

Ministério da Saúde

FIOCRUZ

Fundação Oswaldo Cruz



***“Associação entre poluição do ar e morbimortalidade por doenças
cardiorespiratórias no Município de Volta Redonda, RJ, Brasil”***

por

Marcio Sacramento de Oliveira

*Tese apresentada com vistas à obtenção do título de Doutor em Ciências
na área de Saúde Pública e Meio Ambiente.*

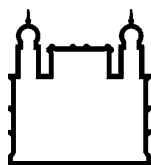
Orientador principal: Prof. Dr. Sergio Koifman
Segunda orientadora: Prof.^a Dr.^a Inês Echenique Mattos

Rio de Janeiro, agosto de 2011.

Catálogo na fonte
Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica
Biblioteca de Saúde Pública

- O48 Oliveira, Marcio Sacramento de
Associação entre poluição do ar e morbimortalidade por
doenças cardiorespiratórias no Município de Volta Redonda, RJ,
Brasil. / Marcio Sacramento de Oliveira. -- 2011.
xxv, 107 f. : tab. ; graf.
- Orientador: Koifman, Sergio
Mattos, Inês Echenique
Tese (Doutorado) – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio
Arouca, Rio de Janeiro, 2011.
1. Poluição do Ar. 2. Doenças Respiratórias. 3. Doenças
Cardiovasculares. 4. Saúde Ambiental. 5. Epidemiologia. 6. Meio
Ambiente. 7. Distribuição Espacial da População. 8. Distribuição
Temporal. I. Título.

CDD – 22.ed. – 363.7392098153



Ministério da Saúde

FIOCRUZ

Fundação Oswaldo Cruz



Esta tese, intitulada

***“Associação entre poluição do ar e mortalidade por doenças
cardiorespiratórias no Município de Volta Redonda, RJ, Brasil”***

apresentada por

Marcio Sacramento de Oliveira

foi avaliada pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.^a Dr.^a Claudia Medina Coeli

Prof. Dr. Ronir Raggio Luiz

Prof. Dr. Reinaldo Souza dos Santos

Prof. Dr. Hermano Albuquerque de Castro

Prof. Dr. Sergio Koifman – Orientador principal

Tese defendida e aprovada em 02 de agosto de 2011.

Aos meus pais, Lourdes e Orlando.

AGRADECIMENTOS

A Sérgio Koifman e Inês Mattos por serem meus orientadores neste projeto.

A Maria Isabel de Carvalho e ao INEA pela disponibilização dos dados ambientais.

Aos professores Antônio Ponce De Leon e Washington Reis do IMS/UERJ pelo apoio e auxílio no difícil caminho da bioestatística.

Ao professor Christovam Barcellos e sua equipe do ICICT/FIOCRUZ pelo apoio no desenvolvimento da tese e pela ajuda na análise espacial.

A minha família e amigos por compreender minha ausência.

Aos meus companheiros de trabalho pela compreensão e apoio.

A todos que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos da poluição do ar sobre as doenças respiratórias e cardiovasculares da população residente no município de Volta Redonda, entre janeiro de 2002 a dezembro de 2006. Foram adotados dois delineamentos epidemiológicos, um estudo de séries temporais e outro de geoprocessamento, utilizando dados diários de óbitos e internações por doenças respiratórias e cardiovasculares (CID-10, J00-J99 e I00-I99) para o total da população, para crianças e idosos. Os óbitos respiratórios também sofreram estratificação por sexo. Os níveis diários de PM_{10} , SO_2 e O_3 , temperatura mínima e umidade relativa do ar também foram analisados. Foram montados Modelos Aditivos Generalizados de regressão de Poisson para análise das séries temporais. Na análise espacial dos óbitos foi empregada a estimativa de Kernel para interpolação dos desfechos. Os resultados demonstraram associação positiva entre os poluentes e a maioria dos desfechos, sobretudo com relação ao PM_{10} . O SO_2 apresentou os maiores percentuais de risco, enquanto que o O_3 somente mostrou-se significativamente associado ao aumento dos óbitos por doenças respiratórias em homens idosos. O território de maior ocorrência de óbitos está localizado ao Sul da Companhia Siderúrgica Nacional. O estudo mostrou padrões distintos quanto à tendência, magnitude de efeito e tempo de defasagem à exposição segundo sexo. Esses resultados reforçam a necessidade de estudos adicionais, centrando-se na modificação de efeito da poluição atmosférica sobre a saúde humana, considerando-se o sexo como fator de susceptibilidade, sobretudo em idosos. A distribuição e análise espacial mostraram que devem compor os modelos para a avaliação de associação, considerando a estratificação por faixa etária e por sexo.

