incidência de internações respiratórias de crianças e adolescentes, na cidade de Cubatão, São Paulo, entre 1997 e 2004. Os resultados apontaram que em crianças de 0 a 10 anos foram observados os efeitos do material particulado e do ozônio, e nos adolescentes foi identificada associação com a exposição ao ozônio. Nesse estudo ocorreu um incremento de cerca de 10% nas ocorrências por doenças respiratórias para menores de cinco anos para MP₁₀. Já o O₃ apresentou efeito agudo em crianças e adolescentes, no dia da exposição.

Segundo Cury et al. (2000) os poluentes atmosféricos aceleram o progresso de tumores para a malignidade. Yanagi, Assunção e Barrozo (2012) em seus estudos, buscaram estimar a interferência do material particulado inalável, na ocorrência e mortalidade por neoplasias, na cidade de São Paulo, SP, no período de 1988 a 1997. Os resultados revelaram que o material particulado interfere no aumento da incidência de alguns tipos de câncer (pele, pulmão, tireoide, laringe e bexiga) fazendo com que a mortalidade por câncer consequentemente aumente. Nesse estudo, os dados sobre mortalidade devido à câncer de pulmão, obtiveram maiores correlações com o poluente.

Nardocci et al. (2013) estudaram a relação dos poluentes atmosféricos (MP₁₀; SO₂ e o O₃) com doenças respiratórias e cardiovasculares, no município de Cubatão, São Paulo, no período de 2000 a 2008. Os autores verificaram uma associação entre o material particulado e as internações por doenças respiratórias totais, doenças respiratórias em menores de cinco anos e doenças cardiovasculares em maiores de 39 anos. A partir desse estudo, constatou-se ainda a

associação de dióxido de enxofre em pessoas maiores de 39 anos; do ozônio com doenças cardiovasculares em maiores de 39 anos e com as doenças respiratórias para menores de cinco anos.

Já Nascimento et al. (2012), em seus estudos na cidade de São José dos Campos, São Paulo, nos anos de 2007 e 2008 concluíram que a exposição ao material particulado possui associação com a morbidade por acidente vascular cerebral. Outros autores, como Amâncio e Nascimento (2014) verificaram que existe associação entre a exposição ao material particulado e dióxido de enxofre com o risco de mortalidade por acidente vascular cerebral, na cidade de São José dos Campos, São Paulo, no período de 2005 a 2009.

Gavinier e Nascimento (2014) revelam a partir de seus estudos, que o dióxido de nitrogênio está associado a internações por acidente vascular encefálico, em indivíduos com 50 anos de idade ou mais, em Sorocaba, São Paulo, no período de 2007 a 2011.

Nos estudos de Negrisoli e Nascimento (2013), em Sorocaba, São Paulo, no período de 2007 a 2008, os poluentes atmosféricos e as internações por pneumonia na infância, apresentaram forte correlação (exceto para ozônio). Verificou-se através dos resultados que o dióxido de nitrogênio pode ter efeito agudo em internações por pneumonia, já o efeito da exposição ao material particulado apresentou-se de maneira tardia, ou seja, demorou um pouco mais para notar alterações.

A poluição do ar pode refletir em casos de óbitos por doenças respiratórias e cardiovasculares. Pinheiro et al. (2014) analisaram tal efeito para a cidade de São Paulo, SP, entre 1998 e 2008, e verificaram que uma elevação de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} apresenta um risco relativo de 1,60% para óbitos por doenças respiratórias e 0,85% para óbitos por doenças cardiovasculares.

De acordo com os estudos de Barbosa et al. (2015) nota-se que há relação entre material particulado, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e ozônio com os atendimentos totais de emergência pediátrica, de portadores de anemia falciforme, em São Paulo, de 1999 a 2004.

Pope et al. (2009) a partir de estudos sobre a relação entre a exposição às partículas finas e elevação de morbidade e mortalidade, apontam que possíveis diminuições a exposições a esses poluentes podem acarretar em melhoria da qualidade e expectativa de vida.

De acordo com Anenberg et al. (2010) o ozônio antropogênico e o $\text{MP}_{2,5}$ estão associados às mortes por doenças respiratórias, a nível global, no período desde tempos pré-industriais até ano 2000. Cesar et al. (2013) também verificaram os efeitos do material particulado, e constataram associação entre $\text{MP}_{2,5}$ e internações por doenças respiratórias em crianças de 0 a 10 anos, na cidade de Piracicaba (SP), no período de 2011 a 2012.

De acordo com Peiter e Tobar (1998) em cidades industriais, como é o caso de Volta Redonda, tem se além dos poluentes emitidos pelas indústrias, os poluentes advindos da frota veicular, colaborando para o agravamento do quadro de degradação da qualidade do ar, afetando sobremaneira a saúde humana. Os autores buscaram verificar áreas e grupos populacionais mais vulneráveis a poluição atmosférica, na cidade de Volta Redonda, no período de 1995 a 1997. Os resultados revelaram que a maioria dos bairros com nível de poluição elevado apresentam condições materiais de vida desfavoráveis, e que a zona noroeste do município apresentou situação mais crítica, no que se refere às questões ambientais e socioeconômicas.

3.5 LEGISLAÇÃO SOBRE A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A poluição do ar afeta negativamente o bem-estar humano. Muitos foram os problemas oriundos desse tipo de poluição, acidentes graves como o que ocorreu na Bélgica, em dezembro de 1930, na qual uma forte neblina ocasionada pela emissão de contaminantes atmosféricos (principalmente material particulado) e agravada pela inversão térmica, ocorreu na área industrial do Vale do Meuse, deixando centenas de pessoas com problemas respiratórios e 63 mortes (SANTOS, 2007).

Outro episódio crítico de poluição do ar, ocorreu nos Estados Unidos - EUA, em Donora, na Pensilvânia, em outubro de 1948. Agravado por uma área de alta pressão, as emissões de SO₂, material particulado e CO, permaneceram estacionárias na atmosfera, levando à óbito 20 pessoas e deixando aproximadamente 6.000 pessoas doentes. Em 1952, em Londres, as emissões de SO₂ e material particulado, agravados pela inversão térmica, resultaram na morte de 4000 pessoas, tal episódio, ficou conhecido como “*The Great Smog*”. Em resposta às situações críticas, ocasionadas pela poluição do ar, os governos Britânico e Americano promulgaram o “*Clean Air Act*”, em 1956 e 1955, respectivamente. Este foi um marco no direito, no que se refere à proteção ao meio ambiente, pois introduziu diversas medidas, visando a redução da poluição atmosférica (SCHRENK et al., 1949; BELL & DAVIS, 2001; NEMERY, HOET & NEMMAR, 2001; SANTOS, 2007).

Os referidos episódios, entre outros ocasionados pela poluição do ar, despertaram a atenção do governo e sociedade para este tipo de poluição, que passou a ser reconhecida como risco para a saúde humana, para o bem-estar da população e para a preservação do meio ambiente. Nesse cenário, começaram a ser realizados eventos relacionados à proteção ambiental, tendo como acontecimento marcante, a Conferência das Nações Unidas sobre o Homem e o Meio Ambiente, realizada em Estocolmo, em 1972. Essa Conferência é considerada

como o primeiro evento internacional, voltado para discutir a questão ambiental (PASSOS, 2009; TONIOL & STEIL, 2013).

Tal evento produziu efeitos em diversos países, como por exemplo, no Brasil. A Conferência de Estocolmo, refletiu na criação de órgãos brasileiros específicos para tratar a questão ambiental, bem como na publicação das primeiras leis relacionadas ao meio ambiente, na década de 1970 e 1980 (BARBIERI & SILVA, 2011; POTT & ESTRELA, 2017).

No Brasil, no âmbito federal, a qualidade do meio ambiente, no que se refere aos diversos tipos de poluição, como a do ar, do solo, das águas teve início com o Decreto Lei Nº 1.413, de 14 de agosto de 1975, que estabeleceu sobre o controle da poluição no meio ambiente provocada por atividades industriais (JÚNIOR, 2007).

No início dos anos 1980, foi estabelecida a Política Nacional de Meio Ambiente, através da Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Considerada como um marco ambiental no país, essa lei foi uma resposta às pressões oriundas da Conferência das Nações Unidas, em 1972. A referida lei em seu artigo 3º define poluição como:

Artigo 3: (...) degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:
 a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
 b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
 c) afetem desfavoravelmente a biota;
 d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
 e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (BRASIL, 1981, p. 1).

Essa lei, que estrutura a política ambiental brasileira, criou o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA). O SISNAMA é formado por um conjunto de órgãos e entidades de todos os entes da federação, responsáveis pela proteção, melhoria e recuperação da qualidade ambiental no País. Dentre seus membros encontra-se o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), um órgão consultivo e deliberativo, tendo como competência, estabelecer normas e padrões nacionais de controle da poluição e manutenção da qualidade do meio ambiente (MMA, 2017b).

A Constituição Federal de 1988, que é a base da legislação ambiental brasileira, integrou o conteúdo da Lei Nº 6.938/1981 e estabeleceu as competências legislativas e administrativas da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios. Os entes da federação têm como competência comum, a proteção do meio ambiente e o combate à poluição em qualquer de suas formas. A Carta Magna, em seu art. 225, refere-se ao meio ambiente como um direito coletivo, no qual a preservação é dever do poder público e da coletividade.

Artigo 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder

público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988, p. 75).

No final da década de 1990, por meio da Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, conhecida como Lei de Crimes Ambientais, fica estabelecida as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente (BRASIL, 1998). No âmbito estadual, as sanções administrativas derivadas de condutas nocivas ao meio ambiente, no Estado do Rio de Janeiro são estabelecidas pela Lei Estadual Nº 3.467, de 14 de setembro de 2000. O artigo 1º dessa lei considera infração administrativa ambiental “toda ação ou omissão dolosa ou culposa que viole as regras jurídicas de uso, gozo, promoção, proteção e recuperação do meio ambiente” (CEMARJ, 2000).

De acordo com as competências conferidas ao CONAMA, pela Lei Nº 6.938/1981, o conselho por meio de resoluções, vem estabelecendo normas para o controle da emissão de poluentes do ar, tanto por fontes fixas como por móveis (BRASIL, 1981).

O controle e a prevenção da emissão de contaminantes gasosos e materiais particulados é regida por meio da Resolução do CONAMA Nº 005/1989 de 15/06/1989, que dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar (PRONAR). Tal programa tem por finalidade o estabelecimento de limites de níveis de poluentes, conforme sua fonte (BRASIL, 1989).

Complementam o PRONAR, as Resoluções CONAMA Nº 003/1990, que dispõe sobre os padrões de qualidade do ar, assim como a Nº 008/1990, que estabelece limites para a concentração de determinados poluentes no ar para processos de combustão externa em fontes novas fixas de poluição (BRASIL, 1990a; 1990b).

A Resolução Nº 003/1990, em seu art. 1º, determina que são padrões de qualidade ar “as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral” (BRASIL, 1990a, p. 1).

Por meio das Resoluções Nº 003/1990 e Nº 008/1990, são definidas as concentrações máximas para: partículas totais em suspensão (PTS); fumaça; partículas inaláveis; dióxido de enxofre (SO_2); monóxido de carbono (CO); ozônio (O_3) e dióxido de nitrogênio (NO_2). (BRASIL, 1990a; 1990b).

A redução da emissão de contaminantes atmosféricos, por fontes móveis é regida por meio da Resolução CONAMA Nº 018 de 06/05/1986, na qual é instituído o Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores (PROCONVE). Dentre as finalidades desse programa, estão: i- reduzir os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores, especialmente nos centros urbanos; ii- promover o desenvolvimento tecnológico nacional, tanto

na engenharia automobilística, como também em métodos e equipamentos para ensaios e medições da emissão de poluentes; iii- criar programas de inspeção e manutenção para veículos automotores em uso; iv- promover a conscientização da população com relação à questão da poluição do ar por veículos automotores; v- estabelecer condições de avaliação dos resultados alcançados; e vi- promover a melhoria das características técnicas dos combustíveis líquidos, visando a redução de emissões poluidoras à atmosfera (BRASIL, 1986).

O controle da emissão de poluentes, oriundos de veículos automotores está previsto também no Código de Trânsito Brasileiro, instituído pela Lei Nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Conforme a referida Lei, em seu artigo 104:

Artigo 104 - os veículos em circulação terão suas condições de segurança, de controle de emissão de gases poluentes e de ruído avaliadas mediante inspeção, que será obrigatória, na forma e periodicidade estabelecidas pelo CONTRAN para os itens de segurança e pelo CONAMA para emissão de gases poluentes e ruído (BRASIL, 1997, p. 26).

3.5.1 Padrões de qualidade do ar

Os padrões de qualidade do ar referem-se a um limite máximo de concentração de um determinado poluente atmosférico, visando propiciar uma margem de segurança, de proteção da saúde e bem-estar da população. A fixação de padrões, mediante Leis, Decretos, Resoluções, e Portarias são importantes para a realização do monitoramento da qualidade do ar (MMA, 2017c).

No Estado do Rio de Janeiro, o monitoramento e diagnóstico da qualidade do ar são realizados pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), vinculado à Secretaria de Estado do Ambiente. Tal órgão tem como finalidade a execução de políticas estaduais do meio ambiente, de recursos hídricos e de recursos florestais. A criação do INEA ocorreu em 2007, através da Lei N 5.101, sendo regulamentada no ano de 2009, com o Decreto Nº 41.628 (INEA, 2017b).

O instituto atua de forma descentralizada, por meio de Superintendências Regionais correspondentes às regiões hidrográficas do Estado. A rede de monitoramento da qualidade do ar do INEA é constituída por estações automáticas, que realizam as amostragens de forma contínua de gases e material particulado. Além das estações automáticas, a rede é composta também por estações semiautomáticas, que realizam o monitoramento das concentrações de poluentes, por 24 horas ininterruptas, a cada 6 dias. As estações que compõe a rede de monitoramento são operadas e mantidas pelo INEA, ou seja, próprias do instituto, porém há outras estações que são operadas e mantidas por organizações com maior potencial poluidor,

neste caso, “todos os dados provenientes desses monitoramentos são transmitidos em tempo real, quando oriundos de estações automáticas, e integrados ao banco de dados do INEA” (INEA, 2015, p. 4).

O monitoramento da qualidade do ar é um importante instrumento que permite o diagnóstico e avaliação da qualidade do ar. As informações oriundas através da rede de monitoramento fornecem subsídios ao poder público e à sociedade, tal controle é realizado pelos órgãos ambientais, mediante padrões de qualidade do ar, já fixados pela legislação (SANTANA et al., 2012).

Segundo a Resolução CONAMA Nº 003/1990, há dois tipos de padrões de qualidade do ar, são eles: os primários e os secundários. O padrão primário refere-se aos níveis máximos de concentração de poluentes, relacionado a metas de curto e médio prazo. Já o padrão secundário, trata dos níveis de desejados de concentração de poluentes, referente à meta de longo prazo. O artigo 2º, da referida Resolução traz os conceitos dos tipos de padrões.

Artigo 2 (...) I - Padrões Primários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população.

II - Padrões Secundários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral (BRASIL, 1990a, p. 2).

A aplicação dos padrões (primário e secundário) necessita que o território brasileiro seja dividido em classes I, II, III, de acordo com a utilização pretendida, como pode ser visto na Tabela 6. Porém, enquanto não existe classificação das áreas, os padrões aplicáveis serão os primários (BRASIL, 1990a).

Tabela 6: Classificação das áreas do território nacional, conforme a Resolução CONAMA Nº 005/1989

CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III
Áreas de preservação, lazer e turismo, tais como Parques Nacionais e Estaduais, Reservas e Estações Ecológicas, Estâncias Hidrominerais e Hidrotermais. Nestas áreas deverá ser mantida a qualidade do ar em nível o mais próximo possível do verificado sem a intervenção antropogênica.	Áreas onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão secundário de qualidade.	Áreas de desenvolvimento onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão primário de qualidade.

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1989.

Os padrões de qualidade do ar possuem papel fundamental na gestão da qualidade do ar. No Brasil, tais padrões são estabelecidos por meio da Resolução CONAMA Nº 003/1990, apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Padrões de qualidade do ar, no Brasil

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas Totais em Suspensão - PTS	24 horas ⁽¹⁾	240	150
	MGA ⁽²⁾	80	60
Dióxido de Enxofre - SO ₂	24 horas ⁽¹⁾	365	100
	MAA ⁽³⁾	80	40
Monóxido de Carbono - CO	1 hora ⁽¹⁾	40.000 (35ppm)	40.000 (35ppm)
	8 horas ⁽¹⁾	10.000 (9ppm)	10.000 (9ppm)
Ozônio - O ₃	1 hora ⁽¹⁾	160	160
Fumaça	24 horas ⁽¹⁾	150	100
	MAA ⁽³⁾	60	40
Partículas Inaláveis MP ₁₀	24 horas ⁽¹⁾	150	150
	MAA ⁽³⁾	50	50
Dióxido de Nitrogênio - NO ₂	1 hora ⁽¹⁾	320	190
	MAA ⁽³⁾	100	100

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1990a.

1. Não deve ser ultrapassado mais que uma vez ao ano;
2. MGA – média geométrica anual;
3. MAA – média aritmética anual.

Conforme a Constituição Federal de 1988, em seu artigo 24, os Estados e o Distrito Federal podem estabelecer padrões de qualidade do ar próprios, desde que sejam mais restritivos do que os padrões nacionais. A definição e revisão dos padrões de qualidade do ar, a nível nacional, compete ao CONAMA (BRASIL, 1988).

A Resolução CONAMA N° 003/1990 também estabelece os critérios para episódios agudos de poluição atmosférica, visando à elaboração de planos de prevenção e emergência. Para tanto, são determinados três níveis críticos de poluição, são eles: atenção, alerta e emergência, em ordem crescente de gravidade, na qual existe a presença de altas concentrações de poluentes no ar, em um curto período de tempo, conforme apresentado na Tabela 8 (BRASIL, 1990a).

Tabela 8: Critérios para caracterização de episódios agudos de poluição do ar

Parâmetros	Período (h)	Concentrações Limite		
		Atenção	Alerta	Emergência
Dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	800	1600	2100
Partículas totais em suspensão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	375	625	875
Dióxido de enxofre				
Partículas totais em suspensão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 ^x	65.000	261.000	393.000
Monóxido de carbono (ppm)	8	15	30	40
Ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1	400	800	1.000
Partículas inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	250	420	500
Fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	250	420	500
Dióxido de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1	1.130	2.260	3.000

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1990a.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estabelece recomendações quanto à adoção de normas e padrões, com aplicação global, porém, a organização enfatiza que, cabe a cada país estabelecer seus próprios padrões de qualidade do ar, devido as suas especificidades. Os níveis máximos de concentração de poluentes, propostos pela OMS, podem ser vistos na Tabela 9 (SANTANA et al., 2012).

Tabela 9: Níveis máximos recomendados pela Organização Mundial da Saúde

Poluente	Tempo de amostragem	Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dióxido de Enxofre - SO_2	24 horas	20
	10 minutos	500
Monóxido de Carbono - CO	1 hora	30
	8 horas	100
Ozônio - O_3	8 horas	100
Partículas Inaláveis MP ₁₀	24 horas ⁽¹⁾	50
	MAA ⁽³⁾	20
Dióxido de Nitrogênio - NO ₂	1 hora ⁽¹⁾	200
	MAA ⁽³⁾	40

Fonte: SANTANA et al., 2012.

No Brasil, os padrões de qualidade do ar, quando comparados com as concentrações limites da Organização Mundial de Saúde, revelam-se conservadores, com limites maiores do que os recomendados pela Organização (SANTANA et al., 2012).

4 METODOLOGIA

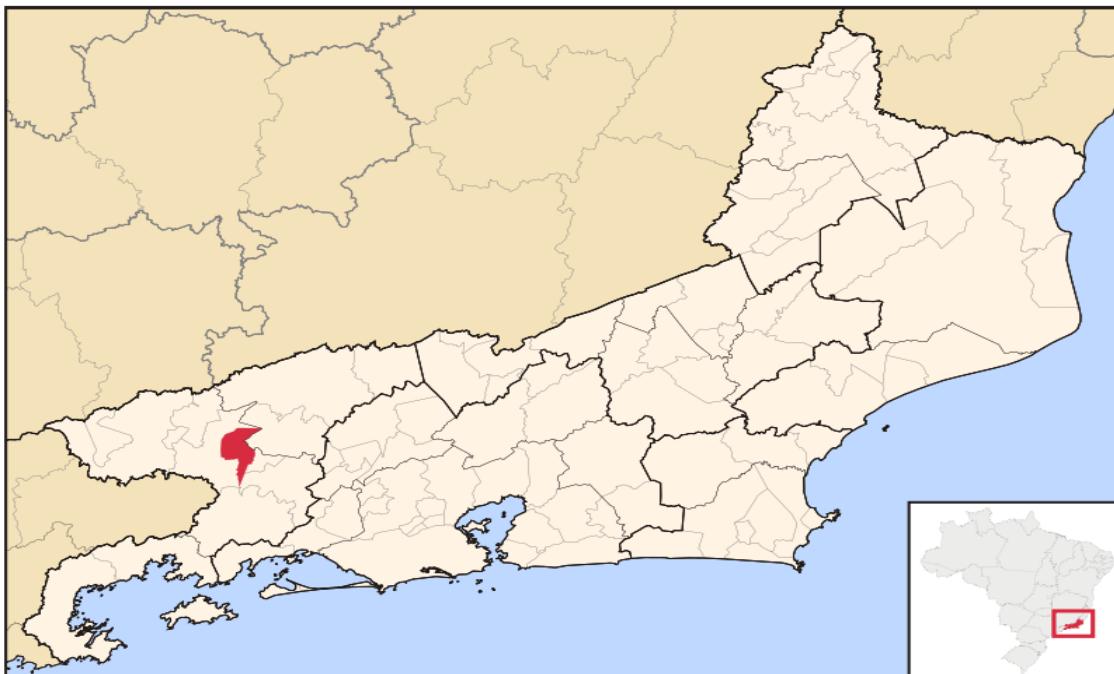
Esta pesquisa foi realizada no município de Volta Redonda, interior do estado do Rio de Janeiro. Trata-se de um estudo ecológico de séries temporais, realizado a partir de dados secundários. Foram analisadas as associações entre as concentrações diárias dos contaminantes atmosféricos e o número diário de morbidade por doenças do sistema respiratório e circulatório. Após a determinação do número de casos da doença que foram associados à poluição atmosférica, foram calculados os gastos relacionados às internações. Foi realizado também um estudo de geoprocessamento, que permitiu a análise da distribuição espacial das internações, por local de residência, com intuito de verificar os bairros mais afetados da cidade. Foram utilizados para tais estudos dados considerando o período de 01 de janeiro de 2013 a 31 de dezembro de 2015.

Neste trabalho também foi realizada a análise química da poeira de Volta Redonda, com o objetivo de identificar quais metais pesados estão presentes no material particulado. Tal análise compreendeu o período de março a junho de 2017.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo do presente trabalho é a cidade de Volta Redonda. O município está situado ao Sul do Estado do Rio de Janeiro, no trecho inferior do médio vale do Rio Paraíba do Sul, entre as serras do Mar e da Mantiqueira. Localiza-se a 22° 29' 00" de latitude sul e 44° 05' 00" de longitude oeste, com altitude de 390 metros, ocupando uma área de 182,317 km², sendo 128 km² na zona rural e 54 km² na região urbana (PREFEITURA MUNICIPAL DE VOLTA REDONDA, 2017). A Figura 3 mostra a localização de Volta Redonda no Estado do Rio de Janeiro.

Figura 3: Localização do município de Volta Redonda no Estado do Rio de Janeiro



Fonte: PMVR, 2017.

A cidade possui um clima mesotérmico, apresentando invernos secos, e verões quentes e chuvosos, com elevado índice de umidade (77%). A direção predominante dos ventos ocorre em sentido noroeste, sendo a temperatura média do município 21°, e a precipitação média anual de 1.377,9 mm (PMVR, 2017).

Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2017), a população no município, no ano de 2016 foi estimada em 263.659 habitantes. Fato este que faz com que cidade seja considerada a maior do Sul Fluminense e a terceira maior do interior do estado do Rio de Janeiro.

Volta Redonda é cortada pelo Rio Paraíba do Sul, que corre de Oeste para Leste, sendo considerado a principal fonte de abastecimento do município, bem como responsável pelo seu nome, devido a um acidente geográfico no seu curso. A cidade tem como municípios limítrofes Barra Mansa (Norte, Noroeste, Oeste e Sudoeste), Barra do Piraí (Nordeste), Pinheiral e Piraí (Sudeste e Leste) e Rio Claro (Sul). Volta Redonda encontra-se em uma área estratégica, a 310 km da cidade de São Paulo, a 127 km da cidade do Rio de Janeiro e a 185 km de Minas Gerais (PMVR, 2017)

Para Paiva (2010) a cidade é considerada um grande centro econômico da meso-região Sul Fluminense, onde está localizada a maior indústria siderúrgica da América Latina, a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). A economia do município embora pautada no setor industrial apresenta uma diversificação de atividades voltadas para o setor de serviços e

comércio. Tal diversificação colabora para o aumento da população flutuante em Volta Redonda, chegando a até 330.000 habitantes por dia.

Volta Redonda tem como principais fontes de emissão de poluentes atmosféricos a atividade industrial e a frota veicular, que colaboram significativamente para a degradação da qualidade do ar na cidade. A quantidade de veículos que trafega diariamente no município, é considerável, além dos residentes, existem pessoas que trabalham e estudam em Volta Redonda, mas são residentes de outras cidades. Há ainda a circulação de caminhões que cruzam a cidade.

Segundo Peiter e Tobar (1998), o município de Volta Redonda, desde sua criação enfrenta muitos problemas ambientais e sociais, atribuídos em grande medida à atividade industrial no local. Problemas estes que são intensificados pela cidade apresentar um número considerável de veículos. Para os autores, tais problemas impactam de forma desigual o espaço da cidade, gerando áreas críticas e com diferentes intensidades.

Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Volta Redonda é o segundo município do Estado do Rio de Janeiro com maior potencial poluidor, atrás somente da cidade do Rio de Janeiro (IBGE, 2010).