Palavras-chave: Poluição do ar, Doenças respiratórias e cardiovasculares, Epidemiologia ambiental, Séries temporais

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effects of air pollution on respiratory and cardiovascular diseases of the inhabitants of Volta Redonda City, from January 2002 to December 2006. Two epidemiological designs were adopted, a study of time series and other geoprocessing using daily data on deaths and hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases (ICD-10 J00-J99 and I00-I99) for the total population, to children and the elderly. Deaths have also suffered respiratory stratification by sex. Daily levels of PM₁₀, SO₂ and O₃, minimum temperature and relative humidity were also analyzed. Generalized Additive Models (GAM) was fitted to Poisson regression analysis of time series. Spatial analysis of deaths was used to estimate the kernel for the interpolation of outcomes. The results showed a positive association between pollutants and most outcomes, particularly with respect to PM₁₀. SO₂ had the highest percentage of risk, while the O₃ alone was significantly associated with increased deaths from respiratory diseases in elderly men. The area of highest mortality is located south of the CSN. The present study showed distinct patterns on the trend, magnitude of effect and time lag exposure by gender. These results reinforce the need for additional studies, focusing on effect modification of air pollution on human health, considering the gender as susceptibility factor, especially in the elderly. The distribution and spatial analysis showed that the models should make up for the evaluation of association, considering the stratification by age and gender.

Keywords: Air pollution, Respiratory and cardiovascular diseases, Environmental epidemiology, Time series

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição diária de óbitos por doenças do sistema respiratório e curva de suavização em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	26
Figura 2: Distribuição diária de óbitos de idosos por doenças do sistema respiratório e curva de suavização em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	26
Figura 3: Distribuição diária do total de óbitos e dos óbitos de idosos por doenças do sistema respiratório e curva de suavização, estratificada por sexo, em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	27
Figura 4: Distribuição diária de internações por doenças do sistema respiratório e curva de suavização em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	30
Figura 5: Distribuição diária de internações de idosos por doenças do sistema respiratório e curva de suavização em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	30
Figura 6: Distribuição diária de internações de crianças por doenças do sistema respiratórias e curva de suavização em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	31
Figura 7: Distribuição diária de internações por doenças do sistema cardiovascular e curva de suavização em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	32
Figura 8: Distribuição diária de internações de idosos por doenças do sistema cardiovascular e curva de suavização em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	32
Figura 9: Distribuição temporal diária e curva de suavização de PM ₁₀ em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	34
Figura 10: Distribuição temporal diária e curva de suavização de SO ₂ em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	34
Figura 11: Distribuição temporal diária e curva de suavização de O ₃ em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	35
Figura 12: Percentual do risco relativo para o total de óbitos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de 10µg/m ³ nos níveis de material particulado (PM ₁₀), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	38

Figura 13: Percentual do risco relativo para o total de óbitos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	38
Figura 14: Percentual do risco relativo para o total de óbitos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	39
Figura 15: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e total de óbitos por doenças do sistema respiratório - 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.	39
Figura 16: Percentual do risco relativo para o total de óbitos em homens por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	40
Figura 17: Percentual do risco relativo para o total de óbitos em homens por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	40
Figura 18: Percentual do risco relativo para o total de óbitos em homens por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	41
Figura 19: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de óbitos em homens por doenças do sistema respiratório – 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.	41
Figura 20: Percentual do risco relativo para o total de óbitos em mulheres por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	42

Figura 21: Percentual do risco relativo para o total de óbitos em mulheres por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre particulado (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	42
Figura 22: Percentual do risco relativo para o total de óbitos em mulheres por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	43
Figura 23: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de óbitos em mulheres por doenças do sistema respiratório – 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.	43
Figura 24: Percentual do risco relativo para o total de óbitos de idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	45
Figura 25: Percentual do risco relativo para o total de óbitos de idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	45
Figura 26: Percentual do risco relativo para o total de óbitos de idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	46
Figura 27: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de óbitos de idosos por doenças do sistema respiratório - 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.	46