O município conta com estações automáticas e semiautomáticas. Das dez estações de monitoramento, sete são semiautomáticas. Duas estações semiautomáticas são operadas pelo INEA (estação de Volta Grande e do Jardim Paraíba), e o restante é operado e mantido pela rede privada (estação do Aeroclube, do Conforto, do Limoeiro, do Centro, e do Siderville). Com relação às estações automáticas (estação do Belmonte, Retiro e Vila Santa Cecília), todas são operacionalizadas pela iniciativa privada (INEA, 2017a).

4.2 COLETA DE DADOS

4.2.1 Dados sobre a saúde

Foram selecionados e analisados dados referentes ao número diário de internações por doenças do sistema respiratório (doenças do capítulo X da CID 10, categorias J00-J99²) e por doenças do sistema circulatório (doenças do capítulo IX da CID 10, categorias I00-I99³),

² Faringite aguda e amigdalite aguda, laringite e traqueite agudas, outras infecções agudas das vias aéreas superiores, influenza [gripe] e pneumonia, bronquite aguda e bronquiolite aguda, sinusite crônica, outras doenças do nariz e dos seios paranasais, doenças crônicas das amígdalas e das adenóides, outras doenças do trato respiratório superior, bronquite, enfisema e outras doenças pulmonares obstrutivas crônicas, asma, bronquiectasia, pneumoconiose, outras doenças do aparelho respiratório.

³Febre reumática aguda, doenças reumáticas crônicas do coração, doenças hipertensivas, doenças isquêmicas do coração, doenças cardíaca pulmonar e da circulação pulmonar, outras formas de doença do coração, doenças cerebrovasculares, doenças das artérias, das arteríolas e dos capilares, doenças das veias, dos vasos linfáticos e dos

considerando o período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015. Devido à considerável diferença existente na forma em que cada faixa etária reage a determinado fator, a coleta dos dados foi realizada a partir da estratificação por faixa etária, sendo elas as seguintes: crianças menores que cinco anos, idosos com 60 anos ou mais e o total de internações por doenças respiratórias. Com relação às internações por doenças circulatórias foi analisado o total de ocorrências, bem como o número de internações em pessoas com 40 anos ou mais.

Os dados relacionados às internações hospitalares do Sistema Único de Saúde (SUS) foram enviados pelo Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde do Brasil (DATASUS), via *e-mail*. As informações coletadas referentes às internações hospitalares foram: município de residência, código de endereçamento postal (CEP), ano, mês, idade, sexo, data de entrada e saída da internação, diagnóstico principal, valor médio gasto e o valor total gasto com cada internação.

Os dados sobre às internações hospitalares referem-se às ocorrências realizadas em hospitais da rede pública, e conveniados. Logo, não são contabilizadas as internações na rede privada, o que acarreta em subestimação de gastos. Tal fato, pode ser considerado uma limitação para estudos como este.

4.2.2 Dados ambientais

A concentração média diária do material particulado (MP_{10}) e das partículas totais em suspensão (PTS), a maior média horária diária de ozônio (O_3), bem como a temperatura e umidade relativa do ar foram obtidos pelo Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro (INEA), oriundos das estações de monitoramento automático da qualidade do ar, localizadas em Volta Redonda, nos bairros Belmonte, Vila Santa Cecília e Retiro.

Após a imputação dos dados faltantes utilizando o algoritmo EM (expectation-maximisation) modificado, foram calculadas as concentrações médias diárias do MP_{10} , PTS, umidade relativa do ar, temperatura e a maior média horária diária de O_3 das três estações. O método de imputação leva em consideração as estruturas de dependência entre as variáveis e a dependência temporal de cada variável (JUNGER, 2008). Para a realização da imputação foi utilizada a plataforma estatística R.

gânglios linfáticos, não classificadas em outra parte. Outros transtornos e os não especificados do aparelho circulatório.

4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

A análise estatística dessa pesquisa envolveu duas etapas: a análise descritiva dos dados e a análise da regressão.

4.3.1 Estatística Descritiva

A análise estatística descritiva dos dados constituiu no cálculo da média aritmética, valor mínimo e máximo, e desvio padrão para a variável internações estratificadas por faixas etárias por doenças dos sistemas respiratório (crianças menores que cinco anos, idosos com 60 anos ou mais e para o total de internações) e circulatório (pessoas com 40 anos ou mais e para o total de ocorrências); para os poluentes PTS, MP₁₀, O₃ e para fatores climáticos (temperatura e umidade relativa do ar). Os cálculos foram feitos com o auxílio do software Microsoft Excel®, e os gráficos para as referidas variáveis foram feitos com o uso do software R, gerando curvas suavizadas.

4.3.2 Análise de Regressão

Para as análises da regressão, foram consideradas como variáveis dependentes ou variáveis resposta:

- a) as contagens diárias de internações por doenças do sistema respiratório para todas as faixas etárias, ou seja, totais;
- b) as contagens diárias de internações por doenças do sistema respiratório para crianças de 0 a 5 anos;
- c) as contagens diárias de internações por doenças do sistema respiratório para indivíduos com mais de 60 anos;
- d) as contagens diárias de internações por doenças do sistema circulatório para todas as faixas etárias, ou seja, totais;
- e) as contagens diárias de internações por doenças do sistema circulatório para indivíduos de 40 anos ou mais.

Como variáveis independentes, ou variáveis explicativas, foram consideradas as concentrações médias diárias do PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e MP₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), e maior média horária diária de O₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Já as variáveis de controle admitidas neste trabalho, foram: dias da semana (7 indicadores para os dias da semana – 1 para o domingo, 2 para segunda-feira, 3 para terça-feira, ...), feriados nacionais e municipais (2 indicadores – 0 para a ausência de feriado no dia e 1 para os dias de feriado), temperatura e umidade relativa do ar.

Inicialmente, foi calculado o coeficiente de correlação de *Pearson* entre as variáveis dependentes e os poluentes PTS, MP₁₀ e O₃ (variável independente) e as variáveis climáticas (umidade relativa do ar e temperatura), com a finalidade de se verificar a existência de associação entre os dados, o nível de significância adotado foi igual ou menor que 20%.

Com vistas a estimar a associação existente entre o número de internações diárias por doenças do sistema respiratório e circulatório para os grupos selecionados, com as variações diárias na concentração dos poluentes selecionados, adotou-se o Modelo Aditivo Generalizado (MAG) de regressão de Poisson (Equação 1), que tem sido muito utilizado em diversos estudos como este (MARTINS et al., 2002; DAUMAS, 2002; CARNESECA et al., 2012; YANAGI, ASSUNÇÃO & BARROZO, 2012; NASCIMENTO, 2012; CESAR et al., 2013; NASCIMENTO e FRANCISCO, 2013; ROMÃO et al., 2013; NARDOCCI et al., 2013; AMÂNCIO & NASCIMENTO, 2014; GAVINIER & NASCIMENTO, 2014; LIMA et al., 2014; SANTOS et al., 2014; BARBOSA et al., 2015).

$$\ln(E(Y_t)) = \beta X_{1t} + \sum_{i=2}^p S_i(X_{jt}) \quad \text{equação 1}$$

O MAG se baseia em funções não paramétricas, denominadas curvas de alisamento⁴, na qual a forma da associação é definida pelos próprios dados. Por não apresentar uma estrutura rígida, diferente de modelos baseados em funções lineares, como os Modelos Lineares Generalizados, a utilização do MAG permite revelar possíveis não linearidades nas relações estudadas (CONCEIÇÃO, SALDIVA & SINGER, 2001).

O modelo de regressão de Poisson tem como particularidade a análise de eventos contábeis ao longo do tempo, como exemplo, tem-se o número diário de internações (GUJARATI, 2006; PAIVA, 2010).

Antes da estimação da regressão, foi construído um modelo de base (*corel mode*), que contém as variáveis de controle, que são aquelas que podem explicar a variável independente, com exceção dos poluentes (JUNGER, 2008).

Uma vez que essas variáveis dependentes são influenciadas por fatores sazonais e pelas condições climáticas, o uso de variáveis de controle é importante, pois permitem o ajuste de tendências temporais (CONCEIÇÃO et al., 2001; TADANO, 2007; COELHO, 2007).

Nesse caso, com o objetivo de controlar a tendência e a sazonalidade da série temporal, foram introduzidas funções *splines* da variável tempo; os dias de semana e feriados nacionais e

⁴Curvas de alisamento são curvas ajustadas através de uma função que por definição deve ser mais “suave” do que os valores de y, ou seja, devem ter menor variabilidade do que os valores de y (TADANO, 2007).

municipais por meio de variáveis indicadoras; e funções *splines* para fatores climáticos, como a temperatura média e a umidade relativa do ar. O modelo base foi selecionado a partir da análise do diagnóstico proposto por Junger (2008).

Após a seleção do modelo de base, foi estimado o Modelo Polinomial de Defasagem Distribuída (PDLM), com defasagem *-lag*, variando de 1 a 7 dias, para todas as variáveis independentes, com o objetivo de identificar a existência de associação entre o número de internações (doenças respiratórias e circulatórias) e as variáveis ambientais para um período máximo de uma semana.

Segundo Coelho (2007), é importante a determinação de uma estrutura de defasagem *-lag*, pois as manifestações biológicas dos efeitos da poluição do ar e das variáveis climáticas sobre a saúde humana podem apresentar uma defasagem em relação à exposição do indivíduo aos agentes poluidores e climáticos. Logo, as internações observadas em um dia específico podem estar relacionadas tanto com a poluição e clima do dia, como a poluição e clima observados em dias anteriores.

Os efeitos para cada poluente introduzido ao modelo foram estimados, proporcionando, dessa forma, o risco relativo percentual (RR%) para cada incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Os riscos relativos (RR%) expressam a variação percentual no número médio de internações para a variação de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis dos poluentes, com nível de significância adotado de 5% em todas as estimativas. O RR% é derivado a partir do RR, utilizando-se a seguinte equação:

$$\text{RR\%} = (\text{e}^{10\beta} - 1) * 100 \quad \text{equação 2}$$

O risco relativo refere-se à associação entre um fator particular, a exemplo, a concentração de poluentes atmosféricos e o risco de ocorrer certo resultado, como o número de pessoas com problemas respiratórios em determinado local (EVERITT, 2003).

A qualidade de ajuste do modelo estatístico escolhido foi estimada através da análise de resíduos dos agravos em saúde e na minimização do Critério de Informação de Akaike (AIC). Para o diagnóstico do resíduo foram usados gráficos de resíduo de *deviance*, da distância de Cook, de normalidade dos resíduos, periodograma, função de autocorrelação parcial (JUNGER, 2008). As análises estatísticas foram realizadas por meio da plataforma estatística R versão 3.4.2, com biblioteca mtsdi e ARES versão 0.7.2.

4.4 ANÁLISE DOS GASTOS COM INTERNAÇÕES

A valoração econômica dos efeitos oriundos da poluição do ar, geralmente, é pautada na mensuração dos custos de saúde, gerados pela mesma. A estimativa do Valor Econômico do Ar (VEA) foi realizada pelo Método dos Custos Evitados (MCE)⁵. O valor estimado pelo MCE representa um custo que poderia ser evitado caso houvesse a manutenção da qualidade do ar (PAIVA, 2010).

Para que o VEA fosse calculado, foi preciso verificar o número de internações que estiveram associadas à poluição atmosférica. Após a análise dos resultados referentes à estimativa da associação entre as internações e a exposição à concentração dos poluentes atmosféricos, foi verificado se o aumento de sua concentração contribui para o acréscimo do número de internações por doenças respiratórias e doenças do sistema circulatório.

A partir dos resultados obtidos, foi calculado para o período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015, o número de internações associadas à poluição atmosférica em Volta Redonda. Para o cálculo dos gastos foram consideradas as internações totais, por doenças respiratórias e circulatórias. A estimativa do número de casos atribuíveis ao fator de risco, ou seja, a exposição aos poluentes, foi calculada da seguinte forma (FREITAS, PEREIRA & SALDIVA, 2002; CAMEY, 2010):

$$NA = \frac{(RR-1)}{RR} \cdot N \quad \text{equação 3}$$

Onde: NA é o número de casos atribuídos à concentração do poluente analisado; RR é o risco relativo de internações devido à poluição, e N é o número de internações por doenças respiratórias ou circulatórias, para todas as faixas etárias, no período analisado.

Com base no número de internações associada à poluição do ar, foi estimado o custo dessa poluição. Tal custo foi calculado por meio da multiplicação do valor médio da internação pelo número de internações.

4.5 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS INTERNAÇÕES HOSPITALARES

A distribuição espacial permite, por meio do mapeamento, a identificação da relação entre as internações com o território, revelando áreas críticas, ou seja, áreas de maior ocorrência

⁵Tal método estima o valor de um recurso ambiental através da mensuração dos gastos evitados ou a serem evitados com atividades defensivas, substitutas ou complementares para alguma característica ambiental (PEARCE, 1993).

de internações, podendo estas estarem relacionadas com as condições ambientais de um determinado espaço. Tais informações podem colaborar para a tomada de decisão e elaboração de políticas públicas pelos agentes públicos (LOPES & RIBEIRO, 2006).

Para a análise da distribuição espacial dos agravos em relação às variáveis ambientais, foi realizado um estudo de geoprocessamento, por meio da utilização de um *Geographic Information Systems* (GIS). Este sistema de informação em estudos na área de saúde pública é bastante utilizado, uma vez que permite a elaboração de mapas, que demonstram áreas de maior incidência de determinada variável (no caso desse estudo, a variável é o número de internações por doenças respiratórias e circulatórias) (LOPES & RIBEIRO, 2006; MOTA, 2009; MUKAI, NASCIMENTO & ALVES, 2009; MORAES et al., 2010; ROCHA, 2012).

Os dados cartográficos digitais foram obtidos através do *site* da Prefeitura Municipal de Volta Redonda (PMVR), na escala de 1:50.000, com projeção em UTM e sistema Sírgas 2000, zona 23.

A taxa de internações por doenças no sistema respiratório e por doenças do sistema circulatório, foram georreferenciadas, gerando um mapa para verificar a distribuição espacial por bairros, através da graduação de cores, por meio do programa QGIS 2.14, de domínio público. Foi gerado também outro mapa com a finalidade de observar quais são os setores com maior ocorrência de casos, para este também foram utilizadas as taxas das internações.

Devido a base cartográfica levar em consideração os bairros oficiais do município, apresentando um número de bairros diferente dos considerados pelo DATASUS, foram realizadas adaptações. O bairro Jardim Belmonte não consta na tabela de internações do DATASUS, mas consta na lista de bairros, disponíveis pela PMVR, devido a este fato, a área correspondente ao Jardim Belmonte no mapa, foi compreendida entre os bairros Padre Josimo Tavares e Siderlândia. O mesmo ocorreu com o bairro Rio das Flores, no qual foi considerado como bairro Roma.

4.6 ANÁLISE DAS PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO – PTS

Foi realizada a análise das Partículas Totais em Suspensão (PTS), a fim de verificar se há presença de metais pesados na amostra de poeira da cidade de Volta Redonda. A coleta foi realizada no período de março a junho de 2017, em alguns bairros considerados mais afetados, são eles: Conforto, Belmonte, Vila Santa Cecília e Retiro, totalizando 56 coletas. As coletas das amostras foram realizadas em dois ciclos, ou seja, duas vezes em cada bairro, no qual eram coletadas sete amostras (após as coletas, as amostras foram unificadas).

4.6.1 Coleta do material particulado por AGV

As coletas de material Particulado Total em Suspensão (PTS) foram realizadas em parceria com o Centro Universitário de Volta Redonda (UNIFOA). As amostras foram coletadas utilizando-se um Amostrador de Grande Volume AGV PTS, da marca Energética. O equipamento atende o método NBR 9547 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (DIAS, 2016). O AGV PTS é apresentado na Figura 4.

Figura 4: Amostrador de Grandes Volumes AGV PTS



Fonte: DIAS (2016).

Conforme os critérios da U.S. EPA, a localização do AGV PTS, atendeu as seguintes exigências, tais como: o equipamento deve ficar afastado em no mínimo 20 m de árvores, edifícios ou outros grandes obstáculos; a entrada do amostrador deve ficar de 2 a 15 m do solo; o fluxo de ar ao redor do AGV PTS deve ficar livre de qualquer obstrução; não se deve colocar o amostrador diretamente no solo e nem perto de chaminés ou exaustores; caso a amostra tenha que ser analisada quimicamente, deve ser avaliado o potencial de contaminação no local (DIAS, 2016).

O AGV PTS, depois de instalado num local adequado de medição, captou certa quantidade de ar ambiente por meio de um filtro, instalado dentro de uma casinha de abrigo, durante um período de amostragem de 24 horas. A vazão imprimida pelo aparelho ocorreu dentro da faixa de 1,1 m³/min a 1,7 m³/min. A vazão, bem como a geometria da entrada da casinha, e a velocidade e da direção do vento, favorecem a coleta de partículas de até 25-50 µm (diâmetro aerodinâmico) (DIAS, 2016).

Para a coleta de amostras de PTS, foram utilizados filtros de fibra de vidro, GF/A de 8x10 polegadas, fabricado pela Whatman (categoria 1820_866, lote 9549816) que foram estabilizados por 24 horas, em dessecador com sílica gel, para remoção da umidade antes de

efetuar a pesagem inicial dos filtros. Tais filtros são específicos para uma eficiência mínima de 99 % para a coleta de partículas FDO (Ftalato de Dioctil) de 0,3 µm. Para a pesagem dos filtros foi usada uma balança analítica, da marca Schimadzu, modelo Ay-220, com precisão de 0,1 mg (certificado no Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), pelo número 00415653). Foi adotado para o manuseio dos filtros, a utilização de luva e de pinça, visando evitar danos aos mesmos.

Antes da realização da primeira coleta o AGV PTS foi calibrado através de orifício e manômetro de coluna d'água em U, segundo a recomendação do método NBR 9547. A calibração do aparelho ocorreu a cada 7 dias. A cada nova coleta realizada um novo filtro era colocado no equipamento, sendo o filtro pós amostragem retirado e acondicionado para posterior pesagem.

4.6.2 Fluorescência de Raios-X

A análise química da PTS foi realizada pelo Departamento de Geoquímica da Universidade Federal Fluminense (UFF), em Niterói. A técnica utilizada para a caracterização química da amostra foi a Fluorescência de Raios-X (FRX), usada em muitos trabalhos de caracterização química (LOPES, 2003; MAIOLI, 2011; FERREIRA, 2016).

A FRX é utilizada principalmente para amostras sólidas, pois permite a determinação simultânea da concentração de vários elementos, sem destruir a amostra. Logo, não houve necessidade de realizar nenhum tratamento químico prévio. Tal técnica, mede as intensidades dos Raios-X emitidos pelos elementos químicos presentes nas amostras, e compreende três fases, são elas: excitação dos elétrons dos elementos, dispersão dos raios-X característicos emitidos pela amostra e detecção destes (FILHO, 1999). Nessa técnica, os raios-X emitidos por uma fonte, excitam os elétrons dos elementos que tendem a ejetar os elétrons do interior dos níveis dos átomos, fazendo com que os elétrons dos níveis mais afastados realizem um salto quântico para preencher a vacância. Ao longo do processo ocorrem perdas de energia, sendo estas emitidas na forma de um fóton de raios-X, com característica de energia para cada elemento, na qual as intensidades estão relacionadas com a concentração dos mesmos na amostra (SALVADOR, 2012).

No presente trabalho, foram determinadas as concentrações dos seguintes elementos: Magnésio (Mg), Alumínio (Al), Ferro (Fe), Silício (Si), Manganês (Mn), Cobre (Cu), Rubídio (Rb), Cromo (Cr), Vanádio (V), Enxofre (S), Cálcio (Ca), Titânio (Ti), Potássio (K), Cloro (Cl), Fosforo (P), Estrôncio (Sr), Zircônio (Zr), e Chumbo (Pb).

4.6.3 Granulometria a Laser

A análise granulométrica da PTS foi realizada pelo departamento de geoquímica, da Universidade Federal Fluminense (UFF), em Niterói. A técnica utilizada para verificar a distribuição granulométrica da amostra de PTS foi a técnica de difração a laser, usada em muitos trabalhos de granulometria (FERREIRA, 2016; PAPINI & NETO, 2016; CHRISTOFOLETTI & MORENO, 2017).

O uso dessa técnica, com espalhamento de luz laser, vem substituindo as tradicionais análises granulométricas para caracterizar os tamanhos das partículas de materiais. Tal método de Espalhamento de Luz Laser utiliza a interação de um feixe de luz com partículas em um meio fluido, captando a intensidade da energia espalhada e transformando em distribuição volumétrica (OLIVEIRA, 2014).

4.6.4 Microscopia Eletrônica de Varredura

A análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi realizada pelo Laboratório Multusuário de Microscopia Eletrônica (LMME) da Universidade Federal Fluminense (UFF), em Volta Redonda. O MEV utilizado foi do modelo EVO MA 1, da Carl Zeiss. A técnica utilizada possibilitou identificar as morfologias das partículas presentes na PTS.

A técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) permite que um feixe de elétrons seja varrido em toda a amostra. A interação do feixe de elétrons com a amostra produz efeitos que são monitorados. Os sinais resultantes podem ser coletados em sincronização com a posição do feixe, possibilitando informações da morfologia, e gerando uma imagem com perspectiva tridimensional (CASUCCIO, 1983).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ANÁLISE DESCRIPTIVA DOS DADOS DE SAÚDE

5.1.1 Doenças do sistema respiratório (CID 10: J00-J99)

Os dados do DATASUS revelaram que no município de Volta Redonda, no período de 1 de janeiro de 2013 a 31 de dezembro de 2015 foram registradas 40.502 internações, sendo que 3.660 (9,04%) por doenças do sistema respiratório. Verificou-se que o número de internações em idosos com 60 anos ou mais apresentou um decréscimo ao longo do período estudado (Tabela 10).

Tabela 10: Internações hospitalares por todas as causas e por doenças do sistema respiratório, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015

Internações	Ano			Total
	2013	2014	2015	
Total de internações por todas as causas	14471	12955	13076	40502
Total de internações por doenças respiratórias	1215	1250	1195	3660
Internações por doenças respiratórias em crianças de 0 a 4 anos	168	237	216	621
Internações por doenças respiratórias em idosos de 60 anos ou mais	501	476	450	1427

Fonte: Elaborado a partir de DATASUS, 2017.

Percebeu-se que dentre o número de ocorrências por doenças respiratórias, os idosos com 60 anos ou mais corresponderam a 39% das internações e as crianças menores que cinco anos a 17% (Tabela 11). Oliveira et al. (2011) em seu estudo, no município de Volta Redonda, observou comportamento semelhante, no qual do total de internações por doenças do sistema respiratório 28,22% foram de idosos de 65 anos ou mais e 17,73% para crianças menores de cinco anos.

Tabela 11: Análise descritiva da contagem diária das internações hospitalares por doenças do sistema respiratório, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015

Internações por doenças do sistema respiratório (faixa etária)	N*	%	Dias**	Média	Desvio padrão	Máximo	Mínimo
Total	3660	100%	1095	3,34	2,16	14	0
0 a 4 anos	621	17%	1095	0,57	0,85	5	0
60 anos ou mais	1427	39%	1095	1,30	1,21	7	0

Fonte: Elaborado a partir de DATASUS, 2017.

N* - Número de internações

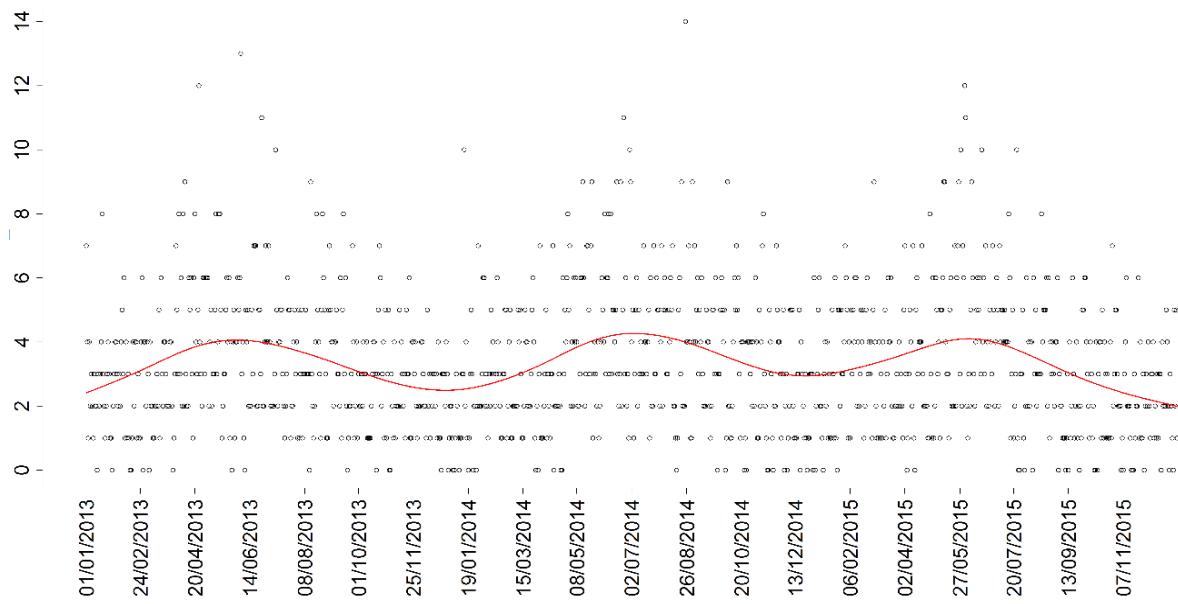
Dias** - Total de dias do período estudado

Conforme Braga et al. (2007), a poluição atmosférica afeta diretamente o sistema respiratório, principalmente em grupos mais susceptíveis, como as crianças e os idosos. Segundo Künzli, Perez e Rapp (2010) as crianças são mais susceptíveis, por inspirarem maior quantidade de ar e por possuírem um sistema imunológico que não está totalmente desenvolvido, o que colabora para o aumento de infecções respiratórias. Já os idosos são mais vulneráveis por possuírem um sistema imunológico frágil (ARBEX, 2012).

Analisando os dados no período, observou-se a média diária de 3,34 internações, variando entre 0 e 14 ocorrências por dia para todas as faixas etárias. Os idosos com 60 anos ou mais apresentaram a maior média diária, com 1,30 (variando entre 0 e 7 internações por dia). Já as crianças menores que cinco anos, apresentaram média diária 0,57, houve variação entre 0 e 5 ocorrências por dia (Tabela 11). No estudo de Nardocci et al. (2013), na cidade de Cubatão - São Paulo, no período de 2000 a 2008, o número máximo de internações por doenças do sistema respiratório por dia foi de 11 para o total (com média diária de 2,14 internações) e 8 para menores de 5 anos, com média diária de 1,21. Na cidade de Volta Redonda, no período de 2002 a 2006, a quantidade máxima por dia de ocorrências para o total foi de 15, com média diária de 4,29, já para os idosos o número máximo de internações por dia foi de 8, com média diária de 1,23, e 6 em crianças, com média diária de 0,77 internações (OLIVEIRA et al., 2011). Ambos estudos analisaram um período de tempo de 6 anos e apresentaram valores próximos aos encontrados nesse trabalho, que buscou analisar um período de 3 anos.

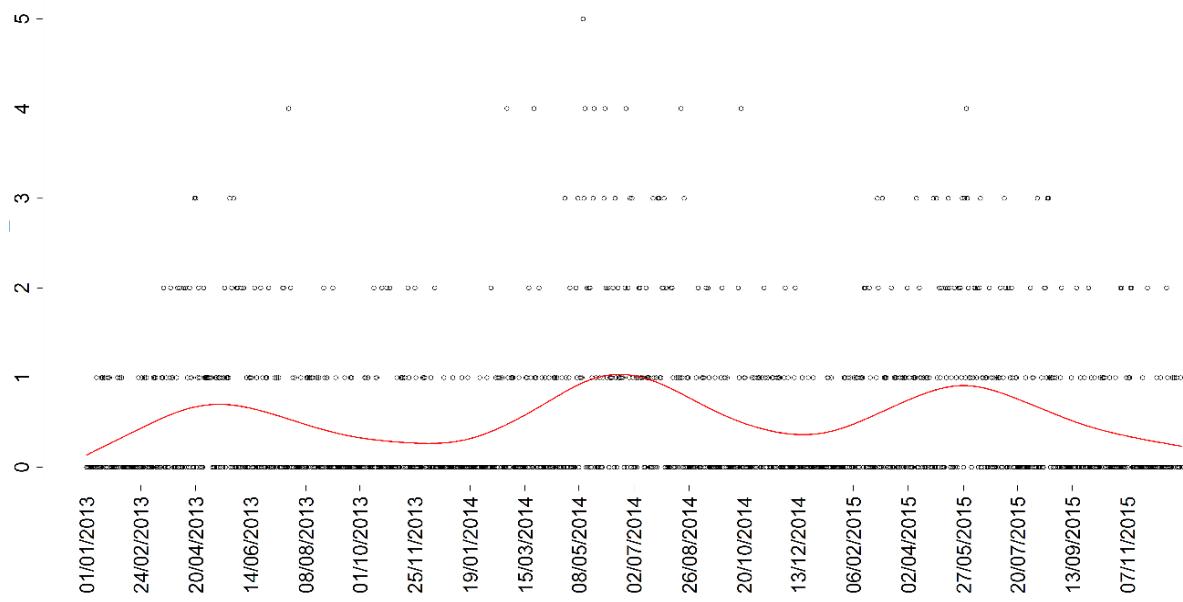
O número diário de internações por doenças respiratórias observadas e suavizadas para o total da população, para crianças menores que cinco anos, e idosos com 60 anos ou mais pode ser observado nas Figuras 5, 6 e 7, respectivamente. Os dados suavizados pela *spline* demonstraram um padrão sazonal do número diário de internações, apresentando picos e vales em função de períodos específicos. Nota-se que no período de inverno há maior ocorrência de internações por doenças respiratórias. Uma hipótese para esse comportamento reside no fato de que nesse período pode ocorrer inversão térmica, colaborando para que os poluentes presentes no ar não sejam liberados na atmosfera, e sim fiquem aprisionados nas camadas mais próximas da superfície, contribuindo para o aumento de internações respiratórias.

Figura 5: Número diário de internações hospitalares por doenças do sistema respiratório e curva de suavização, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015



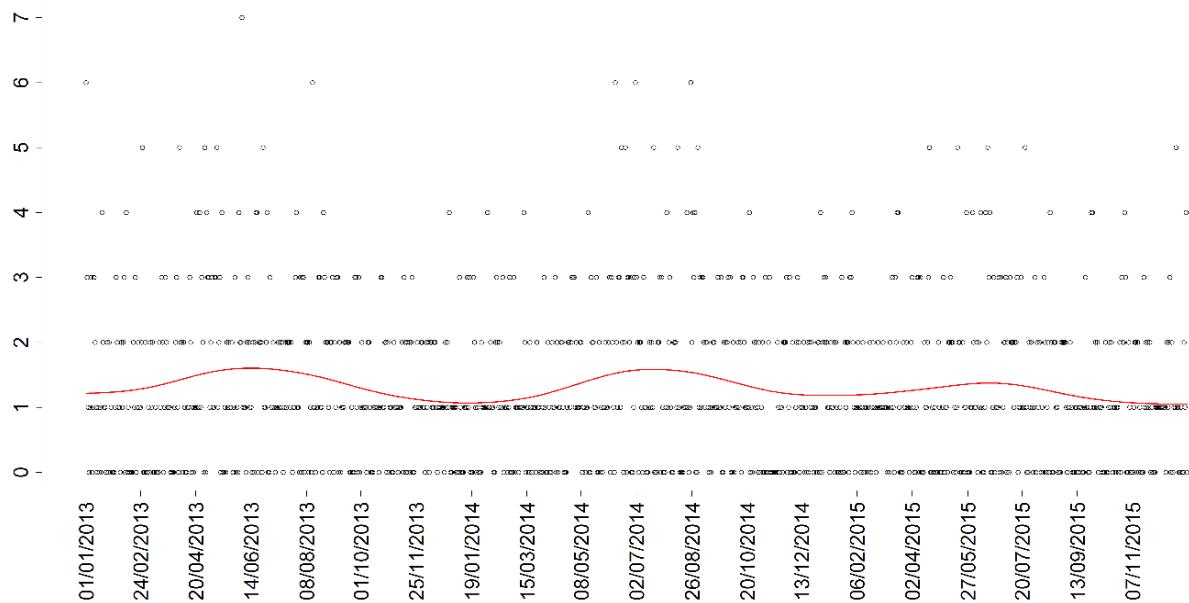
Fonte: Elaborado a partir de DATASUS, 2017.

Figura 6: Número diário de internações hospitalares por doenças do sistema respiratório em crianças menores de cinco anos e curva de suavização, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015



Fonte: Elaborado a partir de DATASUS, 2017.

Figura 7: Número diário de internações hospitalares por doenças do sistema respiratório em idosos com 60 anos ou mais e curva de suavização, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015



Fonte: Elaborado a partir de DATASUS, 2017.

5.1.2 Doenças do sistema circulatório (CID 10: I00-I99)

Dentre os 40.502 registros de internações, no período estudado, no município de Volta Redonda, 5.272 (13%) das internações foram por doenças do sistema circulatório. Notou-se que o número de internações em pessoas de 40 anos ou mais apresentou um comportamento crescente (Tabela 12).

Tabela 12: Internações hospitalares por todas as causas e por doenças do sistema circulatório em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015

Internações	Ano			Total
	2013	2014	2015	
Total de internações por todas as causas	14471	12955	13076	40502
Total de internações por doenças circulatórias	1762	1732	1778	5272
Internações por doenças circulatórias em pessoas de 40 ano ou mais	1534	1577	1633	4744

Fonte: Elaborado a partir de DATASUS, 2017.

Analizando as internações no período, observou-se a média diária de 4,81 casos, variando entre 0 e 15 ocorrências por dia. As pessoas com 40 anos ou mais representaram 90% do total de ocorrência por doenças do sistema circulatório, apresentando média diária de 4,33, com variação entre 0 e 15 internações por dia (Tabela 13).

Tabela 13: Análise descritiva da contagem diária das internações hospitalares, por doenças do sistema circulatório em Volta Redonda, período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015

Internações por doenças do sistema circulatório	N*	%	Dias**	Média	Desvio padrão	Máximo	Mínimo
Total	5272	100%	1095	4,81	2,90	15	0
40 anos ou mais	4744	90%	1095	4,33	2,69	15	0

Fonte: Elaborado a partir de DATASUS, 2017.

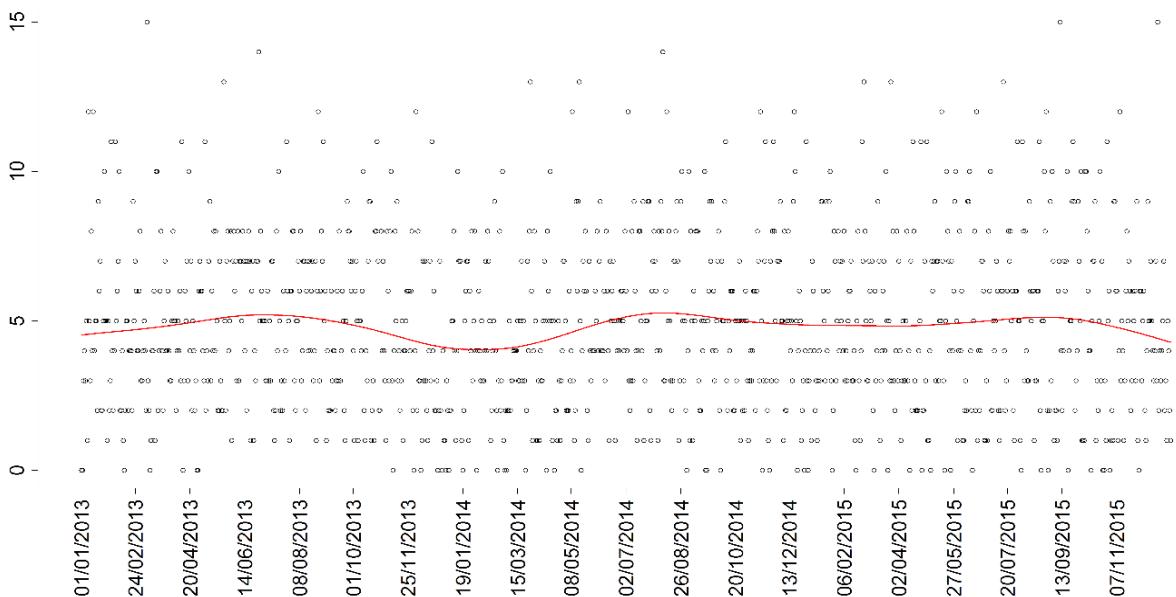
N* - Número de internações

Dias** - Total de dias do período estudado

Muitos estudos que investigaram a relação da poluição do ar com os agravos em saúde, revelaram que este tipo de poluição impactava nas doenças do sistema circulatório, principalmente em adultos e idosos (BRAGA et al., 2001; ZANOBETTI et al., 2004; LADEN et al., 2006).

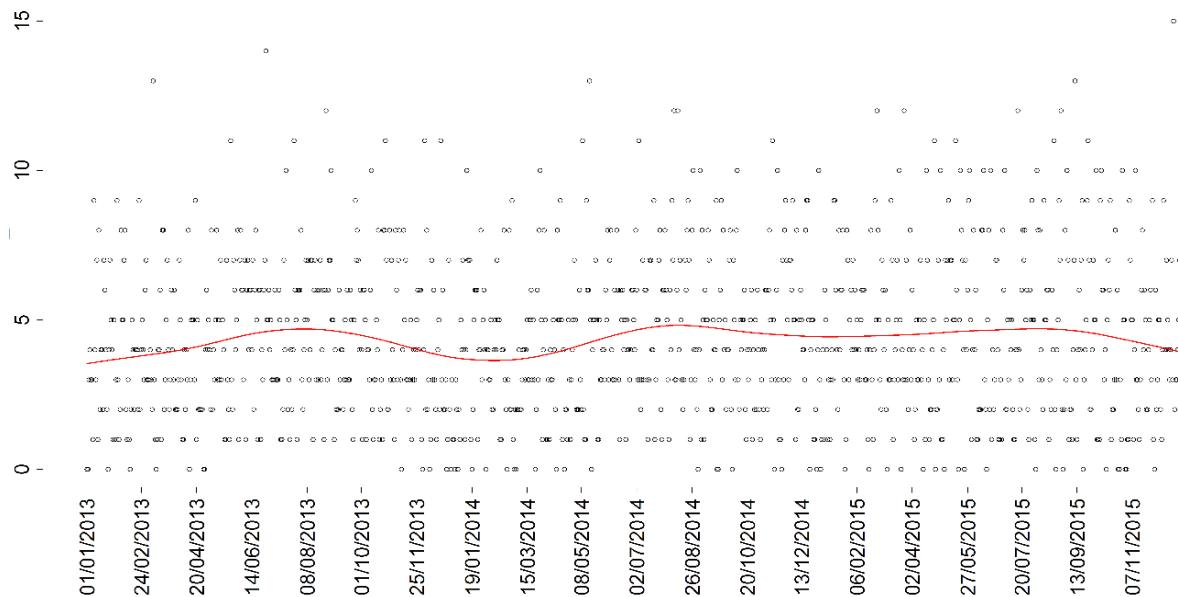
O número diário de internações por doenças circulatórias observadas e suavizadas para o total da população e para indivíduos com 40 anos ou mais pode ser observado nas Figuras 8 e 9, respectivamente. Com relação à curva suavizada pela *spline* foi possível observar um padrão de sazonalidade semelhante entre os gráficos, no qual as ocorrências se mantêm mais estáveis a partir do segundo semestre de 2014. O estudo de Nardocci et al. (2013) também revelou que em maiores de 39 anos a série temporal de doenças circulatórias apresentou pouca sazonalidade.

Figura 8: Número diário de internações hospitalares por doenças do sistema circulatório e curva de suavização, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015



Fonte: Elaborado a partir de DATASUS, 2017.

Figura 9: Número diário de internações hospitalares por doenças do sistema circulatório em indivíduos com 40 anos ou mais e curva de suavização, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015



Fonte: Elaborado a partir de DATASUS, 2017.

5.2 ANÁLISE DESCRIPTIVA DOS DADOS AMBIENTAIS

A análise descritiva dos dados ambientais, em Volta Redonda, no período analisado, revelou que a média diária do MP₁₀ foi de 29,45µg/m³, com valor máximo diário de 132,76µg/m³, não apresentando violação ao padrão diário estabelecido pelo CONAMA (Resolução Nº 003/90), que é de 150µg/m³. Entretanto, com relação ao padrão diário recomendado pela OMS, que é de 50µg/m³, o MP₁₀ apresentou 60 violações.

A PTS apresentou média diária de 43,28µg/m³, com valor máximo diário de 172,39µg/m³, não revelando ultrapassagem ao padrão diário de 240µg/m³, do CONAMA. A OMS não apresenta recomendações para a PTS.

A maior média horária diária para o O₃ foi de 41,34µg/m³. Já o valor máximo do poluente foi de 108,12µg/m³, não apresentando violação do padrão CONAMA, no qual a maior média horária é de 160µg/m³. Ao longo do período, ocorreram duas violações (104,93 µg/m³, 102,16 µg/m³) à recomendação da OMS que é de 100µg/m³.

De acordo com a Tabela 14, que apresenta as estatísticas descritivas para cada poluente, nota-se que 75% das concentrações médias diárias de PTS, MP₁₀, e O₃, se mantiveram, respectivamente, abaixo de 50,49µg/m³, 34,15µg/m³, 48,28µg/m³. Com relação às condições climáticas, as médias da umidade relativa do ar e da temperatura foram, respectivamente,

73,28% e 22,67°C. A maior temperatura do período estudado foi de 31,39°C, com mínima de 12,10°C.

Tabela 14: Análise descritiva das medições diárias de PTS, MP₁₀, e O₃ e dos fatores climáticos, na cidade de Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015

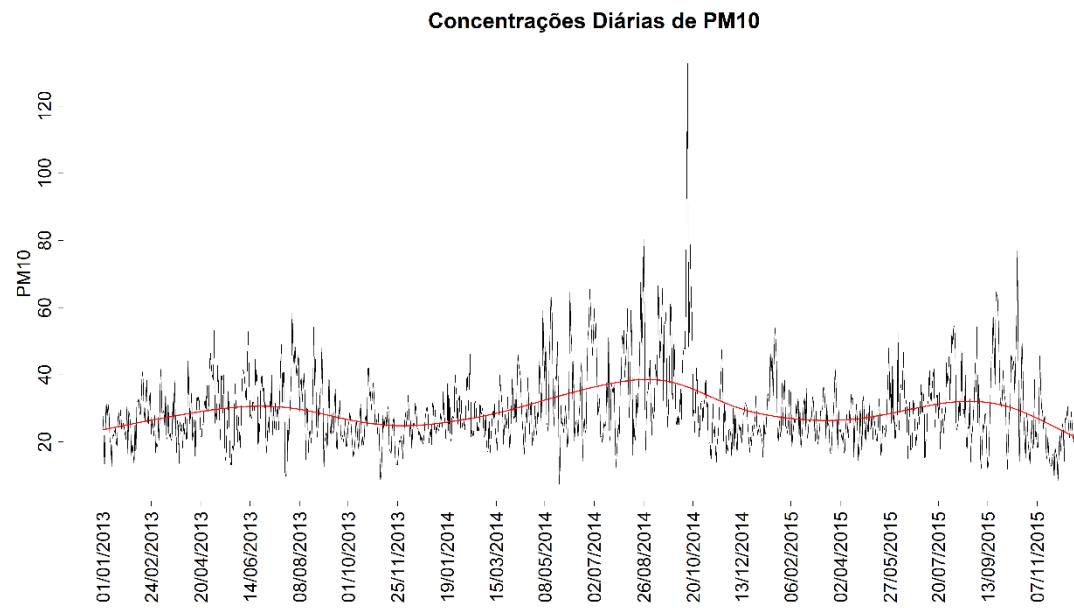
Variáveis	Dias	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	P25	P50	P75
Temperatura (°C)	1095	22,67	3,25	12,10	31,39	20,25	22,53	25,20
Umidade Relativa (%)	1095	73,28	6,68	39,56	90,51	69,09	73,87	77,92
O ₃ (μg/m ³)	1095	41,34	13,58	8,58	108,19	31,97	40,22	48,28
MP ₁₀ (μg/m ³)	1095	29,45	11,37	7,39	132,76	22,11	27,05	34,15
PTS (μg/m ³)	1095	43,28	16,87	12,39	172,39	32,32	40,31	50,49

Fonte: Elaborado a partir de INEA, 2017.

Em estudos, como este, no qual séries temporais são utilizadas com objetivo de verificar o impacto da poluição atmosférica na saúde humana, é comum e por vezes limitador, a existência de dados ambientais faltantes. Nesta pesquisa, o método de imputação de dados foi por meio do algoritmo EM, devido o mesmo apresentar boas estimativas para dados faltantes (JUNGER, 2008). O banco de dados não apresentou *missing* após a imputação dos dados ambientais faltosos.

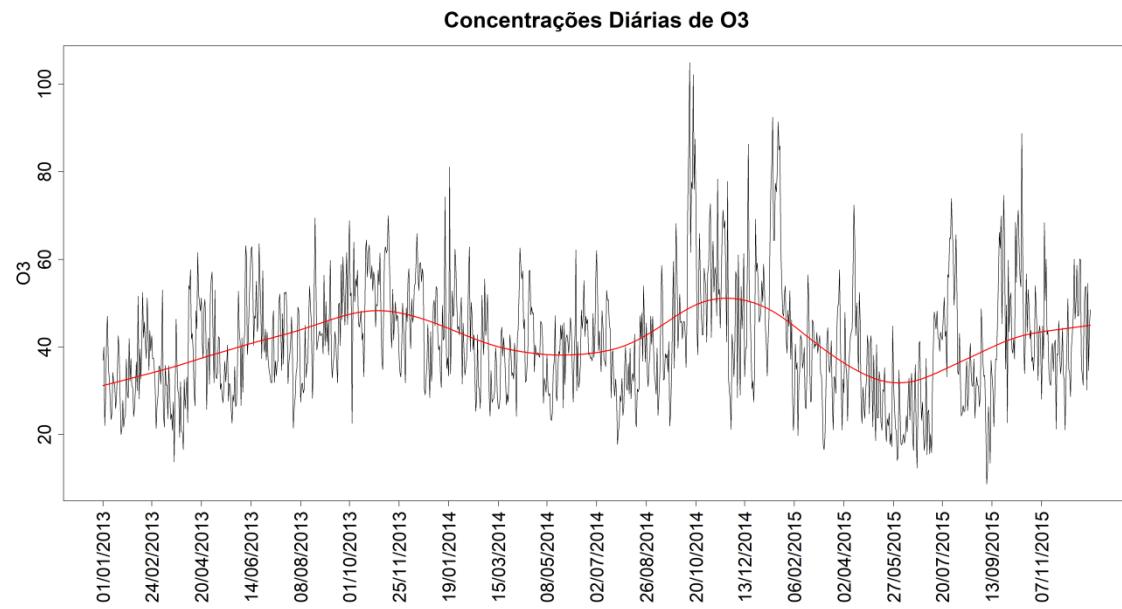
A suavização da distribuição temporal do MP₁₀ demonstrou um comportamento sazonal, com aumento das concentrações diárias no período de inverno e diminuição no verão (Figura 10). O O₃ também apresentou sazonalidade, com aumento dos níveis diários do poluente nos períodos de inverno e primavera, e diminuição no verão (Figura 11). A curva de suavização da distribuição temporal da PTS revelou padrão de sazonalidade, com aumento das concentrações diárias no período de inverno e diminuição no verão, mas, o ano de 2013 se apresentou mais estável (Figura 12).

Figura 10: Concentração média diária de MP_{10} , na cidade de Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015



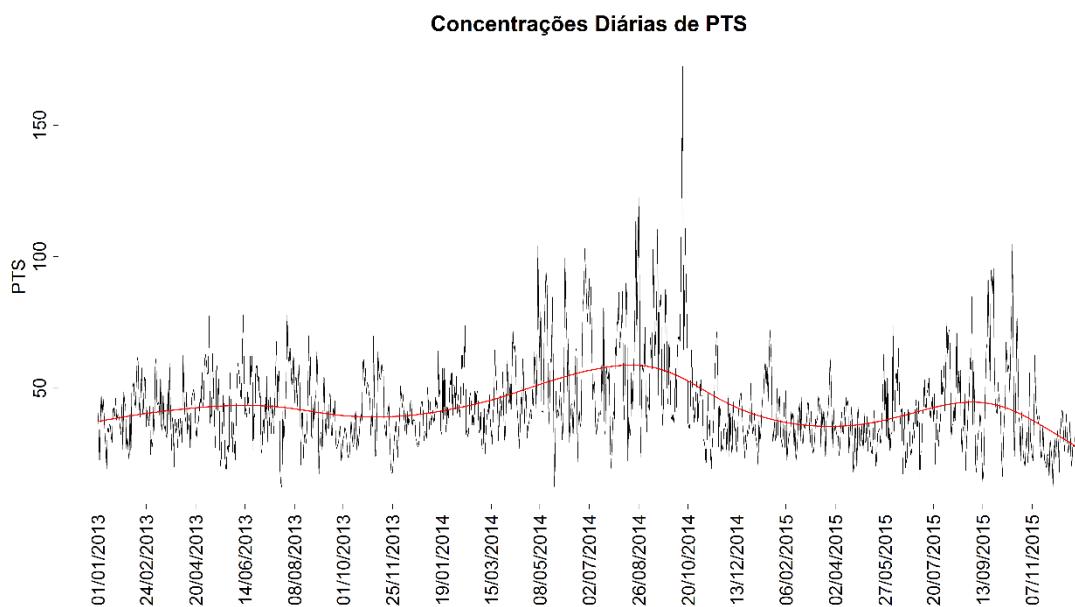
Fonte: Elaborado a partir de INEA, 2017.

Figura 11: Concentração média diária de O_3 , na cidade de Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015



Fonte: Elaborado a partir de INEA, 2017.

Figura 12: Concentração média diária de PTS, na cidade de Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015



Fonte: Elaborado a partir de INEA, 2017.