Figura 28: Percentual do risco relativo para o total de óbitos de homens idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	47
Figura 29: Percentual do risco relativo para o total de óbitos de homens idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	47
Figura 30: Percentual do risco relativo para o total de óbitos de homens idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	48
Figura 31: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de óbitos de homens idosos por doenças do sistema respiratório - 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.	48
Figura 32: Percentual do risco relativo para o total de óbitos de mulheres idosas por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	49
Figura 33: Percentual do risco relativo para o total de óbitos de mulheres idosas por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	49
Figura 34: Percentual do risco relativo para o total de óbitos de mulheres idosas por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	50

Figura 35: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de óbitos de mulheres idosas por doenças do sistema respiratório - 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.	50
Figura 36: Percentual do risco relativo para o total de óbitos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	52
Figura 37: Percentual do risco relativo para o total de óbitos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre particulado (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	52
Figura 38: Percentual do risco relativo para o total de óbitos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	53
Figura 39: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de óbitos por doenças do sistema cardiovascular - 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.	53
Figura 40: Percentual do risco relativo para os óbitos de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	54
Figura 41: Percentual do risco relativo para os óbitos de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	54
Figura 42: Percentual do risco relativo para os óbitos de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	55

Figura 43: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de óbitos de idosos por doenças do sistema cardiovascular - 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.	55
Figura 44: Percentual do risco relativo para o total das internações por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	57
Figura 45: Percentual do risco relativo para o total das internações por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	57
Figura 46: Percentual do risco relativo para o total das internações por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	58
Figura 47: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de internações por doenças do sistema respiratório - 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.	58
Figura 48: Percentual do risco relativo para as internações de idosos por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	59
Figura 49: Percentual do risco relativo para as internações de idosos por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	59
Figura 50: Percentual do risco relativo para as internações de idosos por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	60

Figura 51: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de internações de idosos por doenças do sistema respiratório - 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.	60
Figura 52: Percentual do risco relativo para as internações de crianças por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	61
Figura 53: Percentual do risco relativo para as internações de crianças por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	61
Figura 54: Percentual do risco relativo para as internações de crianças por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	62
Figura 55: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de internações de crianças por doenças do sistema respiratório - 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.	62
Figura 56: Percentual do risco relativo para o total de internações por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	64
Figura 57: Percentual do risco relativo para o total de internações por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	64
Figura 58: Percentual do risco relativo para o total de internações por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	65

Figura 59: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de internações por doenças do sistema cardiovascular - 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.	65
Figura 60: Percentual do risco relativo para as internações de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	66
Figura 61: Percentual do risco relativo para as internações de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	66
Figura 62: Percentual do risco relativo para as internações de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	67
Figura 63: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de internações de idosos por doenças do sistema cardiovascular - 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.	67
Figura 64: Distribuição espacial das taxas de mortalidade por doenças respiratórias, Volta Redonda, RJ, período de 2002 a 2006.	68
Figura 65: Distribuição espacial das taxas de mortalidade por doenças respiratórias, obtidas por método bayesiano empírico local, em Volta Redonda, RJ, para o período de 2002 a 2006.	69
Figura 66: Superfície de densidade, segundo mapa de Kernel, das taxas de mortalidade por doenças do sistema respiratório, Volta Redonda, RJ, período de 2002 a 2006.	70

Figura 67: Distribuição espacial das taxas de mortalidade por doenças cardiovasculares, Volta Redonda, RJ, período de 2002 a 2006.	71
Figura 68: Distribuição espacial das taxas de mortalidade por doenças cardiovasculares, obtidas por método bayesiano empírico local, em Volta Redonda, RJ, para o período de 2002 a 2006.	72
Figura 69: Superfície de densidade, segundo mapa de Kernel, das taxas de mortalidade por doenças do sistema cardiovascular, Volta Redonda, RJ, período de 2002 a 2006.	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Padrões de Qualidade do Ar vigentes no Brasil, nos Estados Unidos da América e propostos pela Organização Mundial da Saúde.	07
Quadro 2: Correlação de Pearson para lag zero entre os desfechos de saúde e as variáveis ambientais, Volta Redonda, RJ, 2002 a 2006.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Número de óbitos por todas as causas e por doenças do sistema respiratório e cardiovascular, por ano, de residentes do município de Volta Redonda, RJ, no período de 2002 a 2006.	24
Tabela 2: Análise descritiva da contagem diária dos óbitos por doenças do sistema respiratório (CID10: J00-99) e cardiovascular (CID10: I00-99) em Volta Redonda, RJ, Brasil, 2002 a 2006.	25
Tabela 3: Número total de internações e por doenças do sistema respiratório e cardiovascular, por ano, de residentes do município de Volta Redonda, RJ, no período de 2002 a 2006.	28
Tabela 4: Análise descritiva da contagem diária das internações por doenças do sistema respiratório (CID10: J00-99) e cardiovascular (CID10: I00-99) em Volta Redonda, RJ, Brasil, 2002 a 2006.	29
Tabela 5: Análise descritiva das aferições diárias de PM ₁₀ , SO ₂ , O ₃ e dos fatores climáticos em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, no período de 2002 a 2006.	33
Tabela 6: Aumento percentual do total dos óbitos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de 10µg/m ³ nos níveis de material particulado (PM ₁₀), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	93
Tabela 7: Aumento percentual do total dos óbitos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de 10µg/m ³ nos níveis de dióxido de enxofre (SO ₂), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	93
Tabela 8: Aumento percentual do total dos óbitos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de 10µg/m ³ nos níveis de ozônio (O ₃), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	93
Tabela 9: Aumento percentual do total dos óbitos de homens por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de 10µg/m ³ nos níveis de material particulado (PM ₁₀), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	94
Tabela 10: Aumento percentual do total dos óbitos de homens por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de 10µg/m ³ nos níveis de dióxido de enxofre (SO ₂), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	94