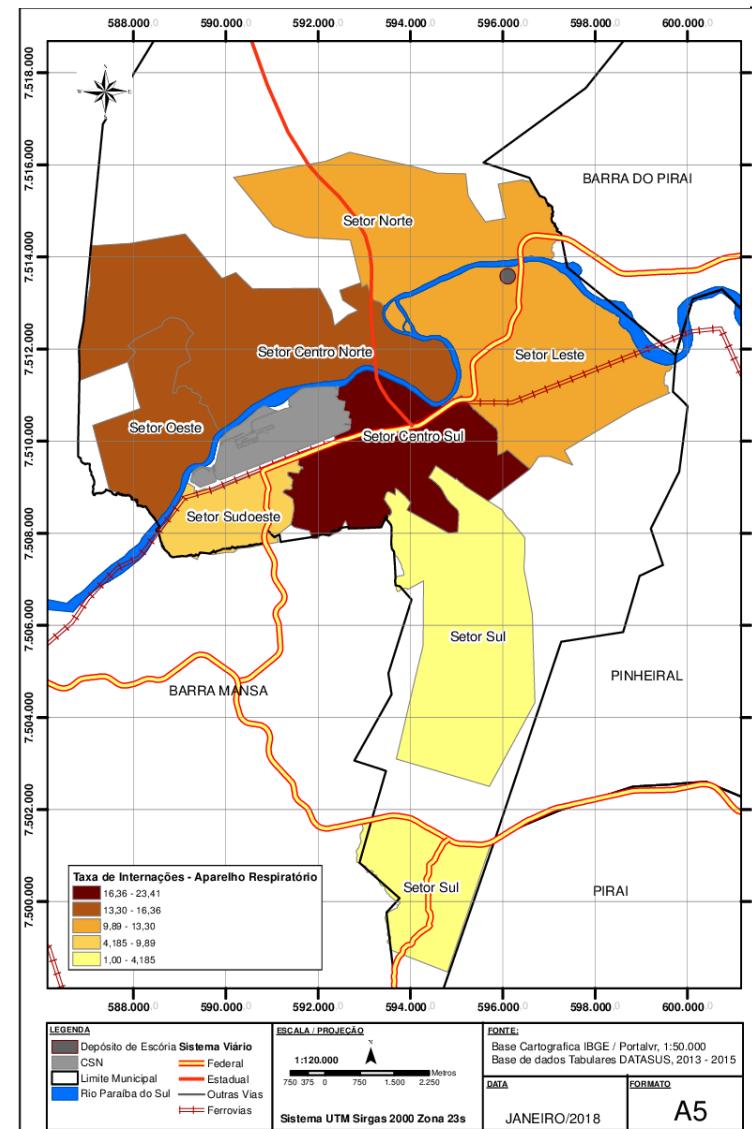
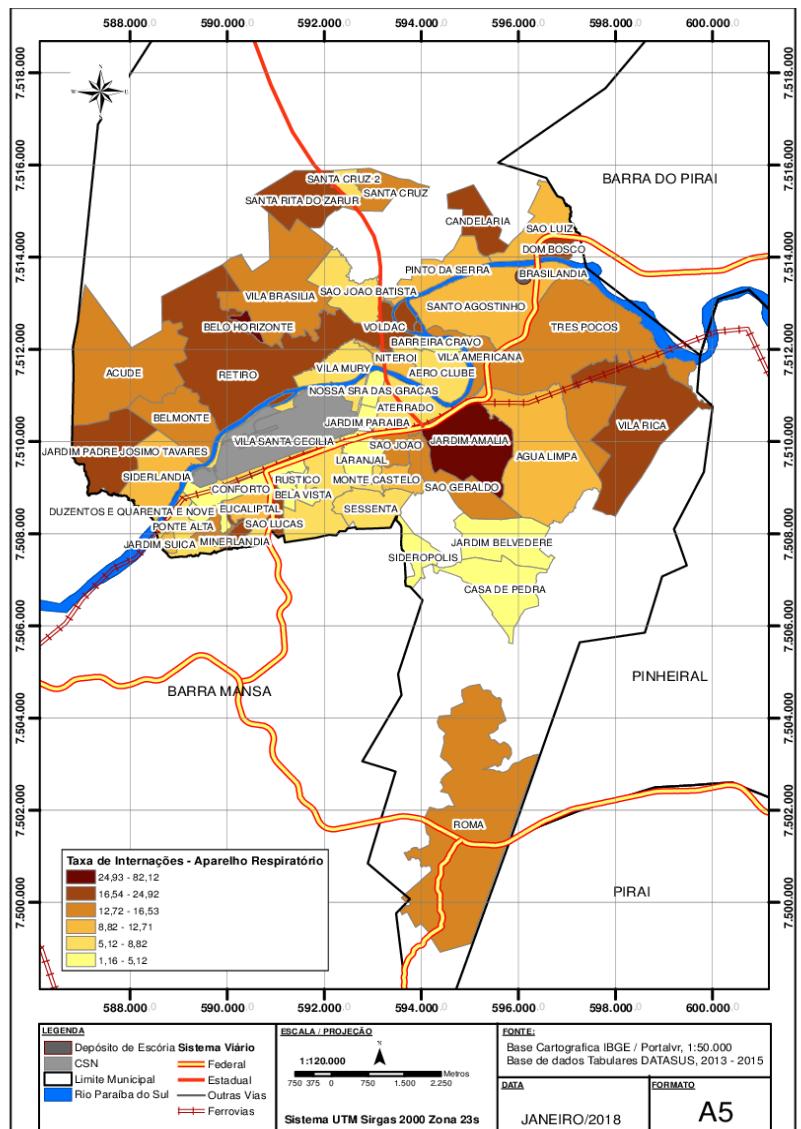
O padrão sazonal da distribuição temporal dos poluentes, pôde acontecer devido às características da cidade de Volta Redonda, que possui clima mesotérmico, com invernos secos e verões chuvosos (janeiro e fevereiro há maior incidência de chuvas), no qual contribui em maior ou menor grau para a dispersão dos poluentes atmosféricos, determinando a qualidade do ar.

Em estudo realizado em Porto Alegre, foi observado que os níveis mais altos de MP no ar, ocorreram em períodos sem ou com pouca chuva, o que pode estar relacionado com a falta do efeito de limpeza do ar promovido pela chuva (CARVALHO, JABLONSKI & TEIXEIRA, 2000). Percebeu-se em Volta Redonda, que os poluentes em épocas de maior volume de chuvas, apresentaram níveis menores, quando em relação aos períodos mais secos e sem chuva.

5.3 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS INTERNAÇÕES HOSPITALARES

Após a análise das taxas de internações por doenças respiratórias, foi observado que os bairros que apresentaram maior número de ocorrências por mil habitantes, foram: Belo Horizonte (82,12), Jardim Amália (70,58), Vila Rica (21,49), Jardim Padre Josimo (19,01), Santa Rita do Zarur (17,87) e Retiro (17,51). Os bairros referentes ao setor Centro Sul, da cidade de Volta Redonda, corresponderam à 23,41 internações por mil habitantes, dos bairros dos setores Centro Norte (16,35) e Oeste (14,84) (Figura 13).

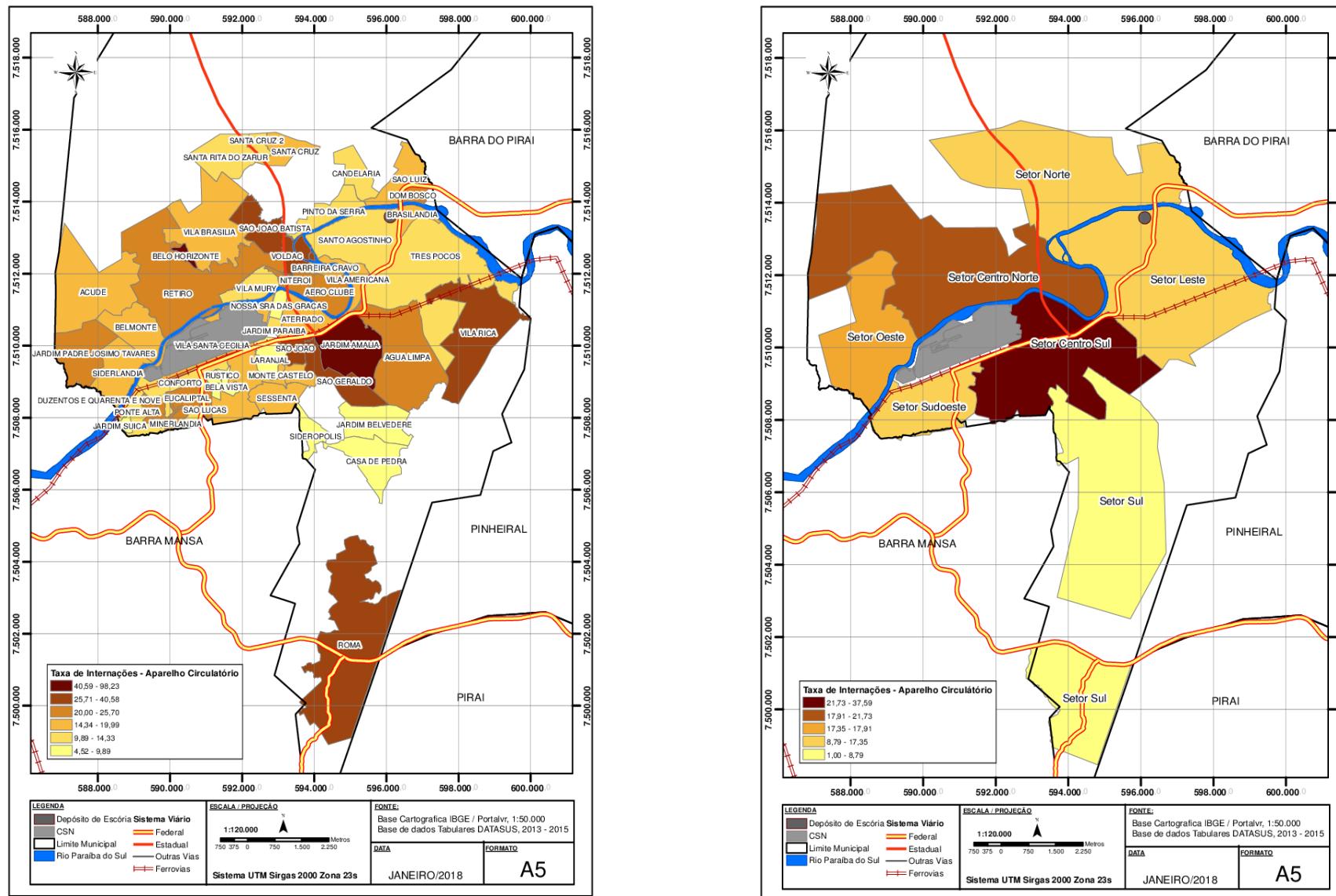
Figura 13: Distribuição espacial das internações hospitalares por doenças do sistema respiratório, por bairros e setores, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015



Fonte: Elaborado a partir de DATASUS, 2017.

Já os bairros que apresentaram maior número de internação por doenças circulatórias por mil habitantes, foram: Jardim Amalia (98,23) e Belo Horizonte (74,55), seguidos por Roma (40,58), Vila Rica (33,24), São Geraldo (30,10), São João (29,18) e São João Batista (28,57). Considerando a divisão em regiões, foi observado que o setor Centro Sul (37,59) esteve à frente, seguido dos setores Centro Norte (21,72) e Oeste (17,90) (Figura 14).

Figura 14: Distribuição espacial das internações hospitalares por doenças do sistema circulatório, por bairro e setores, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015



Fonte: Elaborado a partir de DATASUS, 2017.

Levando em consideração os resultados obtidos para internações por doenças respiratórias e circulatórias, foi verificado que os bairros dos setores Centro Sul, Centro Norte e Oeste apresentaram maior intensidade de ocorrências proporcionalmente ao número de habitantes, sendo os setores Centro Norte e Oeste situados à margem esquerda do Rio Paraíba do Sul (RPS), e o setor Centro Sul à sua margem direita.

A partir dos resultados obtidos, sugere-se que os bairros da margem esquerda do RPS têm como fator preponderante a proximidade com as unidades produtivas da CSN, bem como são influenciados pela direção do vento, que no município é predominante no sentido noroeste, o que acaba impactando os bairros dos setores Centro Norte e Oeste. Considerando os bairros da margem direita do RPS, destaca-se o pátio de escória⁶ (Figura 15) e a proximidade com as rodovias e ferrovia como possíveis agravantes para o aumento dos desfechos de saúde por doenças cardiorrespiratórias, principalmente, nos bairros Jardim Amália, São João e São Geraldo.

Figura 15: Pátio de escória, localizado no bairro Brasilândia, em Volta Redonda



Fonte: Autora

⁶ A escória é resultado da combinação dos minerais da canga de minério de ferro, das cinzas do coque ou do carvão vegetal e do calcário usados como fundente. A composição química das escórias de alto forno obtida sob a forma granular, expressa em óxidos, tem como principais constituintes os óxidos de silício SiO₂, – óxido de alumínio – Al₂O₃, óxido de cálcio - CaO, óxido de magnésio- MgO, óxido de ferro Fe₂O₃, que correspondem a aproximadamente 95% do total (MOREIRA, 2006).

Muitos estudos utilizam o geoprocessamento para analisar a distribuição geográfica das internações e mortalidade por doenças associadas a poluição do ar, como é o caso das doenças cardiorrespiratórias. Os resultados obtidos por esse tipo de ferramenta são informações valiosas, uma vez que podem contribuir para a elaboração de políticas públicas mais efetivas (TORRES & MARTINS, 2005; LOPES & RIBEIRO, 2006; MUKAI, NASCIMENTO & ALVES, 2009; MOTA, 2009; ROCHA, 2012; PINHEIRO & QUEIROZ, 2016).

O estudo realizado por Peiter e Tobar (1998), na cidade de Volta Redonda, no período de 1995 a 1997, objetivou identificar áreas críticas, relacionando a poluição do ar e os bairros com condição de vida menos favoráveis. Os autores observaram como as áreas críticas, ou seja, com condições materiais de vida desfavoráveis e poluição elevada, os espaços que compreendem os setores Centro Norte e Oeste. Os autores ainda apontaram que os bairros localizados ao leste da cidade, como Três Poços, Vila Rica, Candelária e Pinto da Serra são considerados críticos, pois apresentaram condições materiais de vida muito desfavoráveis, apesar de estarem localizados em área pouco impactada pela emissão de contaminantes da CSN, empresa que os autores consideraram como fonte emissora principal.

Em seu estudo, Gioda (2004) identificou que a distribuição espacial média da PTS revelou um aumento claro do Nordeste para o Sudoeste. As maiores concentrações de metais (Fe e Zn), presentes na PTS, foram registradas nas estações Belmonte e antiga FEEMA. Sugerindo que as atividades que utilizam minérios de ferro e a queima de carvão, como o que ocorre na CSN, podem contribuir para a pluma de poluição que atinge os bairros da margem direita do RPS, como é o caso o Belmonte.

No presente estudo, foi observado que o Centro Norte e o Oeste foram bem impactados pela poluição do ar, devido à proximidade da CSN, e a predominância dos ventos, resultado este encontrado também por Peiter e Tobar (1998). Entretanto, o setor centro sul também foi bastante impactado pela poluição atmosférica. Devido a este fato, sugere-se que possa existir outra fonte de emissão de poluentes que afetou o número de internações por doenças cardiorrespiratórias.

Oliveira et al. (2011) também buscaram analisar a distribuição espacial dos desfechos em saúde e observou um comportamento diferente do estudo de Peiter e Tobar (1998), na qual as áreas com maior risco para ocorrência de óbitos por doenças cardiorrespiratórias, estiveram situadas ao Sul da CSN, nos seguintes bairros: Eucaliptal, São Lucas, Bela Vista, Conforto, Aterrado, Laranjal, Vila Santa Cecília, Rústico e Sessenta.

5.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

5.4.1 Correlação de *Pearson*

O cálculo da correlação de *Pearson* entre a variável dependente (internações totais e estratificadas por faixas etárias) e as variáveis ambientais (poluentes e temperatura) foi realizado, ao nível de significância de 20%.

O MP₁₀ revelou associação positiva para todos os desfechos de saúde, tanto por doenças no sistema respiratório, como no circulatório. A PTS também apresentou associação positiva para todos os desfechos analisados, exceto para o total de internações por doenças respiratórias. Já o O₃ não apresentou correlação para os desfechos por doenças circulatória. Este poluente apresentou correlação negativa para internações por doenças respiratórias em crianças de 0 a 4 anos, bem como para o total (Tabela 15 e 16).

Tabela 15: Correlação de *Pearson* entre as internações hospitalares por doenças respiratórias e as variáveis ambientais, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015

Internações por doenças do sistema respiratório (faixa etária)	Temperatura (°C)	Umidade (%)	MP₁₀ (ug/m³)	PTS (ug/m³)	O₃ (ug/m³)
0 a 4 anos	-0,187**	0,052*	0,064*	0,065*	-0,097**
60 anos ou mais	-0,083**	-0,016	0,084**	0,082**	-0,023
Total	-0,211**	-0,003	0,120**	0,112	-0,076**

OBS: *Significativo a 5%, **Significativo a 1%.

Tabela 16: Correlação de *Pearson* entre internações hospitalares por doenças circulatórias e as variáveis ambientais, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015

Internações por doenças do sistema circulatório	Temperatura (°C)	Umidade (%)	MP₁₀ (ug/m³)	PTS (ug/m³)	O₃ (ug/m³)
40 anos ou mais	-0,101**	-0,009	0,184**	0,187**	0,001
Total	-0,095**	0,015	0,176**	0,182**	-0,001

OBS: *Significativo a 5%, **Significativo a 1%.

Notou-se para as variáveis climáticas, uma associação negativa entre a temperatura e todos os desfechos de saúde, e uma correlação positiva entre a umidade e as internações por doenças respiratórias em crianças de 0 a 4 anos (Tabela 15 e 16).

5.4.2 Análise de regressão

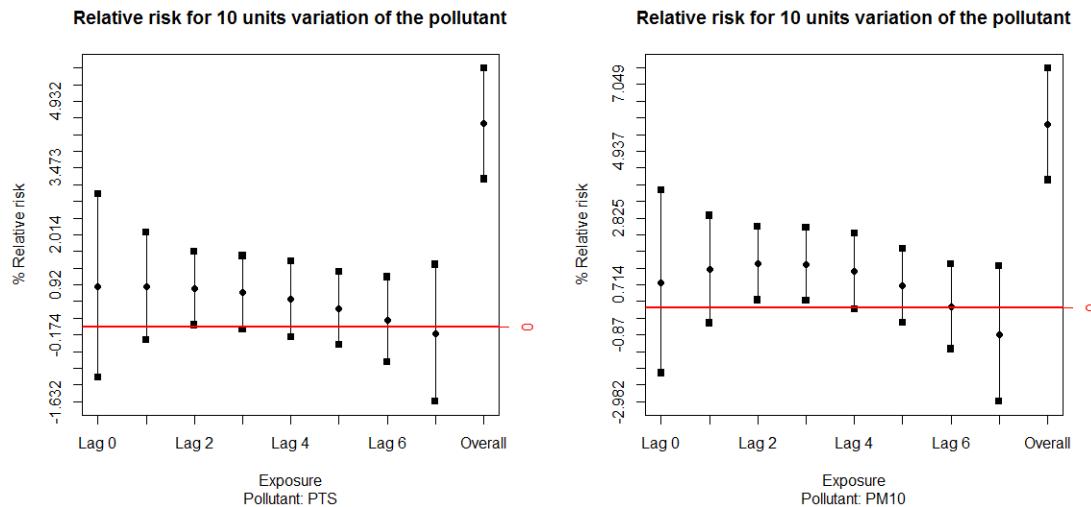
Os modelos apresentaram bom ajuste quando avaliados os gráficos de resíduos, gráficos de Cook, gráficos de função de autocorrelação parcial, gráficos dos periodogramas e gráficos de normalidade dos resíduos (Anexos 1, 2, 3, 4 e 5).

Para as estimativas de estrutura de defasagem e efeito, foi utilizado um modelo de distribuição polinomial para os poluentes selecionados. As defasagens são importantes, pois a exposição às concentrações de poluentes pode causar efeitos negativos no dia da exposição, ou nos próximos dias após a exposição, ou seja, as internações que ocorreram em determinado dia, podem ser resultado da exposição do mesmo dia ou da exposição que ocorreu em cada dia anterior (EVO et al., 2011). Todos os poluentes selecionados foram inseridos no modelo (uma a uma), mas somente aqueles que foram estatisticamente significativos serão apresentados, o gráfico dos demais estão em forma de anexos (Anexos 6, 7, 8, 9 e 10).

5.4.2.1 Internações hospitalares por doenças respiratórias totais

Para as doenças respiratórias totais, os efeitos estimados para o modelo de defasagem distribuída polinomialmente foram significativos estatisticamente para MP_{10} no *lag* 2 e 3. Os resultados revelaram que um aumento de $10\mu g/m^3$ de MP_{10} esteve associado a um aumento das internações por doenças respiratórias totais de 1,39% (IC95%: 0,23; 2,55%; p-valor = 0,02) no *lag* 2, e de 1,36% (IC95%: 0,21; 2,52%; p-valor = 0,02) no *lag* 3. A PTS no *lag* 2 também apresentou relação significativa com risco relativo de 0,84% (IC95%: 0,40; 1,65%; p-valor = 0,04) (Figura 16).

Figura 16: Risco relativo percentual para incrementos de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PTS e MP_{10} para internações hospitalares por doenças respiratórias totais, em Volta Redonda, no período de 2013 a 2015



Oliveira et al. (2011) buscaram analisar a associação entre poluição atmosférica e morbimortalidade por doenças cardiorrespiratórias, levando em consideração a susceptibilidade conforme o sexo, em Volta Redonda, Rio de Janeiro, no período de 2002 a 2006. Os resultados revelaram associação maior que a do presente estudo, no qual um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} estaria associado a um aumento no risco de internação por doenças respiratórias de 2,67% (IC95%: 0,40-5,00%), no *lag 2*.

Em Volta Redonda, outro estudo também procurou avaliar a associação dos casos de internação hospitalar por doenças respiratórias e os níveis de poluição do ar, no período de 2005 a 2007. Dentre os poluentes avaliados, a PTS e o MP_{10} , diferente do presente estudo, não apresentaram associação significativa com as internações por doenças respiratórias totais (PAIVA, 2014).

Nardocci et al. (2013) também realizaram um estudo de séries temporais com MAG, em regressão de Poisson, para avaliar o impacto da poluição do ar nas internações por doenças respiratórias, no município de Cubatão, São Paulo, no período de 2000 a 2008. Foi verificado que para cada incremento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} , encontrou-se um excesso de internações de 4,25% (IC95%: 2,82; 5,71%) para doenças respiratórias totais. Cubatão, que é conhecida como uma das cidades mais poluídas do mundo, devido à topografia, às condições meteorológicas e às grandes emissões industriais, apresentou um risco relativo consideravelmente maior do que o do presente estudo.

Em Vitória, Espírito Santo, no período 2001 a 2006, para cada incremento de 10 µg/m³ de MP₁₀ foi observado aumento no risco relativo para as internações por doenças respiratórias totais de 4,40% (IC95%: 0,64-8,23%), no *lag* 0 (FREITAS et al., 2016). O risco encontrado para a cidade de Vitória também se revelou maior do que a do presente estudo.

Em Brisbane, Austrália, buscou-se verificar o efeito de incêndios nas taxas de internações por doenças respiratórias totais, por meio do MP₁₀, no período de julho de 1997 a dezembro de 2000. Foram encontradas associações para períodos de incêndios (RR = 1,19, IC95% = 1,09 -1,30) e para períodos sem incêndios (RR=1,13, IC95% = 1,06 – 1,23) (CHEN, VERRALL & TONG, 2006).

É válido salientar que não se pretende comparar os resultados apresentados neste trabalho, pois estudos como este devem ser analisados com cautela, visto que muitos fatores podem influenciar para o aumento ou diminuição dos desfechos em saúde, tais como: a quantidade de habitantes, a quantidade de pessoas que utilizam o serviço de saúde de determinada cidade, o período realizado, a topografia, as condições meteorológicas e metodologia utilizada para as análises estatísticas, além de condições sócio-econômicas da população avaliada.

Estudos apontaram que o material particulado pode colaborar para o desencadeamento do *stress* oxidativo e processo inflamatório sistêmico. As partículas inaláveis (partículas com diâmetro aerodinâmico entre 2,5 e 10µm, e as menores ou iguais a 2,5µm), são muito prejudiciais à saúde, pois além de conseguirem penetrar profundamente no organismo humano, não é possível expulsá-las por tosse ou espirros. Entretanto, a PTS (partículas com diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 100 micras) também contribui para inflamações na região superior do sistema respiratório (TADANO, 2007).

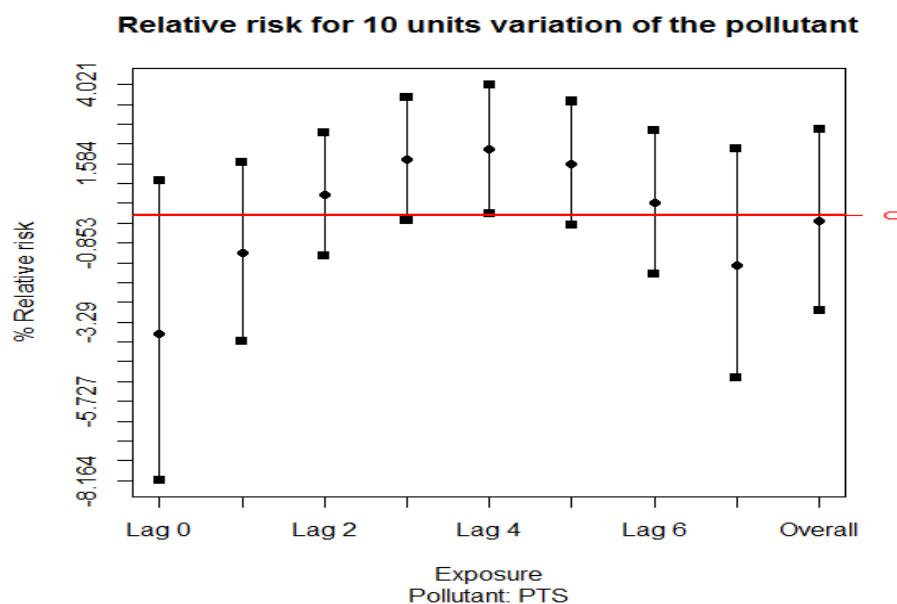
Além do tamanho, a composição química do material particulado também é um fator que influencia na dimensão dos efeitos na saúde dos seres humanos. Este poluente, geralmente, apresenta compostos inorgânicos (sulfatos e nitratos, metais de transição (Ferro, Níquel, Chumbo, Cádmio e Zinco), sais solúveis), compostos orgânicos, como hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, e material biológico (GHIO et al., 2002; WHO, 2005; KÜNZLI, PEREZ, RAPP, 2010).

5.4.2.2 Internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças

Para as doenças respiratórias em crianças menores que cinco anos, os efeitos estimados foram significativos estatisticamente para PTS, no *lag* 4. Os resultados revelaram que um

aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PTS esteve associado a um aumento de 2,02% (IC95%: 0,05; 4,02%; p-valor = 0,04) para internações por doenças respiratórias em crianças menores de cinco anos (Figura 17).

Figura 17: Risco relativo percentual para incrementos de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PTS para internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças menores que cinco anos, em Volta Redonda, no período de 2013 a 2015



Segundo Arbex et al. (2012) a infecção aguda no sistema respiratório inferior é a mais relevante causa de mortalidade em crianças até 5 anos. Esse tipo de desfecho causa cerca de 2 milhões de mortes anuais em crianças menores de 5 anos. Na literatura, estudos que investigam a relação entre a poluição do ar e a morbimortalidade em crianças estão entre os mais evidentes. Isso deve-se ao fato de que este grupo etário apresenta diferenças anatômicas e fisiológicas.

A susceptibilidade em crianças ocorre devido ao fato delas consumirem o dobro da quantidade de ar, que normalmente é consumida pelos adultos. A criança consome maior volume de ar por apresentar maior ventilação por minuto, devido ao metabolismo acelerado, a maior prática de atividade física (por exemplo, com as diversas brincadeiras presentes na infância), bem como o ato de chorar que também aumenta a necessidade de mais oxigênio. Quando a temperatura do ambiente diminui, se apresentando abaixo do nível do equilíbrio térmico, a velocidade do metabolismo e as necessidades de oxigênio aumentam nas crianças. O fato das crianças não possuírem um sistema imunológico desenvolvido prejudica a recuperação

dos danos causados pela poluição, colaborando para a elevação do risco de infecções respiratórias (DUCHIADE, 1992; TADANO, 2007; SALVI, 2007; KÜNZLI, PEREZ e RAPP, 2010).

Outra característica importante para a maior susceptibilidade em crianças, é a estatura, pois quando os poluentes são emitidos junto ao solo, por exemplo, os canos de descarga dos veículos, ou ressuspensão de MP, a exposição de crianças a esses contaminantes atmosféricos pode ser mais intensa do que a de adultos (DUCHIADE, 1992).

Muitos estudos têm sido realizados objetivando analisar a associação entre impactos de curto prazo na saúde e a exposição aos poluentes atmosféricos, principalmente em relação ao material particulado atmosférico fino ($MP_{2,5}$ e MP_{10}). Nesse contexto, Gouveia et al. (2003) investigaram a associação entre MP_{10} e internações por doenças respiratórias em crianças menores de cinco anos, no município do Rio de Janeiro, no período de agosto de 2000 a novembro de 2001. Os resultados demonstraram que um aumento de $10\mu g/m^3$ de MP_{10} esteve associado a um aumento 1,8% para ocorrências relacionadas a doenças respiratórias em crianças. Já no município de São Paulo, de maio de 1996 a abril de 2000, foi encontrado que um aumento de $10\mu g/m^3$ no nível diário de MP_{10} , esteve associado a um aumento de 2,4% nas internações de crianças menores de 5 anos por doenças respiratórias, e de 2,1% por pneumonia e 4,6% por asma (GOUVEIA et al., 2006).

Sousa et al. (2012) buscaram avaliar o impacto da poluição do ar na hospitalização de doenças respiratórias em diferentes faixas etárias, no Rio de Janeiro. Os resultados revelaram que um aumento de $10\mu g/m^3$ de MP_{10} esteve associado a um aumento de 2% de internações por doenças respiratórias para crianças menores de 5 anos. O risco para MP_{10} obtidos no presente trabalho se apresentou superior aos encontrados pelos autores citados acima.

Em Cubatão - São Paulo, no período de 2000 a 2008, o MP_{10} também apresentou associação com as internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos. Foi verificado que incremento de $10\mu g/m^3$ de MP_{10} esteve associado a um aumento de internações de 5,74% (IC95%: 3,80; 7,71%) para doenças respiratórias em crianças menores que 5 anos (NARDOCCI et al., 2013). Já Freitas et al. (2016) constatou um risco relativo de 6,60% (IC95%: 9,53;3,75%) para doenças respiratórias nessa faixa etária para o MP_{10} .

Em Volta Redonda, no período de 2002 a 2006, foi encontrado um risco de 5,22% (IC95%: 0,14;10,56%) após dois dias da exposição ao MP_{10} para internações em crianças menores de cinco anos. Os resultados desse estudo apontaram ainda uma associação entre o MP_{10} e mortalidade por doenças respiratórias, ainda quando as emissões se encontravam dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA (OLIVEIRA et al., 2011). Os estudos de Freitas et

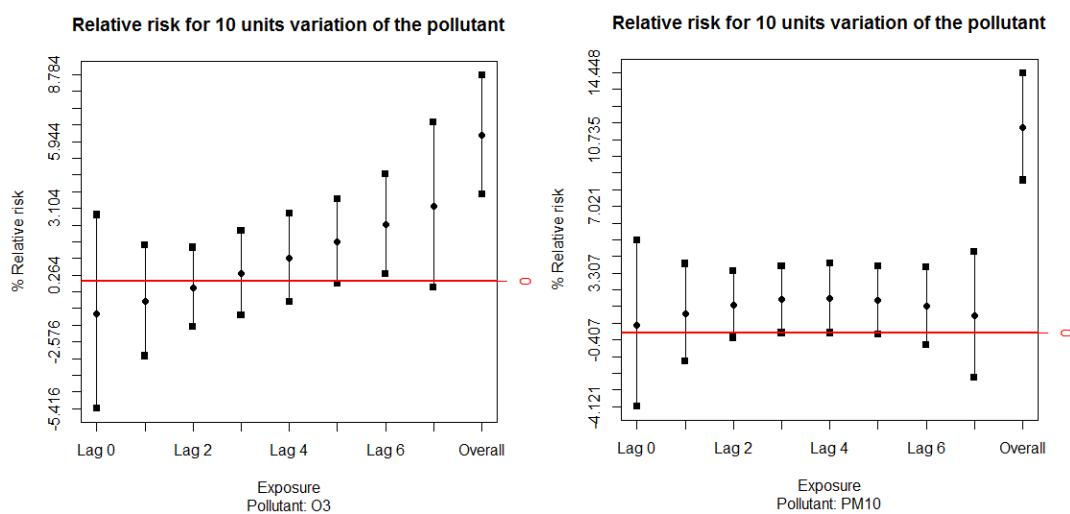
al. (2006), de Nardocci et al. (2013) e de Oliveira et al. (2011) apresentaram risco relativo consideravelmente superior ao encontrado na presente pesquisa.

Alguns estudos de séries temporais buscaram analisar a relação do MP_{10} com internações por doenças respiratórias para outras faixas etárias de crianças, bem como para mortalidade para esta mesma categoria. Os resultados se mostraram associados (PENNA & DUCHIADE, 1991; LIN et al., 1999; BRAGA et al., 2001; CONCEIÇÃO et al., 2001; SCHWARTZ, 2004; BAKONYI et al., 2004; NASCIMENTO et al., 2006; BRAGA et al., 2007; MOURA et al., 2009; JASINKI et al., 2011; OLIVEIRA, IGNOTTI & HACON, 2011; AMÂNCIO & NASCIMENTO, 2012; CÉSAR et al., 2013; NICOLUSSI et al., 2014).

5.4.2.3 Internações hospitalares por doenças respiratórias em idosos

Para doenças respiratórias em idosos com 60 anos ou mais, os efeitos estimados foram significativos estatisticamente para MP_{10} no *lag* 3 e 4 e para O_3 no *lag* 6. Os resultados revelaram que um aumento de $10\mu g/m^3$ de MP_{10} esteve associado a um aumento de 1,8% (IC95%: -0,02; 3,69%; p-valor = 0,05) no *lag* 3 e de 1,9% (IC95%: -0,02; 3,85%; p-valor = 0,05) no *lag* 4, para internações por doenças respiratórias em idosos. O O_3 no *lag* 6 também apresentou relação significativa com risco relativo de 2,41% (IC95%: 0,31; 4,57%; p-valor = 0,02) (Figura 18).

Figura 18: Risco relativo percentual para incrementos de $10\mu g/m^3$ de O_3 e MP_{10} para internações hospitalares por doenças respiratórias em idosos, em Volta Redonda, no período de 2013 a 2015



Gouveia et al. (2006) constatou que um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ no nível de MP_{10} esteve associado ao incremento de 2,2% nas internações por doenças respiratórias em idosos, de 4,3% para internações por doença pulmonar obstrutiva crônica, e de 1,9% para pneumonia, em idosos com 65 anos ou mais, no período de 1996 a 2000, no município de São Paulo.

Em um estudo sobre as duas maiores metrópoles brasileiras, São Paulo e Rio de Janeiro, foi verificado no Rio de Janeiro, no período de janeiro de 1990 a dezembro de 1993, que um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} esteve associado a um aumento de 3,5% (IC 95%: 1,012-1,059) para as internações por doenças respiratórias em idosos. Em São Paulo, no período de maio de 1996 e abril de 2000, verificou-se que o risco de internações devido a doenças respiratórias em idosos, foi de 1,9% para um incremento $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} (GOUVEIA et al., 2003).

Oliveira et al. (2011) em seu estudo, no município de Volta Redonda, observou que um aumento $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} esteve associado a um aumento de 4,15% (IC95%: 0,17; 8,29 %) no *lag* 2 para internações em idosos com 65 anos ou mais, devido as doenças respiratórias. O presente estudo apresentou valores próximos ao da literatura, porém consideravelmente menor quando comparado com o estudo de Oliveira et al. (2011).

No município de São Paulo, foram analisadas a relação da poluição do ar com os atendimentos no pronto-socorro de um hospital, para idosos com 65 anos ou mais, no período de maio de 1996 a 1998. Observou-se que um aumento interquartil (25%-75%) para o O_3 ($38,80\mu\text{g}/\text{m}^3$) levou a um incremento de 8,07% nos atendimentos por pneumonia ou gripe em idosos (MARTINS, 2002). Outros estudos buscaram associar o O_3 com internações por problemas respiratórios, pneumonia, e doença obstrutiva crônica, encontrando associação significativa entre as variáveis em questão (SCHWARTZ, 1994;1995; MOOLGAVKAR, LUEBEK & ANDERSON, 1997)

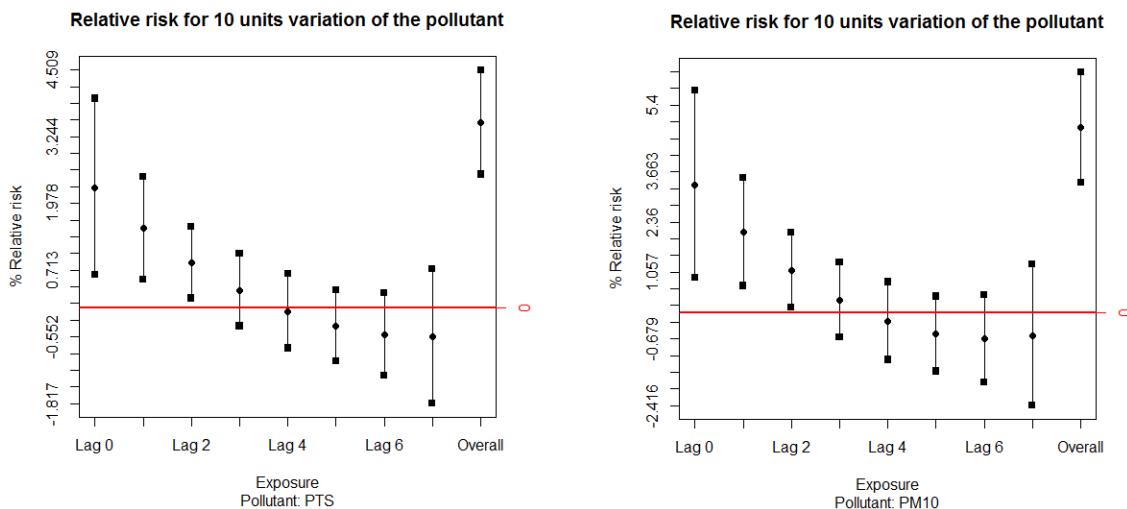
Alguns estudos de séries temporais que analisaram a relação do MP_{10} com mortalidade por doenças respiratórias em idosos se mostraram associados (SALDIVA et al., 1994; SALDIVA et al., 1995; DAUMAS, MENDONÇA & LEÓN, 2004; FREITAS et al., 2004).

Para Tadano (2007) os idosos são suscetíveis aos efeitos da poluição do ar por terem os sistemas respiratório e imunológico mais enfraquecidos, bem como por já terem sofrido ao longo do tempo, com a exposição à uma quantidade significativa de poluição atmosférica. Nos idosos, existe uma diminuição da parede torácica e hiperinsuflação pulmonar, ocasionando maior consumo de energia para realizar os movimentos respiratórios (SHARMA & GOODWIN, 2006).

5.4.2.4 Internações hospitalares por doenças circulatórias totais

Para doenças circulatórias totais, os efeitos estimados foram significativos estatisticamente para MP₁₀ e PTS no *lag* 0, 1 e 2. Os resultados revelaram que um aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP₁₀ esteve associado a um aumento de 3,31% (IC95%: 0,91; 5,77%; p-valor = 0,006) no *lag* 0, de 2,09% (IC95%: 0,69; 3,50%; p-valor = 0,003) no *lag* 1, e de 1,10% (IC95%: 0,13; 2,07%; p-valor = 0,02) no *lag* 2 para internações por doenças circulatórias totais. A PTS no *lag* 0 também apresentou relação significativa, com risco relativo de 2,27% (IC95%: 0,61; 3,96%; p-valor = 0,006), de 1,50% (IC95%: 0,53; 2,47%; p-valor = 0,002) no *lag* 1, e de 0,85% (IC95%: 0,18; 1,53%; p-valor = 0,01) no *lag* 2 (Figura 19).

Figura 19: Risco relativo percentual para incrementos de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PTS e MP₁₀ para internações hospitalares por doenças circulatórias totais, em Volta Redonda, no período de 2013 a 2015



No município de Volta Redonda, Oliveira et al. (2017), no período de 2002 a 2006, não observaram associação significativa entre o MP₁₀ e as internações por doenças do sistema cardiovascular totais, diferente do presente trabalho que verificou associação no *lag* 0, 1 e 2. Já em São Paulo, Gouveia et al. (2003) verificaram que aumentos de até 7% nas internações por doenças isquêmicas do coração se apresentaram associadas a incrementos no MP₁₀.

Ardiles (2016) buscou determinar o risco atribuído à saúde da população pela exposição à poluição do ar e as condições meteorológicas na Região Metropolitana de Curitiba, no período de 2010 a 2014, nas faixas etárias de 0 a 9 anos, 10 a 19, 20 a 64, maiores de 64

anos e para todas as faixas etárias incluídas. A autora identificou que em Curitiba, a associação mais relevante para internações circulatórias totais foi com o MP₁₀.

A relação entre o MP₁₀ e internações por hipertensão foi estudada no município de São José dos Campos, São Paulo, no período de 2007 a 2010. Os autores observaram que um aumento de 10 µg/m³ de material particulado aumentou em 13% o risco de internações por hipertensão no município (NASCIMENTO & FRANCISCO, 2013).

Arbex et al. (2010) estudaram a relação da PTS advinda de queimadas de plantações de cana-de-açúcar e as internações por hipertensão, no município de Araraquara, São Paulo, no período de 2003 a 2004. Percebeu-se que a PTS foi associada a internações devido à hipertensão e que um aumento de 10 µg/m³ na média móvel de 3 dias da PTS levou a um incremento de 12,5% (IC 95%: 5,6 a 19,9%) nas ocorrências por hipertensão durante o período de colheita, e de 9% (IC 95%: 4,0 a 14,3%) durante períodos de não colheita. Logo, em períodos de colheita, o risco relativo é maior, sendo quase 30% maior do que períodos de não colheita.

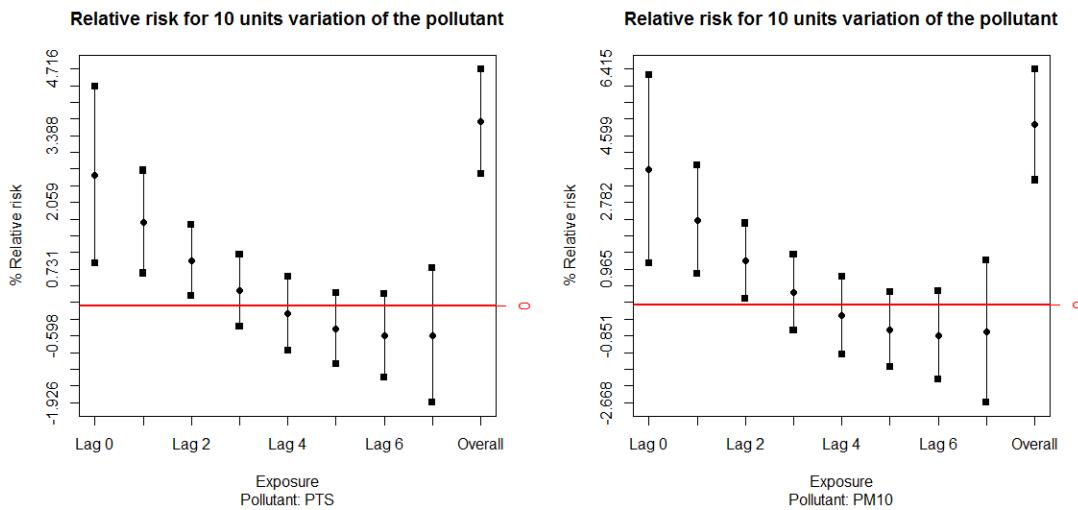
Em estudo, realizado em São José do Rio Preto, São Paulo, no período de 2011 a 2012, foi observado que aumento de 10 µg/m³ de MP_{2,5} levou a um incremento de 15% nas internações por doenças cardiovasculares, no *lag* 5 (MANTOVANI et al., 2016).

Quando os poluentes são inalados, parte deles podem atingir a circulação sistêmica, podendo causar impactos diretos no sistema cardiovascular, na corrente sanguínea e em receptores pulmonares, bem como impactos indiretos por meio de estresse oxidativo e resposta inflamatória (WELLENIUS et al., 2005; SALVI & BARNES, 2009).

5.4.2.5 Internações hospitalares por doenças circulatórias em pessoas com 40 anos ou mais

Para doenças circulatórias em pessoas com 40 anos ou mais, os efeitos estimados foram significativos estatisticamente para MP₁₀ e PTS no *lag* 0, 1 e 2. Os resultados revelaram que um aumento de 10µg/m³ de MP₁₀ esteve associado a um aumento de 3,66% (IC95%: 1,13; 6,25; p-valor = 0,004) no *lag* 0, de 2,29% (IC95%: 0,83; 3,78; p-valor = 0,002) no *lag* 1 e de 1,18% (IC95%: 0,16; 2,21; p-valor = 0,02) no *lag* 2 para internações por doenças circulatórias em pessoas com 40 anos ou mais. A PTS no *lag* 0 também apresentou relação significativa com risco relativo de 2,59% (IC95%: 0,84; 4,36; p-valor = 0,003) e de 1,66% (IC95%: 0,65; 2,69; p-valor = 0,001) no *lag* 1, e de 0,90% (IC95%: 0,19; 1,53; p-valor = 0,01) no *lag* 2 (Figura 20).

Figura 20: Risco relativo percentual para incrementos de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PTS e MP_{10} para internações hospitalares por doenças circulatórias em pessoas com 40 anos ou mais, em Volta Redonda, no período de 2013 a 2015



Em seu estudo, Nardocci et al. (2013) observaram uma associação entre o material particulado e doenças cardiovasculares em maiores de 39 anos município de Cubatão, São Paulo, no período de 2000 a 2008. Os autores verificaram que um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} elevou em 2,29% (IC95% : 0,86; 3,73%) para pessoas maiores de 39 anos. Esse mesmo poluente também foi analisado por Freitas et al. (2016), em Vitória, Espírito Santo, e não foi encontrada associação significativa entre o MP_{10} e as doenças cardiovasculares em maiores de 39 anos.

Diversos estudos buscam verificar a associação entre internações por doenças circulatórias em diferentes faixas etárias e concentrações de poluentes. Nesse contexto, o estudo de Nascimento et al. (2012), na cidade de São José dos Campos (SP), buscou estimar os efeitos da poluição atmosférica nas internações por acidente vascular encefálico em pessoas com 50 anos ou mais, no período de 2007 e 2008. Com os resultados foi verificado que a exposição ao material particulado, no mesmo dia, esteve associada às internações por acidente vascular encefálico. Verificou-se também que um acréscimo de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de material particulado aumentou o risco de internações em 12%. Gavinier e Nascimento (2014) também estudaram as internações por acidente vascular encefálico em indivíduos com 50 anos de idade ou mais, em Sorocaba, São Paulo, no período de 2007 a 2011. O poluente MP_{10} não apresentou relação com as internações por esta causa e faixa etária.

EVO et al. (2011) buscaram analisar a relação entre a poluição atmosférica e as internações por insuficiência cardíaca congestiva em idosos (60 anos ou mais), no município

de Santo André, no período de 2000 a 2007. Constatou-se que um aumento de 24,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP₁₀, aumentou em 3% (IC95%: 0,3; 5,7%) as internações por insuficiência cardíaca congestiva no mesmo dia da exposição, revelando um efeito agudo desse poluente para com essas internações.

No município de São Paulo, no período de 1996 a 2000, a associação entre o MP₁₀ e internações por doenças circulatórias em pessoas com 65 anos ou mais foi analisada por Gouveia et al. (2006). Os autores observaram que um aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP₁₀ esteve associado a um incremento de 1% e de 1,5% nas internações em idosos por doenças do sistema circulatório e para doenças isquêmicas do coração, respectivamente.

A poluição do ar impacta diretamente e indiretamente na saúde humana. Conforme a WHO (2015), dentre os 56,4 milhões de óbitos em todo o mundo, no ano de 2015, mais da metade foram devidas à dez principais causas. Dentre essas causas, a isquêmica do coração e o acidente vascular cerebral levam a óbito pessoas do mundo todo, representando 15 milhões de mortes combinadas em 2015.

5.5 ANÁLISE DOS GASTOS COM AS INTERNAÇÕES HOSPITALARES

Nesse estudo, a partir dos resultados encontrados na análise estatística, os efeitos dos poluentes sobre a saúde humana puderam ser quantificados. Para doenças respiratórias, foi observado que um aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP₁₀ esteve associado a um aumento de 1,39% no *lag* 2, e de 1,36% no *lag* 3 para internações por doenças respiratórias totais. A PTS no *lag* 2 também apresentou associação, com risco relativo de 0,84% (Tabela 17).

Tabela 17: Risco relativo percentual para internações hospitalares por doenças respiratórias e circulatórias, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015

Internações	Poluentes	Risco relativo percentual			
		Lag 0	Lag 1	Lag 2	Lag 3
Doenças respiratórias totais	PTS	-	-	0,84	-
	MP ₁₀	-	-	1,39	1,36
Doenças circulatórias totais	PTS	2,27	1,50	0,85	-
	MP ₁₀	3,31	2,09	1,10	-

Para doenças circulatórias, foi constatado que um aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP₁₀ esteve associado a um aumento de 3,31% no *lag* 0, de 2,09% no *lag* 1, e de 1,10% no *lag* 2 para

internações por doenças circulatórias totais. A PTS no *lag 0* também apresentou associação, com risco relativo de 2,27%, de 1,50% no *lag 1*, e de 0,85% no *lag 2* (Tabela 17).

Os resultados apresentados confirmaram a associação entre as internações por doenças cardiorrespiratórias e a exposição à concentração de PTS e MP₁₀, uma vez que a elevação de seus níveis diários elevou o número de internações por doenças respiratórias e circulatórias.

A partir dos dados obtidos foi calculado o número de internações associadas à poluição do ar, bem como os custos atribuídos a ela, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015.

A partir da análise dos resultados, foi observado que 130 das 3.660 internações por doenças respiratórias estiveram associadas aos níveis de MP₁₀ e PTS na atmosfera (Tabela 18). Das internações por doenças circulatórias observou-se que 575 das 5.272 estiveram associadas com a concentração de MP₁₀ e PTS na atmosfera (Tabela 19). Do total de internações por doenças cardiorrespiratórias, 8% estiveram associadas ao material particulado.

Tabela 18: Internações hospitalares por doenças respiratórias atribuídas a exposição ao MP₁₀ e ao PTS, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015

Ano	MP₁₀		PTS
	Lag 2	Lag 3	Lag 2
2013	17	16	10
2014	17	17	10
2015	16	16	11
Total	50	49	31

Tabela 19: Internações hospitalares por doenças circulatórias atribuídas a exposição ao MP₁₀ e ao PTS, em Volta Redonda, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015

Ano	MP₁₀			PTS		
	Lag 0	Lag 1	Lag 2	Lag 0	Lag 1	Lag 2
2013	57	36	19	39	26	15
2014	56	36	19	39	26	15
2015	57	36	19	40	27	15
Total	169	108	57	117	79	45

A partir do número de internações associadas à poluição do ar foi possível estimar o custo dessa poluição. Tal valor foi encontrado através da multiplicação do valor médio das internações pelo número de internações.

O montante gasto associado às doenças circulatórias foi de R\$ 1.268.188,08, maior do que o valor estimado para as doenças do sistema respiratório, que foi de R\$ 151.734,61 (Tabelas 20 e 21). Notou-se que o custo estimado para doenças circulatórias representa 89% do total de gastos com internações cardiorrespiratórias.

Tabela 20: Estimativa do custo associado à poluição do ar, devido às doenças respiratórias, na cidade de Volta Redonda

PTS					
Ano	Lags	Total	Valor Médio*	Valor total	
2013	<i>Lag 2</i>	10	R\$ 1.239,30	R\$ 12.557,74	
2014	<i>Lag 2</i>	10	R\$ 1.181,06	R\$ 12.312,35	
2015	<i>Lag 2</i>	11	R\$ 1.063,57	R\$ 11.699,27	
Total				R\$ 36.569,36	
MP₁₀					
Ano	Lags	Total	Valor Médio*	Valor total	
2013	<i>Lag 2</i>	17	R\$ 1.239,30	R\$ 20.525,79	
	<i>Lag 3</i>	16	R\$ 1.239,30	R\$ 20.247,39	
	Total	33		R\$ 40.773,19	
2014	<i>Lag 2</i>	17	R\$ 1.181,06	R\$ 20.124,69	
	<i>Lag 3</i>	17	R\$ 1.181,06	R\$ 19.851,73	
	Total	34		R\$ 39.976,42	
2015	<i>Lag 2</i>	16	R\$ 1.063,57	R\$ 17.325,32	
	<i>Lag 3</i>	16	R\$ 1.063,57	R\$ 17.090,33	
	Total	32		R\$ 34.415,64	
Total				R\$ 115.165,25	
Total geral				R\$ 151.734,61	

*Valor médio das internações por doenças respiratórias, conforme dados do DATASUS.