Tabela 11: Aumento percentual do total dos óbitos de homens por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006. .	95
Tabela 12: Aumento percentual do total dos óbitos de mulheres por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	95
Tabela 13: Aumento percentual do total dos óbitos de mulheres por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	96
Tabela 14: Aumento percentual do total dos óbitos de mulheres por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006. .	96
Tabela 15: Aumento percentual do total dos óbitos de idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	97
Tabela 16: Aumento percentual do total dos óbitos de idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	97
Tabela 17: Aumento percentual do total dos óbitos de idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006. .	97
Tabela 18: Aumento percentual do total dos óbitos de homens idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	98
Tabela 19: Aumento percentual do total dos óbitos de homens idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	98

Tabela 20: Aumento percentual do total dos óbitos de homens idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	99
Tabela 21: Aumento percentual do total dos óbitos de mulheres idosas por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de Material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	99
Tabela 22: Aumento percentual do total dos óbitos de mulheres idosas por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	100
Tabela 23: Aumento percentual do total dos óbitos de mulheres idosas por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	100
Tabela 24: Aumento percentual do total dos óbitos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	100
Tabela 25: Aumento percentual do total dos óbitos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre particulado (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	101
Tabela 26: Aumento percentual do total dos óbitos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	101
Tabela 27: Aumento percentual dos óbitos de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	101
Tabela 28: Aumento percentual dos óbitos de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre particulado (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	102

Tabela 29: Aumento percentual dos óbitos de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006. .	102
Tabela 30: Aumento percentual do total das internações por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	102
Tabela 31: Aumento percentual do total das internações por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	103
Tabela 32: Aumento percentual do total das internações por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	103
Tabela 33: Aumento percentual das internações de idosos por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	103
Tabela 34: Aumento percentual das internações de idosos por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	104
Tabela 35: Aumento percentual das internações de idosos por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	104
Tabela 36: Aumento percentual das internações de crianças por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	104
Tabela 37: Aumento percentual das internações de crianças por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre particulado (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	105

Tabela 38: Aumento percentual das internações de crianças por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006. .	105
Tabela 39: Aumento percentual do total de internações por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	105
Tabela 40: Aumento percentual do total de internações por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre particulado (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	106
Tabela 41: Aumento percentual do total de internações por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006. .	106
Tabela 42: Aumento percentual de internações de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	106
Tabela 43: Aumento percentual de internações de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre particulado (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.	107
Tabela 44: Aumento percentual de internações de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006. .	107

LISTA DE ABREVIATURAS

AIH - Autorizações de Internação Hospitalar

APHEA - *Air Pollution on Health: an European Approach*

CGVAM - Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental

CID 10 - Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados
com a Saúde – Décima Edição

CSN – Companhia Siderúrgica Nacional

CO – Monóxido de Carbono

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

EPA - Environmental Protection Agency

FEV1 - Forced Expiratory Volume in 1st second

FIRJAN - Federação das Industriais do Rio de Janeiro

FVC - Forced Vital Capacity

GIS - Geographic Information Systems

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INEA – Instituto Estadual de Ambiente