Tabela 21: Estimativa do custo associado à poluição do ar, devido às doenças circulatórias, na cidade de Volta Redonda

PTS				
Ano	Lags	Total	Valor Médio*	Valor total
2013	<i>Lag 0</i>	39	R\$ 2.214,95	R\$ 86.914,62
	<i>Lag 1</i>	26	R\$ 2.214,95	R\$ 57.821,53
	<i>Lag 2</i>	15	R\$ 2.214,95	R\$ 33.140,04
	Total	80		R\$ 177.876,20
2014	<i>Lag 0</i>	39	R\$ 2.128,16	R\$ 82.087,15
	<i>Lag 1</i>	26	R\$ 2.128,16	R\$ 54.609,96
	<i>Lag 2</i>	15	R\$ 2.128,16	R\$ 31.299,36
	Total	80		R\$ 167.996,47
2015	<i>Lag 0</i>	40	R\$ 2.265,23	R\$ 89.694,76
	<i>Lag 1</i>	27	R\$ 2.265,23	R\$ 61.161,21
	<i>Lag 2</i>	15	R\$ 2.265,23	R\$ 34.200,10
	Total	82		R\$ 185.056,07
Total				R\$ 530.928,74
MP₁₀				
Ano	Lags	Total	Valor Médio*	Valor total
2013	<i>Lag 0</i>	57	R\$ 2.214,95	R\$ 125.198,63
	<i>Lag 1</i>	36	R\$ 2.214,95	R\$ 80.004,02
	<i>Lag 2</i>	19	R\$ 2.214,95	R\$ 42.495,37
	Total	112		R\$ 247.698,01
2014	<i>Lag 0</i>	56	R\$ 2.128,16	R\$ 118.244,76
	<i>Lag 1</i>	36	R\$ 2.128,16	R\$ 75.560,38
	<i>Lag 2</i>	19	R\$ 2.128,16	R\$ 40.135,06
	Total	111		R\$ 233.940,20
2015	<i>Lag 0</i>	57	R\$ 2.265,23	R\$ 129.203,36
	<i>Lag 1</i>	36	R\$ 2.265,23	R\$ 82.563,11
	<i>Lag 2</i>	19	R\$ 2.265,23	R\$ 43.854,67
	Total	112		R\$ 255.621,13
Total				R\$ 737.259,34
Total geral				R\$ 1.268.188,08

*Valor médio das internações por doenças circulatórias, conforme dados do DATASUS.

Foram identificadas 725 internações que poderiam ter sido evitadas, caso houvesse a manutenção da qualidade do ar (Tabelas 18 e 19). O custo da poluição atmosférica na cidade de Volta Redonda para o período analisado, foi de R\$ 1.419.922,69 (Tabelas 20 e 21). Esse valor demonstra um custo que poderia ser evitado caso a população não tivesse sido exposta a esses poluentes.

A partir da análise dos resultados, observou-se que a poluição atmosférica na cidade de Volta Redonda, no período estudado, esteve relacionada a internações por doenças cardiorrespiratórias, especialmente pela exposição da população ao MP₁₀ e a PTS.

Mantovani et al. (2016) em seu estudo, em São José do Rio Preto, São Paulo, no período de outubro de 2011 a setembro de 2012, observou que a exposição ao MP_{2,5} no quinto dia após a exposição, foi significativo para internação devido a doenças cardiovasculares. Os autores identificaram 650 internações evitáveis com custos de R\$ 1,9 milhão. Paiva (2010) também buscou estimar os custos associados a poluição do ar em Volta Redonda, no período de 2005 a 2007. Foi observado que a exposição ao CO esteve associada a um aumento de 6,35% nas internações por doenças respiratórias. A autora verificou 316 internações evitáveis, com custos de R\$ 170.711,83.

Uma das dificuldades em realizar a estimativa dos custos envolvidos com a exposição aos poluentes atmosféricos, reside no fato de que pode ocorrer subestimação do custo dessa poluição, uma vez que é preciso levar em consideração que foram considerados apenas os gastos com as internações cardiorrespiratórias realizadas pelo SUS. Não sendo considerados, por exemplo, as consultas e as internações do sistema privado, os dias de trabalho perdido perdidos pelos indivíduos internados, a renda perdida pelo acompanhante do paciente, e a mortalidade precoce associada a poluição. Os danos gerados sobre a vida animal e vegetal também produz impacto nos gastos do poder público (PAIVA, 2010).

Uma análise mais integrada poderia colaborar para uma estimativa de um custo mais completa. Entretanto, mesmo que os valores monetários apurados sejam referentes apenas a uma parte do valor econômico total, ainda assim, os resultados são uma importante fonte de informação para o desenvolvimento de políticas públicas que busquem a redução ou eliminação da poluição atmosférica na cidade de Volta Redonda.

5.6 ANÁLISE DAS PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO – PTS

5.6.1 Análise química por Fluorescência de Raios-X

O material particulado é considerado como o mais eficiente transportador de poluentes para o organismo humano. O MP pode levar à irritação das vias aéreas, inflamação e aumento de reatividade brônquica. Além disso, pode reduzir o transporte muco ciliar, com exacerbação de crises de asma brônquica, aumento das infecções respiratórias e piora da sibilância. A exposição por um longo período ao MP, pode contribuir para o aumento do risco de doenças

respiratórias crônicas, arteriosclerose, e câncer no pulmão. Já a exposição por um curto período pode acarretar no aumento de doenças, tais como asma e bronquite, bem como alterar a frequência cardíaca (ARBEX et al., 2004; SAAR, 2004; DOMINICI et. al., 2006; TADANO, 2007; HALES & HOWDEN-CHAPMAN, 2007; ELLIOTT et. al., 2007).

O efeito produzido pelo material particulado sobre a saúde das pessoas depende do tamanho das partículas e da composição química do material. Este poluente, geralmente, apresenta compostos inorgânicos (sulfatos e nitratos, metais de transição, sais solúveis), compostos orgânicos, como hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, e material biológico (WHO, 2005; KÜNZLI, PEREZ, RAPP, 2010).

Tais partículas podem ser tóxicas, afetando a qualidade do ar e causando problemas sérios de saúde devido à exposição de elementos químicos. É válido mencionar que embora muitos estudos sejam focados em metais no solo e na água, existem poucos trabalhos que buscam avaliá-los na atmosfera (HUEGLIN et al., 2005; MATEUS et al., 2013; ZHANG et al., 2014).

Nesse contexto, o presente estudo buscou realizar a análise química da PTS, com o objetivo de constatar se existe a presença de metais pesados na poeira da cidade. Tal análise ocorreu por meio da Fluorescência de Raios-X (FRX), onde foi observado a presença predominante de ferro na amostra da poeira de Volta Redonda (Tabela 22). A exposição ao ferro metálico, por via respiratória, pode causar danos ao coração, ao fígado, ao sistema endócrino, nervoso e respiratório (ATSDR, 2014; MMA, 2017a; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2017).

Tabela 22: Composição química da PTS de Volta Redonda, por meio da FRX

Material Particulado Atmosférico - PTS		
Elemento	Concentração	Unidade
Mg	2,24	%
Al	2,34	%
Si	4,80	%
Pb	382,30	ppm
S	0,31	%
Cl	676,1	ppm
K	0,119	%
Ca	9,54	%
Ti	0,11	%
V	62,3	ppm
Zn	529,1	ppm
Mn	0,52	%
Fe	79,5	%
Cu	317,7	ppm
Rb	398,2	ppm
Sr	177,6	ppm
Zr	49,2	ppm

Conforme os resultados obtidos (Tabela 22), foi verificado que a maior parte da amostra de PTS é composta, por Fe (79,5%), Ca (9,5%), Si (4,8%), Al (2,3%), e Mg (2,24%). Os demais elementos analisados, ainda que apresentem valores reduzidos, a longo prazo também produzem efeitos sobre a saúde humana.

O chumbo ainda que em quantidade menor no MP, é muito prejudicial à saúde. Este metal presente sob a forma de partículas na atmosfera, quando inalado, é absorvido (cerca de 90%) pelo organismo humano, afetando o bom funcionamento das enzimas e das membranas celulares. Estudos apontaram que, em crianças, a absorção e retenção do metal inalado, é consideravelmente superior ao dos adultos, com valores de 41,5% e 31,8%, respectivamente. O chumbo, em crianças, contribui para o atraso físico, mental e cognitivo. Já os adultos são acometidos por hipertensão arterial, danos renais, no sistema reprodutivo e digestivo, bem como no sistema nervoso como um todo. Dentre os efeitos desse metal, o considerado mais grave, é a encefalopatia, que afeta a todos (adultos e crianças) (KLAASSEN, 2001; COLACIOPPO, 2001; LINKS et al., 2001; RAMIREZ, 2002; SADAO, 2002; JA-LIANG et al., 2003; SAAR, 2004; CALABUING, 2004; HEINZL, MITTBÖCK & EDLER, 2007; ANDRADE et al., 2009; WANG et al., 2009).

Devido ao Fe, Al, Zn e Mn estarem em seu estado metálico e serem introduzidos no organismo, pelo sistema respiratório, eles são bioacumulativos e, portanto, não apresentam benefícios à saúde, pois o organismo não consegue excretá-los. Os referidos elementos podem ser considerados micronutrientes quando consumidos na forma de alimentos, porém, quando inalados, podem causar efeitos negativos aos seres humanos (ATSDR, 2014; ANDRADE et al., 2009; MAGALHÃES et al., 2010; MMA, 2017a; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2017).

A partir da análise da composição da amostra da poeira, sugere-se que exista em Volta Redonda uma alta emissão de ferro, que pode estar associado à atividade industrial. Tal atividade siderúrgica, possui como insumos básicos o carvão mineral, minério de ferro e fundentes, que são as principais matérias primas utilizadas nas usinas para a produção de aço (MOURÃO, 2007).

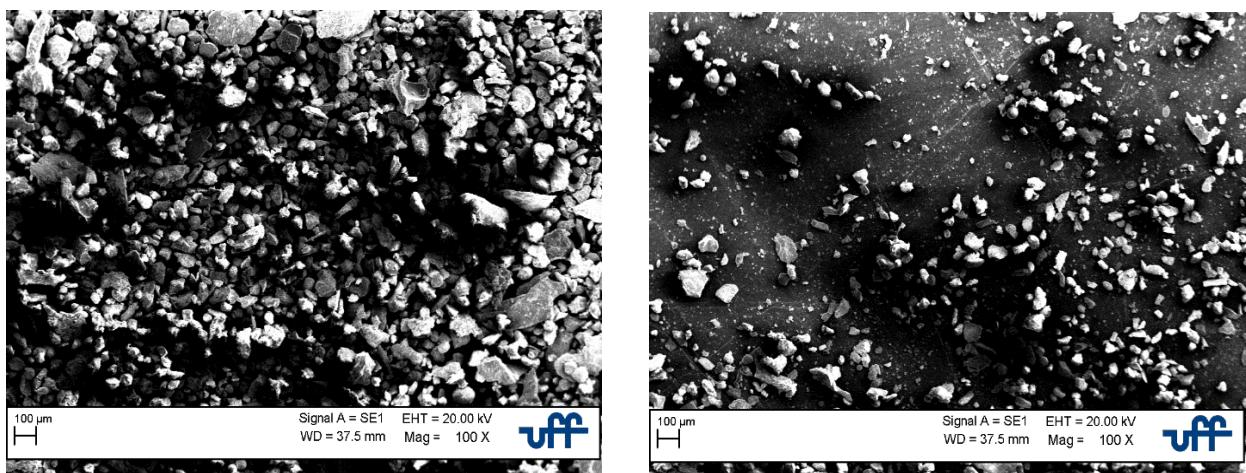
Segundo Milanez (2008), os poluentes emitidos no processo de produção do aço em usinas siderúrgicas, são: gás sulfídrico (H_2S), óxidos de enxofre (SO_x), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), etano (C_2H_6), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO) e diferentes hidrocarbonetos orgânicos, como o benzeno, chumbo e material particulado (poeira, fuligem, finos de minério, entre outros).

O acelerado aumento da quantidade de veículos também contribui para a degradação da qualidade do ar, pois emitem poluentes primários (os materiais particulados (MP), o monóxido de carbono (CO), o dióxido de enxofre (SO_2), o dióxido de carbono (CO_2), os óxidos de nitrogênio (NO_x) e os hidrocarbonetos (HC)) e secundários (oxidantes fotoquímicos (como o ozônio), o ácido sulfúrico, o ácido nítrico e o dióxido de nitrogênio (NO_2)). Os veículos automotores além de gerarem poluentes primários e secundários, colaboram também para a ressuspensão de partículas inaláveis (PI), a partir do movimento dos veículos, gerando o arraste do MP (ONURSAL & GAUTAM, 1997; LOUREIRO, 2005).

5.6.2 Microscopia Eletrônica de Varredura

Foi realizada também a análise microscópica da PTS, conforme a Figura 21, que mostra o perfil da amostra, visto pelo Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Pela imagem, verificou-se o formato predominantemente esférico das partículas. Conforme Almeida (1999) os fumos metálicos (ferro, zinco, alumínio, entre outros) são partículas sólidas, em geral de formato mais esférico.

Figura 21: Amostra da PTS de Volta Redonda, pelo MEV



5.6.3 Granulometria a laser

Os efeitos do material particulado emitido por atividades industriais e veículos automotores podem variar em função tanto da composição química quanto do tamanho da partícula. As partículas grossas, ou seja, maiores que 10 μm são geralmente depositadas na região superior do sistema respiratório, podendo causar alergias, rinites e sinusites. Já as partículas menores podem atingir os alvéolos pulmonares e se acumular nos pulmões, ocasionando doenças pulmonares causadas pela inalação de poeiras (como a pneumoconiose e cânceres) (CETESB, 2017; TADANO, 2007). A Figura 22 apresenta uma comparação de tamanho de partícula fina e grossa com fio de cabelo e grão de areia.

Figura 22: Comparação dimensional por caracterização de tamanho por diâmetro de partículas MP_{2,5} e MP₁₀ comparativamente à variação média do diâmetro médio de um fio de cabelo e de um grão de areia fina



Fonte: Adaptado de U. S. EPA, 2017.

Nesse sentido, foi realizado neste trabalho, a granulometria a laser, a fim de verificar quanto da amostra da poeira, da cidade de Volta Redonda, se enquadra em MP₁₀ e MP_{2,5}. Foi observado que 27% da PTS correspondem a partículas entre 11μm e 58μm. Já as partículas menores que 10μm e 2,5μm, correspondem à 5% e 2,1% da PTS, respectivamente. Supondo que a amostra é homogênea e as proporções dos elementos se mantém constante independentemente do tamanho da amostra, foi realizado o cálculo proporcional, no qual foi estimado que dā PTS, 4,04% é composto de ferro em partículas menores que 10μm e 1,66% por partículas menores que 2,5μm. Ou seja, de todo o material particulado em suspensão, estimou-se que 4,04% é composto de Fe em tamanho inálavel.

Devido aos efeitos deletérios dos metais pesados na saúde, muitos estudos têm sido desenvolvidos com a finalidade de determinar a presença desses metais em poeiras atmosféricas. Vasconcellos et al. (2007) procuraram verificar a presença de metais em poeira, na cidade de São Paulo, e encontraram Fe, Al, Cu e Zn, além dos metais solúveis em água (K, Na e Mg). As fontes desses poluentes foram atribuídas à ressuspensão de poeiras, à queima de combustíveis e às atividades industriais.

Pereira et al. (2007) buscaram avaliar a presença de metais em poeiras atmosféricas, na cidade de Salvador, Bahia, e encontraram Fe, Zn e Cu em maior quantidade, os quais foram atribuídos às atividades de mineração e à emissão veicular.

Os metais pesados são tóxicos e seus efeitos estão relacionados à sua quantidade, podendo ser distribuídos por todo o organismo, alcançando diversos órgãos e modificando processos bioquímicos e membranas celulares. Esses metais entram no organismo dos seres humanos por via digestiva, respiratória e cutânea. Devido ao fato de serem bastante reativos e bioacumulativos, não são expelidos de forma rápida pelo organismo (CALABUING, 2004; COLACIOPPO, 2001; ANDRADE et al., 2009; MAGALHÃES et al., 2010).

6 CONCLUSÃO

Em Volta Redonda, no período estudado, as concentrações diárias do MP₁₀, O₃ e PTS, bem como as internações por doenças respiratórias demonstraram um padrão sazonal. Já as internações por doenças circulatórias se revelaram mais estáveis no período analisado. A sazonalidade que foi observada nas variáveis citadas acima, pode ser explicada pelo clima e topografia da cidade, bem como devido a fenômenos como inversão térmica.

Os resultados, a partir da utilização do MAG, indicaram que a poluição atmosférica na cidade, no período estudado, esteve relacionada a internações por doenças respiratórias e circulatórias, principalmente pela exposição da população a PTS, MP₁₀ e O₃, sendo os idosos e crianças as faixas etárias que apresentam maior susceptibilidade à poluição do ar.

Tal associação, ocorreu ainda quando níveis de poluentes não ultrapassaram o limite estabelecido pela Legislação Brasileira, sugerindo que os mesmos são prejudiciais ainda que em quantidades permitidas. Nesse contexto, é relevante mencionar que os padrões de qualidade do ar foram criados em 1990 e, desde então, não sofreram modificações, mesmo a OMS recomendando valores menores dos que praticados no Brasil. Logo, é importante que o CONAMA realize a revisão dos padrões nacionais de qualidade do ar.

A partir dos resultados da associação das doenças cardiorrespiratórias e os poluentes do ar, foram avaliados os gastos monetários incorridos pelo SUS para custeio dessas internações. O custo estimado foi de R\$ 1.419.922,69. Esse valor poderia ter sido evitado se não houvesse a degradação da qualidade do ar. Além dos gastos monetários, que são apenas uma pequena parcela estimada, existem outros gastos monetários e outras perdas ainda maiores, como qualidade de vida, momentos de lazer, dias de trabalho perdido, entre outros.

Foi observado, por meio da distribuição espacial das internações, que o Centro Norte e o Oeste foram bem impactados pela poluição do ar, o que pode estar associado à proximidade da CSN, a predominância dos ventos no sentido Noroeste, bem como com ao considerável fluxo diário de veículos que trafegam pela Avenida Beira Rio ao longo do dia. Os resultados também revelaram que o setor Centro Sul também foi bastante impactado pela poluição atmosférica. Devido a este fato, sugere-se que possa existir outra fonte de emissão de poluentes que afetou o número de internações por doenças cardiorrespiratórias, como exemplo, têm-se a proximidade à ferrovia e rodovia com grande fluxo de veículos, bem como a presença de um pátio de escória a céu aberto, no bairro Brasilândia.

Nesse estudo, foi realizada a análise da PTS. Foi observado que a maior parte da amostra de PTS, em Volta Redonda, no período estudado, é composta por Fe (79,5%). Ao considerar

que a amostra é homogênea e as proporções dos elementos se mantém constante independentemente do tamanho da amostra, foi estimado que dā PTS, 4,04% é composto de ferro em partículas menores que 10 μm e 1,66% por partículas menores que 2,5 μm . Ou seja, de todo o material particulado em suspensão, estima-se que 4,04% é composto de Fe em tamanho inálavel. O ferro em seu estado metálico, quando introduzido no organismo, pelo sistema respiratório, é bioacumulativo e pode agir no sistema nervoso central, no sistema digestivo e no sistema respiratório, causando danos à saúde humana.

A composição química do material particulado influencia sobremaneira a saúde humana, porém, embora o CONAMA apresente padrões para PTS e MP₁₀, não há grandes esforços governamentais a fim de identificar qualitativamente o que está sendo inalado pela população. Ainda que os poluentes estejam dentro do padrão, se os mesmos apresentarem substâncias tóxicas ao organismo, quantidades muito abaixo dos padrões já podem causar sérios danos à saúde.

Os resultados produzidos a partir desse trabalho são importantes, pois, podem colaborar para elaboração de políticas públicas mais completas e efetivas. Tendo em vista a relevância do tema estudado e devido algumas limitações desse estudo (tais como: amostra de PTS reduzida, internações registradas somente na rede pública e outros custos não contabilizados na estimativa de gastos associados a poluição atmosférica), sugere-se que outros estudos possam ampliar a discussão sobre os efeitos da poluição do ar na saúde humana, com relação a outros tipos de doenças (neoplasias, doenças oftalmológicas, doenças no sistema nervoso, entre outras), bem como incluir casos registrados na rede privada e casos que não levaram à internações, como dados de pronto socorro e de postos de saúde.

7 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, I. T. *A poluição atmosférica por material particulado na mineira a céu aberto, em São Paulo.* 1999. 194 f. Dissertação (Mestrado) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.
- AMÂNCIO, T. C.; NASCIMENTO, C. F. L. Asma e poluentes ambientais: um estudo de séries temporais. *Revista da Associação Médica Brasileira*, v.58, n.3, p.302-7, 2012.
- AMÂNCIO, T. C.; NASCIMENTO, C. F. L. Poluição ambiental e óbitos devido a acidente vasculoencefálico em uma cidade com baixos níveis de poluentes: estudo ecológico de séries temporais. *São Paulo Medical Journal*, v.132, n.6, 2014.
- AMARAL, D. M.; PIUBELI, F. A. *A Poluição Atmosférica Interferindo na Qualidade de Vida da Sociedade.* In: X Simpósio de Engenharia de Produção, 2003.
- ANDRADE, J. B. et al. *Contaminação química.* In: HATJE, V., e ANDRADE, J. B., organização Baía de todos os santos: aspectos oceanográficos. Salvador: EDUFBA, Bahia, p. 244-297, 2009.
- ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. *Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano.* Texto para discussão. Instituto de Economia/UNICAMP, n. 155, 2009.
- ANDERSEN, Z. J. et al. Chronic obstructive pulmonary disease and long-term exposure to traffic-related air pollution: a cohort study. *American Journal Respiratory and Critical Care Medicine*, v.183, n.4, p.455-461, 2011.
- ANENBERG, S. C. et al. An estimate of the global burden of anthropogenic ozone and fine particulate matter on premature human mortality using atmospheric modeling. *Environmental Health Perspectives*, v.118, n.9, p.1189-95, 2010.
- ARBEX, M. A. et al. Queima da biomassa e efeitos sobre a saúde. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v. 30, n. 2, p. 158-175, 2004.
- ARBEX, M. A. et al. A poluição do ar e o sistema respiratório. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v.38, n.5, São Paulo, 2012.
- ARBEX, M.A. et al. Impact of outdoor biomass air pollution on hypertension hospital admissions. *Journal Epidemiologic Community Health*, v.64, n.7, p.573-9, 2010.
- ARDILES, L. G. *Risco à saúde atribuído à poluição do ar e variáveis meteorológicas na Região Metropolitana de Curitiba.* 2016. 103f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA). Campus Apucarana/Londrina. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2016.
- ASSUNÇÃO, J. V. *Poluição Atmosférica.* In: CASTELLANO, E. G., Desenvolvimento Sustentado: Problemas e Estratégias. São Paulo, Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1998.

ATSDR. AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. 2014. *Toxic Substance*. Disponível em: < <https://www.atsdr.cdc.gov/substances/index.asp> >. Acesso em: dezembro de 2017.

AYOADE, J. O. *Introdução à climatologia para os trópicos*. São Paulo: Difel, 1996.

AZUAGA, D. *Danos Ambientais Causados por Veículos Leves no Brasil*. 2000. 168 f. Tese (Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ), Rio de Janeiro, 2000.

BAKONYI, S. M. C. et al. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. *Revista de Saúde Pública*, v.38, p.695-700, 2004.

BARBIERI, J. C.; SILVA, D. Desenvolvimento sustentável e educação ambiental: uma trajetória comum com muitos desafios. *Revista Administração Mackenzie*, v.12, n.3, São Paulo, 2011.

BARBOSA, S. M. M. et al. Poluição do ar e a saúde das crianças: a doença falciforme. *Cadernos de Saúde Pública*, v.31, n.2, p.265-75, 2015.

BELL, M. L.; DAVIS, D. L. Reassessment of the lethal London fog of 1952: novel indicators of acute and chronic consequences of acute exposure to air pollution. *Environmental Health Perspectives*, v. 109, n.3, p.389, 2001.

BOBAK, M. Outdoor air pollution, low birth weight, and prematurity. *Environmental Health Perspectives*, v.108, n.2, p.173-6, 2000.

BÖHM, G. M. *Como os principais poluentes provocam doenças*, 1996. Disponível em:<<http://www.saudetotal.com.br/artigos/meioambiente/poluicao/spdoencpol.asp>> Acesso em: novembro de 2016.

BOTKIN, D. B.; KELLER, E. A. *Ciência Ambiental*, Terra, um Planeta Vivo. Editora: LTC, Rio de Janeiro, 2011.

BRAGA, A. L.; ZANOBETTI, A.; SCHWARTZ, J. The lag structure between particulate air pollution and respiratory and cardiovascular deaths in 10 US cities. *Journal Occupational Environment Medicine*. v. 43, 11^a edição, p.927-933, 2001.

BRAGA, A. et al. Poluição atmosférica e saúde humana. *Revista USP*, n.51, p. 58-71, São Paulo, 2001.

BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. H. N. Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana. In: *Sustentabilidade na geração e uso de energia no Brasil: os próximos 20 anos*. Campinas, 2002.

BRAGA, A. L. et al. Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v.23, p.570-8, 2007.

BRAGA, B. et al. *Introdução à engenharia ambiental*. Ed Prentice Fall, São Paulo, 2002.

BRANCO, S. M. *Poluição do ar*. 2^a ed., São Paulo: Ed. Moderna, 1995.

BRASIL. LEI N° 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília (DF).1981.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução do CONAMA N° 018 de 6 de maio de 1986. Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores – PROCONVE. Diário Oficial da União, Brasília (DF).1986.

BRASIL. CONSTITUIÇÃO FEDERAL, de 1988. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução do CONAMA N° 005 de 15 de junho de 1989. Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR. Diário Oficial da União, Brasília (DF). 1989.

_____. Resolução CONAMA N° 003 de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Diário Oficial da União, Brasília (DF). 1990a.

_____. Resolução do CONAMA N° 008 de 6 de dezembro de 1990. Dispõe sobre o estabelecimento de limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa de fontes fixas de poluição. Diário Oficial da União, Brasília (DF). 1990b.

BRASIL. LEI N° 9.503, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Diário Oficial da União, Brasília (DF).1997.

BRASIL. LEI N° 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília (DF).1998.

BROOK, R. D. et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, v.121, n.21, p.2331-2378, 2010.

CALABUING, G. *Medicina Legal y Toxicología*, Editorial: Masson, 6^a Edicion p.939-967, Barcelona, Espanha, 2004.

CAMEY, S. A. et al. Fração Atribuível Populacional. Revista do Hospital das Clínicas de Porto Alegre. *Clinical and Biomedical Research*, v.30, n.1, p. 77-85, 2010.

CARNESECA, E. C.; ACHCAR, J. A.; MARTINEZ, E. Z. Association between particulate matter air pollution and monthly inhalation and nebulization procedures in Ribeirão Preto, São Paulo State, Brazil. *Cadernos de Saúde Pública*, v.28, n.8, Rio de Janeiro, 2012.

CARVALHO, F. G.; JABLONSKI, A.; TEIXEIRA, E. C. Estudo das partículas totais em suspensão e metais associados em áreas urbanas. *Química Nova*, v. 23, n. 5, p. 614-617, 2000.

CASUCCIO, G. S.; JANOCKO P. B. The use of scanning electron microscopy in environmental studies, *Journal of the Air Pollution Control Association*, v. 33, p. 937-948, 1983.

CASTRO, A. H. S.; ARAÚJO, R. S.; SILVA, G. M. M. Qualidade do ar – parâmetros de controle e efeitos na saúde humana: uma breve revisão. *Holos*, v. 5, p. 107-121, 2013.

CEMARJ. CONSELHO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE DO RIO DE JANEIRO. Lei Estadual Nº 3467, de 14 de setembro de 2000. Dispõe sobre as sanções administrativas derivadas de condutas lesivas ao meio ambiente no Estado do Rio de Janeiro, e dá outras providências. Diário Oficial Estado do Rio de Janeiro.2000.

CESAR, G. C. A.; NASCIMENTO, C. F. L.; CARVALHO, A. J. Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças. *Revista de Saúde Pública*, v.47, n.6, p.1209-12, 2013.

CHANAY, S. et al. Biochemical changes in humans upon exposure to nitrogen dioxide while at rest. *Archives of Environmental Health*, v.36, p.53-58, 1981.

CHEN, L.; VERRALL, K.; TONG, S. Air particulate pollution due to bushfires and respiratory hospital admissions in Brisbane, Australia. *International Journal of Environmental Health Research*, v.16, n. 3, p. 181-91, 2006.

COELHO, M. S. Z. S. *Uma análise estatística com vistas a previsibilidade de internações por doenças respiratórias em funções de condições meteorotrópicas na cidade de São Paulo*. 2007. 196 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, 2007.

COLACIOPPO, S. *Higiene e Toxicologia Ocupacional – Metais Pesados*. I Jornada de Toxicologia da Sociedade Paulista de Medicina do Trabalho e do Departamento de Medicina do Trabalho da Associação Paulista de Medicina da Universidade de São Paulo; Brasil; 2001.

CETESB.COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo, 2000*. Disponível em:<<http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>> Acesso em: dezembro de 2016.

_____. *Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo, 2013*. Disponível em:<<http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>> Acesso em: dezembro de 2016.

_____. *Poluentes, 2017*. Disponível em:<http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_saude.asp> Acesso em: dezembro de 2017.

CHRISTOFOLETTI, S. R.; MORENO, M. M. T. Granulometria por difração a laser e sua relação com a faciologia das rochas argilosas da Formação Corumbataí-SP. *Revista Cerâmica* v.63, p.303-310, 2017.

CONCEIÇÃO, G. M. S.; SALDIVA, P. H. N.; SINGER, J. N. Modelos MLG e MAG para análise da associação entre poluição atmosférica e marcadores de morbimortalidade: uma introdução baseada em dados da cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 4, n. 3, p.206-219, 2001.

CONCEICAO, G. M. et al. Air pollution and child mortality: a time series study in Sao Paulo, Brazil. *Environmental Health Perspectives*, v.109, n.3, p.347-50, 2001.

CRUZ, A. P. F. N. *A Tutela Ambiental do Ar Atmosférico*. 1^a. ed. Rio de Janeiro: Esplanada (ADCOAS), p.64, 2002.

CUNHA, R. M. P. *Estudo do Transporte de Poluentes na Região do Pólo Petroquímico, Localizado Em Triúndo- Rs.* 2002. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

CURY, P. M. et al. Urban levels of air pollution modifies the progression of urethane-induced lung tumours in mice. *Pathology Research and Practice*, v.196, n.9, p.627-633, 2000.

DALLAROSA, J. B. *Estudo da formação e dispersão de ozônio troposférico em áreas de atividade de processamento de carvão aplicando modelos numéricos*. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2005.

DALY, H.; FARLEY, J. *Ecological Economics: Principles and applications*. Island Press: Washington. 2003.

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

DATASUS. DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA DO SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE. *Informações de Saúde. Morbidade Hospitalar por local de internação, CID-10*. Disponível em: <<http://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude>> Acesso em: abril, 2017.

_____. *Internações por doenças respiratórias e circulatórias de Volta Redonda* [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <robertapaz2003@yahoo.com.br> em 12 de janeiro de 2017.

DAUMAS, R. P.; MENDONÇA, G. A. S.; LEÓN, A. P. Poluição do ar e mortalidade em idosos no Município do Rio de Janeiro: análise de série temporal. *Cadernos de Saúde Pública*, v.20, n.1, p.311-9, 2004.

DE GROOT, R. S.; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J. A tipology for the classification, description, and valuation of ecosystem functions, goodes and services. *Ecological Economics*, v.41, p.393-408. 2002.

DETTRAN. DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. *Veículos automotores em Volta Redonda*, 2017. Disponível em:<http://www.detran.rj.gov.br/_estatisticas/veiculos/index.asp> Acesso em: março de 2017.

DIAS, J. W. C. *Manual de operação AGVPTS, Energética qualidade do ar*. 2016. Disponível em:<<http://www.energetica.ind.br/produto/agv-pts/>> Acesso em: janeiro de 2017.

DICKEY, J.H. Part VII. Air pollution: overview of sources and health effects. *Disease-a-month-Journals*, Chicago, v.46, n.9, p.566-589, 2000.

DOMINICI, F. et al. Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases. *JAMA*, v.295, p.1127-33, 2006.

- DRUMM, F. C. et al. Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v.18, n.1, p.66-78, 2014.
- DUCHIADE, M. P. Air Pollution and Respiratory Diseases: A Review. *Cadernos de Saúde Pública*, v.8, n.3, p.311-330, Rio de Janeiro, 1992.
- ELLIOTT, P. et al. Long term associations of outdoor air pollution with mortality in Great Britain. *Thorax*, v.62, n.12, p.1088 - 1094, 2007.
- EVERITT, B. S. *Modern medical statistics*. Nova Iorque: Oxford University Press Inc., p.235, 2003.
- EVO, C. P. R. et al. Poluição do ar e internação por insuficiência cardíaca congestiva em idosos no município de Santo André. *Arquivos Brasileiros de Ciências da Saúde*, v.36, n.1, p. 6-9, 2011.
- EFFZATI, M. et al. Mortality and burden of disease attributable to individual risk factors. In: *Comparative Quantification of Health Risks: Global and Regional Burden of Disease Due to Selected Major Risk Factors*. Geneva: World Health Organization, 2004.
- FERREIRA, F. B. *Obtenção de pelotas autorredutoras com poeira de aciaria elétrica para uso em fornos elétricos a arco*. 2016. 126 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.
- FILHO, V. F. N. *Técnicas analíticas e nucleares de fluorescência de raios-X por dispersão de energia (ED-XRF) e por reflexão total (TXRF)*. Departamento de Ciências Exatas/ESALQ, Departamento de Instrumentação Nuclear/CENA, 1999.
- FREEMAN, R. E. et al. *Stakeholder Theory: The State of the Art*. Cambridge University Press, Cambridge, 2010.
- FREEMAN, E. R. *Strategic management- a stakeholder approach*. London: Pitman Publishing, 1984.
- FREITAS, C. U.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. H. N. Vigilância dos efeitos na saúde decorrentes da poluição atmosférica: estudo de factibilidade. *Revista de Saúde Pública*, 2002.
- FREITAS, C. et al. Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997. *Revista de Saúde Pública*, v.38, n.6, p.751-7, 2004.
- FREITAS, C. U. et al. Poluição do ar e impactos na saúde em Vitória, Espírito Santo. *Revista de Saúde Pública*, v.50, n.4, 2016.
- FUJIMAKI, H. et al. Further studies on the effect of nitrogen dioxide on mast cells: the efect of the metabolite, nitrite. *Environmental Research*, v.61, p. 223-231, 1993.
- GAVINIER, S.; NASCIMENTO, C. F. L. Poluentes atmosféricos e internações por acidente vascular encefálico. *Revista Ambiente & Água*, v.9, n.3, p.390-401, 2014.

- GIODA, A. et al. Evaluation of air quality in Volta Redonda, the main metallurgical industrial city in Brazil. *Journal of Brazilian Chemical Society*, v.15, p. 856- 864, 2004.
- GHIO, A. J. et al. Biologic effects of oil fly ash. *Environmental Health Perspectives*, v.110, p.89-94, 2002.
- GODISH, T. *Air quality*. 2. Ed. Chelsea, Lewis, 1991.
- GOMES, J. *Poluição atmosférica, um manual universitário*. Editora: Publindústria, Edições Técnicas, 2^a edição, 2010.
- GOUVEIA, N. et al. Poluição do ar e efeitos na saúde nas populações de duas grandes metrópoles brasileiras. *Revista Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v.12, p. 29-40, 2003.
- GOUVEIA, N. et al. Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil. *Caderno Saúde Pública*, v.22, n.12, p.2669-77, 2006.
- GUJARATI, D. N. *Econometria Básica*. Tradução: Maria José Cyhlar Monteiro. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.
- HALES, S.; HOWDEN-CHAPMAN, P. Effects of air pollution on health. *British Medical Journal*, v.335, n. 7615, p.314 - 315, 2007.
- HEINZL, H.; MITTLBOCK, M.; EDLER, L. On the Translation of Uncertainty from Toxicokinetic to Toxicodynamic Models - The TCDD example. *Chemosphere*, v. 67, 9^a edição, p. 365-374, 2007.
- HLAVAY, J. et al. Distribution of toxic metals in dusts collected at different workshops. *The science of the total environmental*, v.136, p. 93-99, 1993.
- HUEGLIN, C. et al. Chemical characterization of PM2.5, PM10 and coarse particles at urban, 75 near-city and rural sites in Switzerland. *Atmospheric Environment*, v. 39, p. 637–651, 2005.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Potencial de poluição industrial do ar no estado do Rio*, 2010. Disponível em:<<http://censo2010.ibge.gov.br/noticias-enso?busca=1&id=1&idnoticia=1154&t=air-pollution-potential-of-industry-in-the-state-of-rio-janeiro-is&view=noticia>> Acesso em: junho de 2017.
- _____. *Número de habitantes em Volta Redonda*. 2017. Disponível em:<<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=330630>> Acesso em: julho de 2017.
- INEA. INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. *Monitoramento do ar*, 2017a. Disponível em:<<http://200.20.53.3:8081/Portal/MegaDropDown/Monitoramento/Monitoraram entodoar-EmiQualidade/Qualidoar/RelatorioAnualAr/index.htm&lang=>>> Acesso em: março de 2017.

_____. *O que é o INEA*, 2017b. Disponível em:<http://200.20.53.3:8081/Portal/MegaDropDown/Institucional/O_que_e_o_Inea/index.htm&lang> Acesso em: março de 2017.

_____. *Relatório da qualidade do ar do estado do Rio de Janeiro*, 2015. Disponível em:<<http://www.rj.gov.br/web/sea/exibeconteudo?article-id=1497299>> Acesso em: maio de 2017.

IOVINE, P. *Usando o biomonitoramento para avaliar o impacto da poluição atmosférica no entorno de indústrias*. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

JA-LIANG, L. et al. Environmental Lead Exposure and Progression of Chronic Renal Diseases in Patients without Diabetes. *The New England Journal of Medicine*, v.348, n. 4, 2003.

JASINSKI, R.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F. Poluição atmosférica e internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e adolescentes em Cubatão, São Paulo, Brasil, entre 1997 e 2004. *Cadernos de Saúde Pública*, v.27, n.11, p.2242-52, 2011.

JUNGER, W. L. *Análise, imputação de dados e interfaces computacionais em estudos de séries temporais epidemiológicas*. 2008. 178 f. Tese (Doutorado), Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Medicina Social, Rio de Janeiro, 2008.

JÚNIOR, J. S. P. *Legislação Brasileira sobre Poluição do ar*. Câmara dos Deputados, Biblioteca digital da Câmara, 2007.

KANNAN, S. et al. Exposures to airborne particulate matter and adverse perinatal outcomes: a biologically plausible mechanistic framework for exploring potential effect modification by nutrition. *Environmental Health Perspect*, v.114, 11ª edição, p.1636-42, 2006.

KELLY, F. J.; FUSSELL, J. C. Air pollution and airway disease. *Clinical and Experimental Allergy*. v.41, 8ª edição, p.1059-1071, 2011.

KLAASSEN, C. D. *Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons*; 6ª Edition; McGraw-Hill, p.812-837, USA, 2001.

KLOOG, I. et al. Using New Satellite Based Exposure Methods to study the Association Between Pregnancy PM_{2,5} exposure, premature birth and birth weight in Massachusetts. *Environmental Health*, p.11-40, 2012.

KOPP, M. V. et al. Upper airway inflammation in children exposed to ambient ozone and potential signs of adaptation. *European Respiratory Journal*, v.14, n.4, p.854-861, 1999.

KÜNZLI, N.; PEREZ, L.; RAPP, R. Air quality and health, Lausanne. *European Respiratory Society*, v. 66, 2010.

LACERDA, A.; LEROUX, T.; MORATA, T. Efeitos ototóxicos da exposição ao monóxido de carbono: uma revisão. Pró-Fono. *Revista de Atualização Científica*, Barueri (SP), v. 17, n. 3, p. 403-412, 2005.

- LADEN, F. et al. Reduction in fine particulate air pollution and mortality: Extended follow-up of the Harvard Six Cities study. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, v.173, n.6, p.667-72, 2006.
- LEITE, R. C. M. et al. Utilização de regressão logística simples na verificação da qualidade do ar atmosférico de Uberlândia. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.16, n.2, 2011.
- LIMA, C. A. T. et al. Associação entre a exposição materna ao material particulado e parto prematuro. *Revista Ambiente & Água*, v.9, n.1, 2014.
- LIN, C. A. et al. Air pollution and respiratory illness of children in São Paulo, Brazil. *Paediatric Perinatal Epidemiology*, v. 13, n.4, p.475-88, 1999.
- LINKS, J. M. et al. Characterization of Toxicokinetics and Toxicodynamics with Linear Systems Theory: Application to Lead-associated Cognitive Decline. *Environmental Health Perspectives*, v. 109, p.361-368, 2001.
- LOPES, F. S.; RIBEIRO, H. Mapeamento de internações hospitalares por problemas respiratórios e possíveis associações à exposição humana aos produtos da queima da palha de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v.9, n.2, p.215-25, 2006.
- LOPES, F. *Caracterização química do material particulado suspenso na atmosfera empregando a fluorescência de Raio-X dispersiva de energia (EDXF)*. 2003. 106 f. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, 2003.
- LOUREIRO L. N. *Panorâmica Sobre Emissões Atmosféricas Estudo De Caso: Avaliação Do Inventário Emissões Atmosféricas da Região Metropolitana do Rio De Janeiro para fontes móveis*. 2005. 153 f. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2005.
- MAGALHÃES, L. C. et al. Determinação de metais traço no material particulado em suspensão em Ouro Preto, Minas Gerais. *Química Nova*, v. 33, nº 3, p. 519 – 523, 2010.
- MAIOLI, B. G. *Quantificação e Caracterização do Material Particulado Fino (MP2,5) na Região Metropolitana da Grande Vitória-ES*. 2011.118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.
- MANTOVANI, K. C. C. et al. Poluentes do ar e internações devido a doenças cardiovasculares em São José do Rio Preto, Brasil. *Ciência e saúde coletiva*, v. 21, n.2, p. 509-516, 2016.
- MARTINS, L. C. et al. 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, p.220-229, 2001.
- MARTINS, L. C. et al. Poluição atmosférica e atendimentos por pneumonia e gripe em São Paulo, Brasil *Revista Saúde Pública*, v.36, n.1, p.88-94, 2002.
- MATEUS, V. L. et al. Study of the chemical composition of particulate matter from the Rio de Janeiro metropolitan region, Brazil, by inductively coupled plasma-mass spectrometry and optical emission spectrometry. *Spectrochimica Acta*. v. 86, p. 131–136, 2013.

MILANEZ, B. *A ferro e fogo: impactos da siderurgia para o ambiente e a sociedade após a reestruturação dos anos 1990*. In: IV Encontro Nacional da Anppas, Distrito Federal/Brasília, 2008.

MILLER JUNIOR, G. T. *Ciência Ambiental*. 11ª Edição. São Paulo: Editora Cengage Learning, 2008.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Poluição*, 2017. Disponível em:<<http://portalms.saude.gov.br/saude-de-a-z/poluicao>> Acesso em: abril de 2017.

MIRANDA, M. J.; BAPTISTA, T. J. R. A poluição do ar na cidade de goiânia-go e a prática de exercícios físicos. *Educação Física em Revista*, v. 2, n. 3, 2009.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Poluentes atmosféricos*, 2017. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-doar/poluentesatmosf%C3%A9ricos>> Acesso em: março de 2017.

_____. *Conama*, 2017. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/port/conama/>> Acesso em: março de 2017.

_____. *Qualidade do ar*, 2017. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar>> Acesso em: março de 2017.

MOOLGAVKAR, S. H.; LUEBEK, E. G.; ANDERSON, E. L. Air pollution and hospital admissions for respiratory causes in Minneapolis - St. Paul and Birmingham. *Epidemiology*, v.8, p.364-77, 1997.

MORAES, A. C. L. et al. Sibilância em crianças e adolescentes vizinhos a uma indústria petroquímica no Rio Grande do Norte, Brasil. *Jornal de Pediatria*, v.86, n.4, p.337-44, 2010.

MOREIRA, D. M.; TIRABASSI, T. Modelo matemático de dispersão de poluentes na atmosfera: um instrumento técnico para a gestão ambiental. *Ambiente & Sociedade*, v. 7, n. 2, p. 159-171, 2004.

MOREIRA, C. C. *Características e desempenho da escória de alto forno como agregado para utilização em camadas granulares de pavimentos*. In: 7ª Reunião Anual de Pavimentação. 11º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, 37ª RAPv/11º ENACOR, Goiânia/GO, 2006.

MOTA, L. M. M. Perfil das Hospitalizações por Doenças Respiratórias no Sistema Único de Saúde em Porto Alegre. *Boletim da Saúde*, v.23, n.1, 2009.

MOURA, M. et al. Air quality and emergency pediatric care for symptoms of bronchial obstruction categorized by age bracket in Rio de Janeiro, Brazil. *Cadernos de Saúde Pública*, v.25, n.3, p.635-44, 2009.

MOURÃO, M. B (coord.). *Introdução à siderurgia*. São Paulo, ABM, 2007.

- MUKAI, A. O.; NASCIMENTO, L. F. C.; ALVES, K. S. C. Análise espacial das internações por pneumonia na região do Vale do Paraíba (SP). *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v.35, n.8, 2009.
- NARDOCCI, A. C. et al. Poluição do ar e doenças respiratórias e cardiovasculares: estudo de séries temporais em Cubatão, São Paulo, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v.29, n.9, p.1867-76, 2013.
- NASCIMENTO, L. F. C. Poluentes ambientais e internações devido a acidente vasculoencefálico. *Cadernos de Saúde Pública*, v.28, n.7, p.1319-24, 2012.
- NASCIMENTO, L. F. C. et al. Environmental pollutants and stroke-related hospital admissions. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 28, n.7, p. 1319-24, 2012.
- NASCIMENTO, L. F. C.; FRANCISCO, J. B. Material particulado e internação hospitalar por hipertensão arterial em uma cidade brasileira de porte médio. *Cadernos de Saúde Pública*, v.29, n.8, p.1565-71, 2013.
- NASCIMENTO, L. F. C. et al. Efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil em São José dos Campos, SP. *Revista de Saúde Pública*, v.40, n.1, p.77-82, 2006.
- NEGRETE, B. R. et al. Poluição atmosférica e internações por insuficiência cardíaca congestiva em adultos e idosos em Santo André (SP). *Arquivo Brasileiro de Ciências da Saúde*, v.35, n.3, p.208-12, 2010.
- NEGRISOLI. J.; NASCIMENTO. C. F. L. Poluentes atmosféricos e internações por pneumonia em crianças. *Revista Paulista de Pediatria*, v.31, n.4, p.501-6, 2013.
- NEMERY, B.; HOET, P. H.M.; NEMMAR, A. The Meuse Valley fog of 1930: an air pollution disaster. *The lancet*, v. 357, n. 9257, p.704-708, 2001.
- NICOLAI, T. Environmental air pollution and lung disease in children. *Monaldi Archives for Chest Disease*, v.54, n.6, p.475-478, 1999.
- NICOLUSSI, F. H. et al. Poluição do ar e doenças respiratórias alérgicas em escolares. *Revista de Saúde Pública*, v.48, n.2, p.326-30, 2014.
- OBERG, M. et al. Worldwide burden of disease from exposure to second-hand smoke: a retrospective analysis of data from 192 countries. *Lancet*, v. 377, 9760 ed. p.139-46, 2011.
- OLIVEIRA, B. F. A.; IGNOTTI, E.; HACON, S.S. Uma revisão sistemática das características físicas e químicas dos poluentes provenientes da queima de biomassa e combustão de combustíveis fósseis e efeitos da saúde no Brasil. *Caderno de Saúde Pública*, v.27, n.9, p.1678-1698, 2011.
- OLIVEIRA, M. S. de et al. Differential susceptibility according to gender in the association between air pollution and mortality from respiratory diseases. *Caderno de Saúde Pública*, v.27, n.9, p. 1827-1836, 2011.

- OLIVEIRA, M. S. de et al. Hospital admissions of cardiovascular diseases associated to air pollution. *International Journal of Managerial Studies and Research*, India, v.5, n.3, p. 24-33, 2017.
- OLIVEIRA, M. *Caracterização mineralógica e química das fontes de poeira e sua influência na atmosfera na região do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes, SP*. 2014. 162 f. Tese (Doutorado), Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências exatas, 2014.
- ONURSAL, B.; GAUTAM, S. P. Vehicular Air Pollution: Experiences from Seven Latin American. *World Bank Technical Paper*, n.373, 1997.
- ORMENEZI, I. *Análise Estereológica da Aorta em Animais Expostos a Poluição do ar na Cidade de São Paulo*. 2017. 45 f. Monografia, Universidade Federal de Uberlândia, 2017.
- PAIVA, R. F. P. S. *A valoração ambiental a partir da economia ecológica: um estudo de caso para a poluição hídrica e atmosférica na cidade de Volta Redonda, RJ*. 2010. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia, 2010.
- PAIVA, R. F. P. S. Hospital morbidity due to diseases associated with air pollution in the city of Volta Redonda, Rio de Janeiro: cases and economic cost. *Revista de Saúde Coletiva*, v.22, p. 127-32, 2014.
- PAPINI, C. J.; NETO, R. M. L. *Análise granulométrica de pós metálicos por difração de laser via seca*. In: 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2006.
- PASSOS, P. N. A conferência de Estocolmo como ponto de partida para a proteção internacional do meio ambiente. *Revista direitos fundamentais e democracia*, v. 6, UniBrasil - Faculdades Integradas do Brasil, 2009.
- PEARCE, W. *Economic Values and the Natural World*. London: Earth Scan Publications, 1993.
- PEITER, P; TOBAR, C. Poluição do ar e condições de vida: uma análise geográfica de riscos à saúde em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v.14, n.3, p.473-485, 1998.
- PENNA, M. L.; DUCHIADE, M. P. Air pollution and infant mortality from pneumonia in the Rio de Janeiro metropolitan area. *Bulletin of the Pan American Health Organization*, v.25, n.1, p.47-54, 1991.
- PENNEY, D. G. *Chronic carbon monoxide poisoning*. In: PENNEY, D. G. Carbon monoxide toxicity. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2000.
- PEREIRA, P. A. P. et al. Atmospheric concentrations and dry deposition fluxes of particulate trace metals in Salvador, Bahia, Brazil. *Atmospheric Environment*, v. 41, n. 36, p.7837-7850, Salvador-BH, 2007.
- PINHEIRO, S. L. L. A. et al. Efeitos isolados e sinérgicos do MP₁₀ e da temperatura média na mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias. *Revista de Saúde Pública*, v.48, n.6, p.881-8, 2014.

PINHEIRO, P. C.; QUEIROZ, B. L. *Análise espacial da mortalidade e das internações hospitalares por acidentes de motocicleta no Brasil.* 2016. 97 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Cedeplar, 2016.

POPE, C. A; EZZATI, M.; DOCKERY, D. W. Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States. *The New England Journal of Medicine*, v.360, p.376-386, 2009.

POTT, C. M.; ESTRELA, C. C. Dilemas ambientais e fronteiras do conhecimento II: histórico ambiental, desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. *Estudos avançados*, v.31, n.89, 2017.

PMVR. PREFEITURA MUNICIPAL DE VOLTA REDONDA. *Localização do município*, 2017a. Disponível em:<<http://www.portalvr.com/>> Acesso em: maio de 2017.

RADICCHI, A. L. A. A poluição na bacia aérea da região metropolitana de Belo Horizonte e sua repercussão na saúde da população. *Revista Brasileira de Estudos de População*, v.29, n.1, 2012.

RAMIREZ, A. Toxicología del Cádmio. Conceptos Actuales para Evaluar Exposición Ambiental u Ocupacional con Indicadores Biológicos. *Analés de La Facultad de Medicina Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, v. 63, p.51- 64, Peru, 2002.

REIS, M. M. *Poluição atmosférica e efeitos adversos na gravidez em um município industrializado no estado do Rio de Janeiro.* 2009. Tese (Doutorado) - Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo São Paulo, 2009.

REIS, M. M. *Avaliação de risco de benzeno em Volta Redonda: as incertezas na avaliação da exposição.* 2004. 74 f. Dissertação (Mestrado apresentada à Escola Nacional de Saúde Pública), 2004.

RIBEIRO, H.; PESQUERO, C. Queimadas de cana-de-açúcar: avaliação de efeitos na qualidade do ar e na saúde respiratória de crianças. *Estudos avançados*, v.24, n.68, 2010.

RITZ, B.; WILHELM, M. Ambient air pollution and adverse birth outcomes: methodologic issues in an emerging field. *Basic Clinical Pharmacology Toxicology*, v.102, p.182-90, 2008.