IRA - Infecções Respiratórias Agudas

MAA – Média Aritmética Anual

MAG - Modelos Aditivos Generalizados

MGA – Média Geométrica Anual

NAAQS - National Ambient Air Quality Standards

NO - Óxido Nítrico

NO₂ - Dióxido de Nitrogênio

NO_x - Óxidos de Nitrogênio

MS - Ministério da Saúde

O₃ - Ozônio

PM - Material Particulado

PM₁₀ - Material Particulado com diâmetro de 10 µm

PM_{2,5} - Material Particulado com diâmetro de 2,5 µm

PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

PRONA - Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar

PTS - Material Particulado Total em Suspensão

SIM - Sistema de Mortalidade

SO₂ - Dióxido de Enxofre

SUS - Sistema Único de Saúde

VIGIAR - Vigilância em Saúde Ambiental Relacionado à Qualidade do Ar

WHO - World Health Organization

SUMÁRIO

I – INTRODUÇÃO	01
1.1 – Apresentação	01
1.2 - Poluentes Atmosféricos	02
1.3 – Episódios históricos sobre efeitos da poluição do ar na saúde e ações de controle	04
1.4 – Efeitos na saúde	07
1.5– Área Geográfica do Estudo	13
II – JUSTIFICATIVA	17
III – OBJETIVOS	17
3.1 - Objetivo Geral	17
3.2 - Objetivos Específicos	18
IV – METODOLOGIA	19
4.1 - Desfechos de Saúde e Fonte de dados	19
4.1.2. Desfechos ambientais e Fonte de dados	20
4.1.3. Análise Estatística	20
4.1.4. Resultados publicados	22
4.2. Desfechos de Saúde	22
4.2.1. Fonte dos dados de saúde e populacionais	22
4.2.2. Bases cartográficas	23
4.2.3. Construção dos mapas temáticos e análise	23
4.3 – Aspectos Éticos	23
V – RESULTADOS	24
5.1 – Análise descritiva dos dados de saúde	24
5.2- Análise descritiva dos dados ambientais	33
5.3 – Análise de Correlação de Pearson	35
5.4 – Análise de regressão	37
5.4.1 – Total de óbitos por doenças respiratórias e estratificados por sexo	37
5.4.2 - Total de óbitos de idosos por doenças respiratórias e estratificados por sexo	44
5.4.3 – Total de óbitos por doenças cardiovasculares e em idosos	51
5.4.4 – Total de internações por doenças respiratórias e em idosos e crianças .	56
5.4.5 – Total de internações por doenças cardiovasculares e em idosos	63
5.5 – Análise Espacial	68

5.5.1 – Análise Espacial do total de óbitos por doenças do sistema respiratório	68
5.5.2 – Análise Espacial do total de óbitos por doenças do sistema cardiovascular	71
VI – DISCUSSÃO	74
VII – CONCLUSÃO	83
VIII - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
IX – ANEXO	93
9.1 - Tabelas da análise de séries temporais	93

I – INTRODUÇÃO

1.1 - Apresentação

O rápido avanço tecnológico do mundo moderno trouxe consigo um aumento na quantidade e na variedade de poluentes eliminados na atmosfera, prejudicando de maneira muito séria a qualidade de vida em nosso planeta ^{1, 2}. Nesse sentido, a poluição do ar representa hoje um dos maiores problemas de Saúde Pública, afetando a saúde dos seres humanos, de animais e plantas ^{2, 3, 4}.

A aceleração no processo de degradação da qualidade do ar ocorreu a partir da II Guerra Mundial, com a expansão da capacidade de produção industrial, por meio do crescimento e desenvolvimento da indústria química e petroquímica e, conseqüentemente, da geração de quantidades crescentes de resíduos industriais de maior ou menor grau de risco para a saúde e o meio ambiente ^{4, 5}.

Criaram-se, assim, condições propícias para uma permanente exposição de grandes contingentes populacionais a esses resíduos, sobretudo aos eliminados para a atmosfera, provenientes das chamadas fontes fixas de emissão (indústrias, termoelétricas, caldeiras e mineradoras), das fontes móveis (veículos automotores), de acidentes com produtos químicos voláteis e das atividades agro-pastoris (queima de biomassa), que, como consequência, ocasionam uma série de efeitos na saúde que vão desde mortalidade, sobretudo em crianças e idosos ^{6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15}, passando pelo adoecimento por causas específicas ^{6, 7, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24}, em especial episódios de doenças respiratórias em crianças ^{11, 25, 26, 27} e diminuição da função pulmonar ²⁸, até malformações congênitas ²⁹ ou baixo peso ao nascer ^{30, 31}.