ROCHA, M. A. G. *Associação espacial entre mortalidade infantil e precipitação pluviométrica no Estado de Pernambuco.* 2012. 87 f. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, 2012.

ROMÃO, R. et al. Relação entre baixo peso ao nascer e exposição ao material particulado inalável. *Cadernos de Saúde Pública*, v.29, n.6, p.1101-8, 2013.

SAAR, A. F. *Qualidade do ar no município de Volta Redonda.* 2004. Monografia (Pós-graduação em Gestão Estratégica e Qualidade) – Universidade Cândido Mendes, Rio de Janeiro, 2004.

SADAO, M. Intoxicação por chumbo. *Revista de Oxidologia*, p.37-41, 2002.

SALDIVA, P. H. et al. Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in São Paulo, Brazil: a preliminary report. *Environmental Research*, v.65, n.2, p.218-25, 1994.

SALDIVA, P. H. et al. Air pollution and mortality in elderly people: a time series study in São Paulo, Brazil. *Archives of Environmental Health*, v.50, p.159-163, 1995.

SALVADOR, V. L. R. Apostila: *Introdução à Técnica de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X*, 2012.

SALVI, S.S.; BARNES, P. J. Chronic obstructive pulmonary disease in non-smokers. *Lancet*, v. 374, n.9691, p.733-43, 2009.

SALVI, S. Health effects of ambient air pollution in children. *Pediatric Respiratory Reviews*. v.8, 4^aedição, p.275-280, 2007.

SAMET, J.M. et al. Fine particulate air pollution and mortality in 20 US cities, 1987 - 1994. *New England Journal Medicine*, v.343, n.24, p.1742 - 1749, 2000.

SANTANA, E. et al. *Padrões de qualidade do ar Experiência comparada Brasil, EUA e União Europeia*. Instituto de Energia e Meio Ambiente – IEMA, São Paulo, 2012.

SANTOS, U. P. et al. Cardiac arrhythmia emergency room visits and environmental air pollution in São Paulo, Brazil. *Journal of Epidemiology and Community Health*, v.62, p.267-272, 2008.

SANTOS, E. L. *Avaliação do ‘conceito bolha’ como critério de compensação ambiental em atividades poluidoras de ar atmosférico – estudos de caso no estado de São Paulo*. 2004. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos/UFSCar, 2004.

SANTOS, V. P. et al. O papel dos poluentes atmosféricos sobre o peso ao nascer em cidade de médio porte Paulista. *Revista Paulista de Pediatria*, v.32, n.4, p.306-12, 2014.

SANTOS, U. P. Poluição, aquecimento global e repercuções na saúde. *Revista da Associação Médica Brasileira*, v.53, n.3 São Paulo, 2007.

SCHELSINGER, R. B. et al. Pulmonary arachidonic acid metabolism following acute exposure to ozone and nitrogen dioxide. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, v.31, p.275-290, 1990.

SCHRENK, H. H. et al. Air Pollution in Donora, PA: Epidemiology of the Unusual Smog Episode of October 1948, Preliminary Report. *Public Health Bulletin*, n.306, Washington, U.S., 1949.

SCHWARTZ, J. Air pollution and children's health. *Pediatrics*, v.113, p.1037-1043, 2004.

SCHWARTZ, J. Air pollution and hospital admissions for the elderly in Detroit, Michigan. *American Journal Respiratory and Critical Care Medicine*, v.150, p. 648-55, 1994.

- SCHWARTZ, J. Air pollution and hospital admissions for respiratory disease. *Epidemiology*, v.7, p.20-8, 1995.
- SHAH, P. S.; BALKHAIR, T. Air pollution and birth outcomes: A systematic review. *Environmental International*, v.37, 2^aedição, p. 498-516, 2011.
- SHARMA, G.; GOODWIN, J. Effect of aging on respiratory system physiology and immunology. *Clinical Interventions in Aging*, v.1, 3^a edição, p.253-260, 2006.
- SCHUSTERMAN, D. The effects of air pollutants and irritants on the upper airway. *Proceedings of the American Thoracic Society*, v.8, 1^a edição, p.101-105, 2011.
- SILVA, C. M. A. et al. Material particulado originário de queimadas e doenças respiratórias. *Revista de Saúde Pública*, v.47, n.2, p.345-52, 2013.
- SIMAS, H. S. *Aspectos metodológicos em análises de séries temporais epidemiológicas do efeito da poluição atmosférica na saúde pública: uma revisão bibliográfica e um estudo comparativo via simulação*. 2003. 107 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Coletiva) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2003.
- SOUSA, S. I. et al. Short-term effects of air pollution on respiratory morbidity at Rio de Janeiro. *Environmental International*, v.43, p.1-5, 2012.
- SOUZA, M. B. et al. Respiratory Changes due to long-term exposure to urban levels of air pollution: A histopathologic study in humans. *Chest*, v.113, p.1312-1318, 1998.
- SRÁM, R. J. et al. Ambient air pollution and pregnancy outcomes: a review of the literature. *Environmental Health Perspectives*, v.113, p.375-82, 2005.
- SUKHDEV, P. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity*. Interim Report of the Convention on Biological Diversity. European Communities, Cambridge, United Kingdom, 2008.
- TADANO, S. Y. *Análise do impacto de MP₁₀ na saúde populacional: estudo de caso em Araucária, PR*. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2007.
- TEIXEIRA, W. et al. *Decifrando a Terra*. Editora: IBEP Nacional, 2^a edição, 2009.
- TONIOL, R.; STEIL, C. A. Além dos humanos: reflexões sobre o processo de incorporação dos direitos ambientais como direitos humanos nas conferências das Nações Unidas. *Horizontes Antropológicos*, v.19 n.40, 2013.
- TORRES, F. T. P.; MARTINS, A. Fatores que influenciam na concentração do material particulado inalável na cidade de Juiz de Fora (MG). *Caminhos de geografia*, v.4, n.16, p.23-39, 2005.
- TUNDO, P.; ZECCHINI, F. *Mudanças climáticas globais*. In: Consórcio Inter-Universitário Nacional “A Química para o Ambiente”, 2007.

U. S. EPA. United States Environmental Protection Agency. *Material Particulado*, 2017. Disponível em:<<https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>> Acesso em: dezembro de 2017.

VASCONCELLOS, P. C. et al. Water-Soluble Ions and Trace Metals in Airborne Particles Over Urban Areas of the State of São Paulo, Brazil: Influences of Local Sources and Long Range Transport. *Journal Water Air Soil Pollut*, v. 186, p. 63–73, 2007.

WANG, Y.Y. et al. The Effects of Lead Exposure on Placental NF- κ B Expression and the Consequences for Gestation. *Reproductive Toxicology*, v.27, p.190-195, 2009.

WELLENIUS, G.A. et al. Particulate air pollution and the rate of hospitalization for congestive heart failure among medicare beneficiaries in Pittsburg, Pennsylvania. *American Journal Epidemiology*, v.161, n.11, p.1030-6, 2005.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Mortality and burden of disease attributable to selected major risks*. Global health risks, Geneva, 2009.

_____. *Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*. Air quality guidelines. Global update, Copenhagen, 2005.

_____. *Ambient (outdoor) air quality and health*, 2016. Disponível em:<<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>> Acesso em: maio de 2017.

_____. *The World Health Report*, 1999. Disponível em:<http://www.who.int/whr/1999/en/whr99_en.pdf> Acesso em: maio de 2017.

_____. *Principais causas de óbitos no mundo*, 2015. Disponível em:<<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/>> Acesso em: maio de 2017.

YANAGI, Y.; ASSUNÇÃO, J.V.; BARROZO, L.V. The impact of atmospheric particulate matter on cancer incidence and mortality in the city of São Paulo, Brazil. *Caderno de Saúde Pública*, v.28, n.9, p.1737-48, 2012.

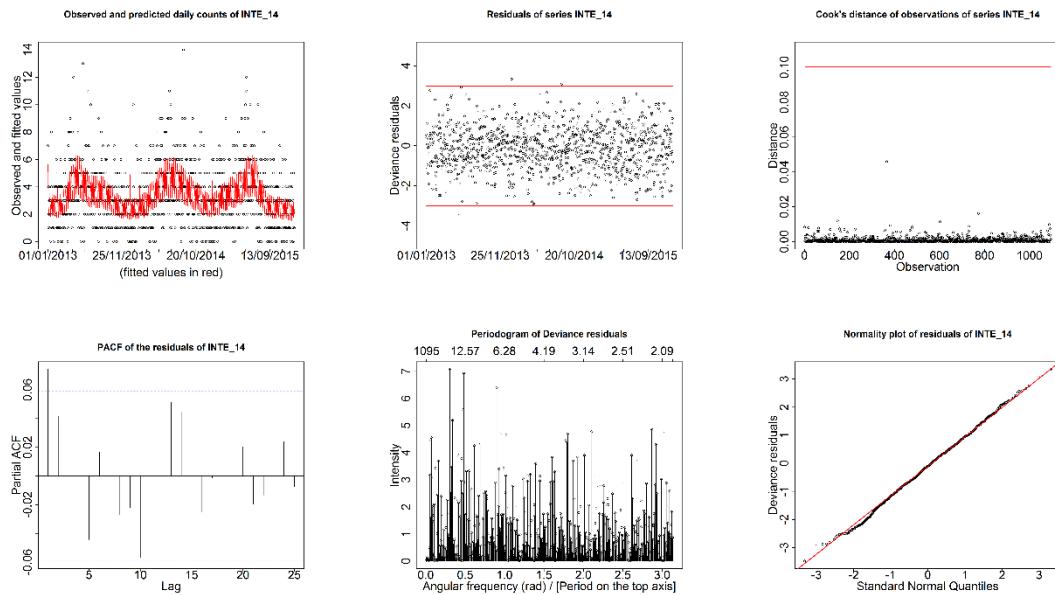
ZANOBETTI, A. et al. Ambient pollution and blood pressure in cardiac rehabilitation patients. *Circulation*, v.12, p. 2184-9, 2004.

ZHANG, K. et al. Characteristics of atmospheric particles and heavy metals in winter in Chang-Zhu-Tan city clusters, China. *Journal of Environmental Sciences*. v. 26, p. 147–153, 2014.

ZHANG, Q. et al. Transboundary helth impacts of transported global air pollution anda international trade. *Nature Research*, v. 543, 2017.

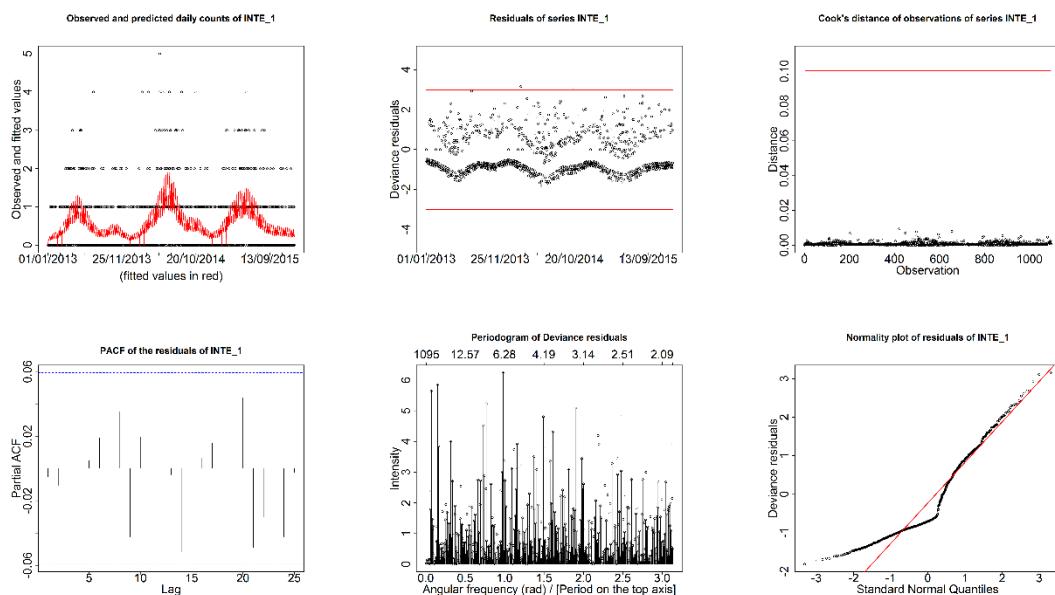
ANEXO 1

Valores previstos, resíduos contra o tempo, distância de Cook, função de correlação parcial, periodograma dos resíduos e de quantis dos resíduos contra quantis da distribuição normal para internações por doenças respiratórias totais



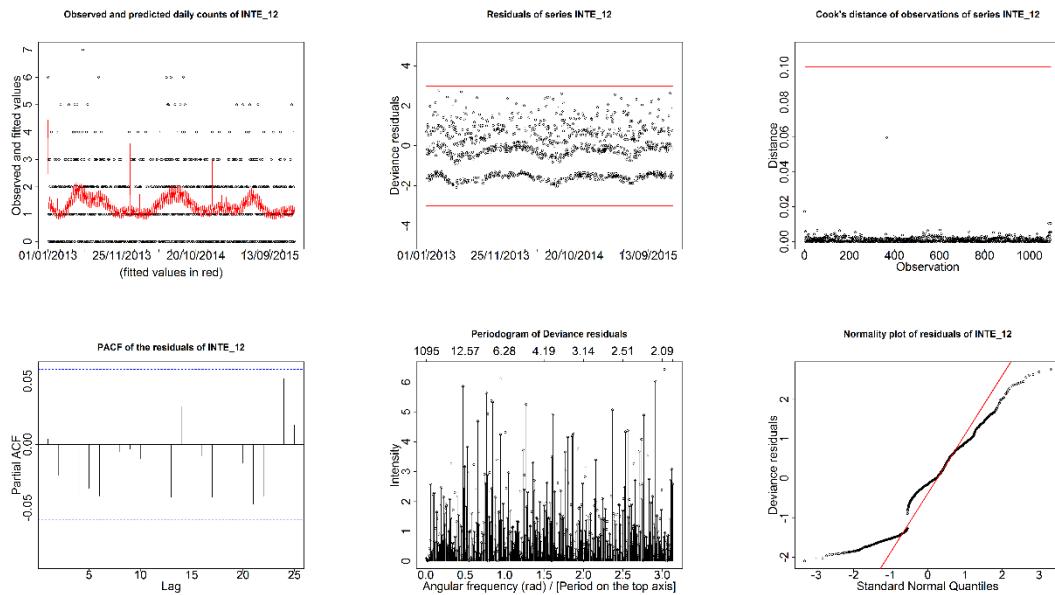
ANEXO 2

Valores previstos, resíduos contra o tempo, distância de Cook, função de correlação parcial, periodograma dos resíduos e de quantis dos resíduos contra quantis da distribuição normal para internações por doenças respiratórias em crianças menores que cinco anos



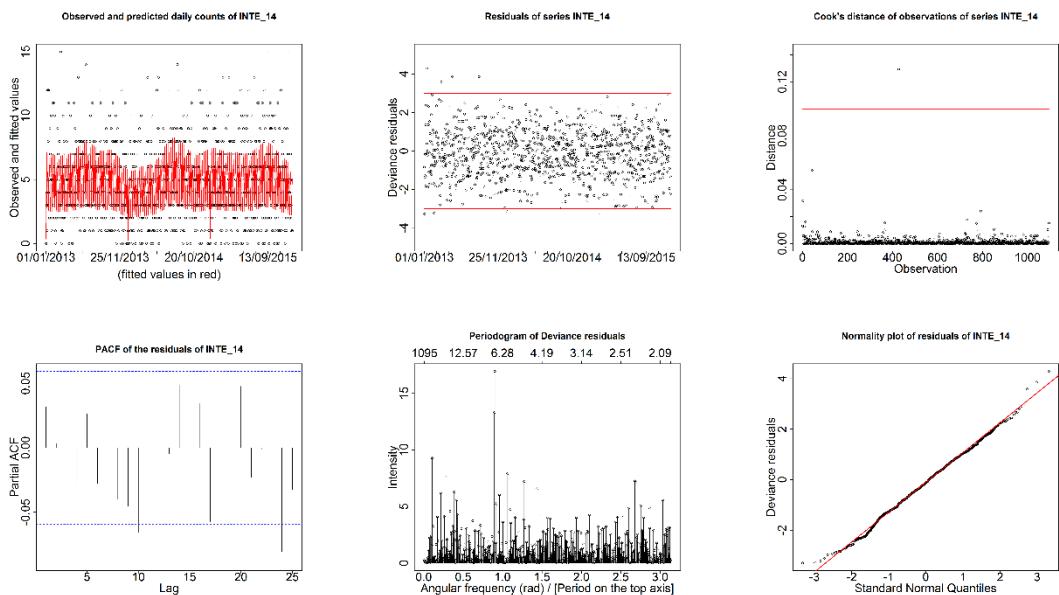
ANEXO 3

Valores previstos, resíduos contra o tempo, distância de Cook, função de correlação parcial, periodograma dos resíduos e de quantis dos resíduos contra quantis da distribuição normal para internações por doenças respiratórias em idosos



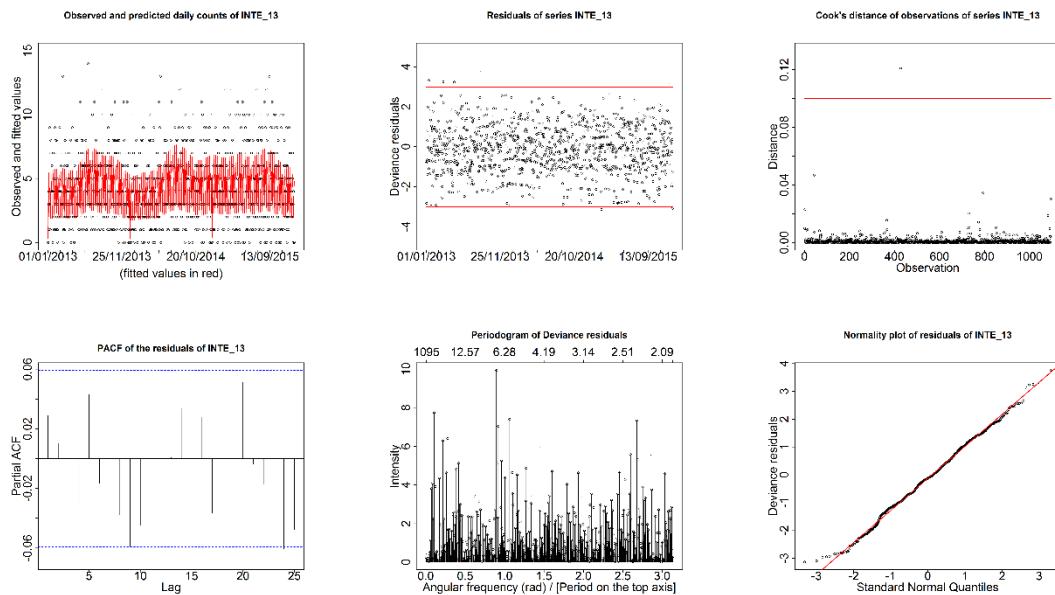
ANEXO 4

Valores previstos, resíduos contra o tempo, distância de Cook, função de correlação parcial, periodograma dos resíduos e de quantis dos resíduos contra quantis da distribuição normal para internações por doenças circulatórias totais



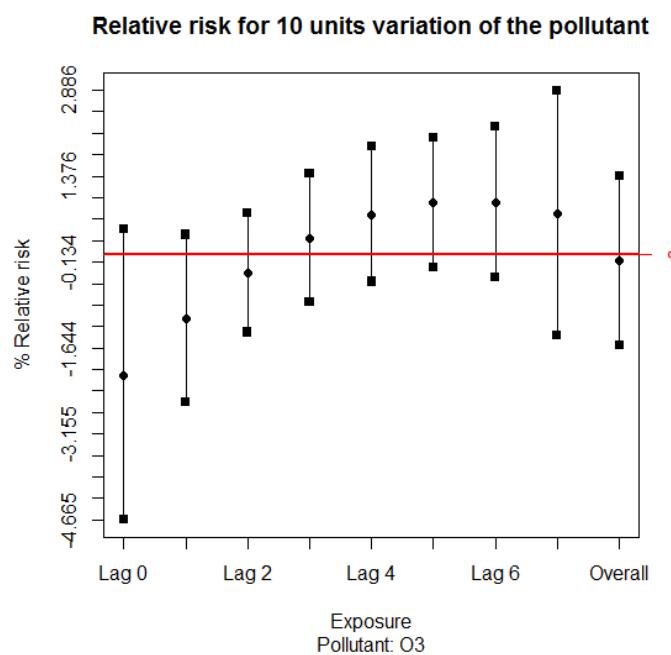
ANEXO 5

Valores previstos, resíduos contra o tempo, distância de Cook, função de correlação parcial, periodograma dos resíduos e de quantis dos resíduos contra quantis da distribuição normal para internações por doenças circulatórias em pessoas com 40 anos ou mais



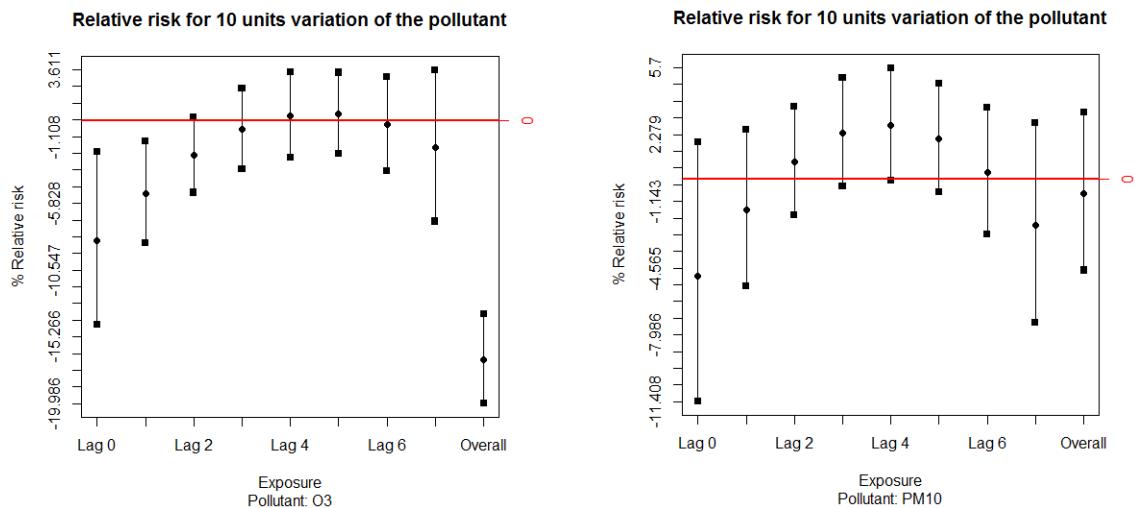
ANEXO 6

Risco relativo percentual para incrementos de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de O₃ para internações hospitalares, por doenças respiratórias totais, em Volta Redonda, no período de 2013 a 2015



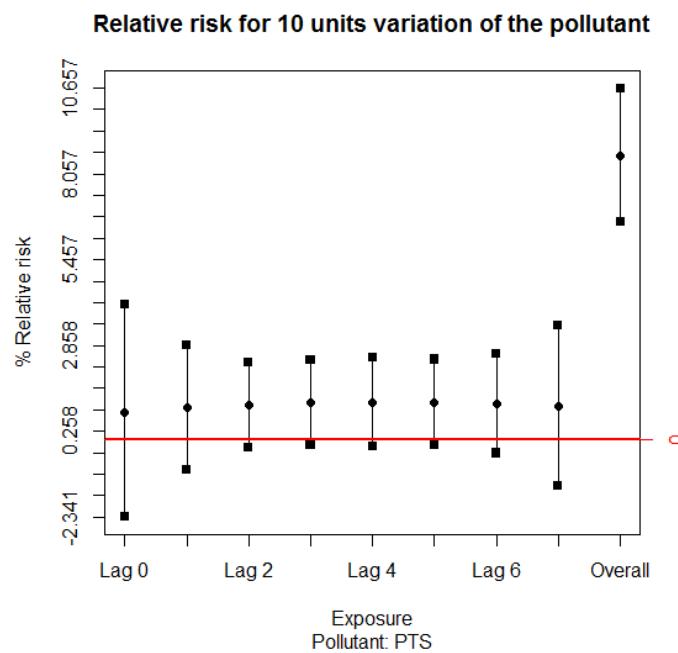
ANEXO 7

Risco relativo percentual para incrementos de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de O₃ e MP₁₀ para internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças menores que cinco anos, em Volta Redonda, no período de 2013 a 2015



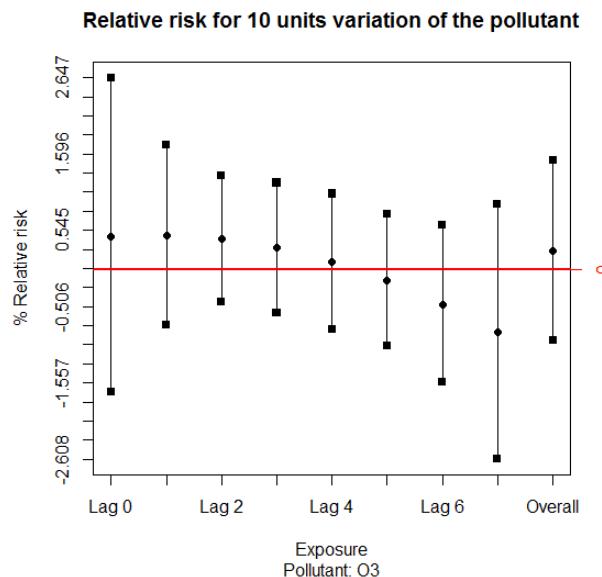
ANEXO 8

Risco relativo percentual para incrementos de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PTS para internações por doenças respiratórias em idosos, em Volta Redonda, no período de 2013 a 2015



ANEXO 9

Risco relativo percentual para incrementos de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de O₃ para internações por doenças circulatórias totais, em Volta Redonda, no período de 2013 a 2015



ANEXO 10

Risco relativo percentual para incrementos de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de O₃ para internações por doenças circulatórias em pessoas com 40 anos ou mais, em Volta Redonda, no período de 2013 a 2015