A maioria dos estudos sobre poluição do ar tem sido desenvolvida em grandes centros urbanos, principalmente nos Estados Unidos e na Europa ^{28, 32, 33, 34, 35, 36, 37} e, mais recentemente, na Ásia ^{4, 15, 31}, sendo pouco estudadas as cidades de médio porte.

Os estudos epidemiológicos têm fornecido evidências da associação entre diferentes desfechos de saúde e o aumento nos níveis diários de poluição atmosférica, porém, pouco é conhecido sobre a magnitude dos impactos relativos a esses poluentes nas cidades brasileiras.

Esta tese de doutorado se propõe a avaliar os efeitos da poluição do ar na saúde da população residente, sobretudo na fração mais susceptível, crianças e idosos, em Volta Redonda, município de médio porte, situado no Vale do Paraíba, no Estado do

Rio de Janeiro, com alto grau de industrialização na região central da cidade e intenso fluxo veicular.

A tese está dividida em duas partes que compartilham do mesmo objetivo geral. A *Parte 1* refere-se aos “Efeitos da poluição do ar nas admissões hospitalares por doenças respiratórias em crianças e nas admissões hospitalares e mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares no total da população e em idosos no município de Volta Redonda, estado do Rio de Janeiro, Brasil”. A *Parte 2* refere-se a “Distribuição espacial da mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares em residentes de Volta Redonda, estado do Rio de Janeiro, Brasil”. Ambos são estudos ecológicos, o primeiro caracterizado por uma série temporal e o segundo pela construção e análise de um sistema de informação georreferenciado (SIG).

1.2- Poluentes Atmosféricos

Segundo o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), poluente atmosférico é qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos e que torne ou possa tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora; prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (Resolução CONAMA nº 003/90).

Os poluentes monitorados que foram objetos desta tese foram o material particulado, o dióxido de enxofre e o ozônio.

O material particulado (PM) é uma mistura de partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar, sendo que sua composição e tamanho dependem das fontes de emissão. O tamanho das partículas é expresso em relação a sua dimensão aerodinâmica, definida como o diâmetro de uma esfera densa que tem a mesma velocidade de sedimentação que a partícula em questão³⁸.

Em geral, as partículas podem ser divididas em dois grupos:

- Partículas grossas, com diâmetro entre 2,5 e 30µm, também chamadas *coarse mode*, originadas através de combustões descontroladas, dispersão mecânica do solo ou outros materiais da crosta terrestre, e que apresentam características básicas quanto ao seu conteúdo de silício, titânio, alumínio, ferro, sódio e cloro; pólenes, esporos e outros materiais biológicos também podem estar presentes na constituição das partículas grossas³⁸. Nesse grupo, destaca-se o PM₁₀, formado por uma mistura

de componentes particulados, de diâmetro aerodinâmico inferior a $10\mu\text{m}$ que inclui poluentes derivados do tráfego veicular e da combustão de compostos de carbono, partículas secundárias (dióxido de enxofre e dióxido de nitrogênio), poeiras minerais transportadas pelo vento, e pode também conter endotoxinas e partículas biológicas com alergênicos associados, que são depositados no pulmão através da inalação por via bucal ³⁹.

- Partículas finas, com diâmetro menor que $2,5\mu\text{m}$ (fine mode) e maior acidez, derivadas da combustão de fontes móveis e estacionárias, como automóveis, incineradores e termoelétricas; podem atingir as porções mais inferiores do trato respiratório, prejudicando as trocas gasosas. Entre seus principais componentes encontramos carbono, chumbo, vanádio, bromo e os óxidos de enxofre e nitrogênio, que na forma de aerossóis, constituem a maior fração das partículas finas ³⁸.

O Dióxido de Enxofre (SO_2) é um gás amarelado, com odor característico de enxofre e produzido pela queima de combustíveis fósseis. Os níveis de SO_2 estão habitualmente relacionados diretamente com os níveis de PM e com uma maior mortalidade e morbidade por doenças respiratórias, particularmente a asma brônquica e a bronquite crônica ^{40, 41}. Os efeitos tóxicos de SO_2 são potencializados nos doentes com agravos respiratórios e cardiovasculares pré-existent; sua inalação tem efeito broncoconstrictor potente em doentes asmáticos e a exposição em longo prazo provoca aumento da tosse e expectoração ^{42, 43}. Uma vez inalado, o SO_2 se dissolve na camada de muco que reveste o epitélio das vias aéreas e transforma-se em ácido sulfúrico, sulfitos, dissulfitos e sulfatos, causando irritação da mucosa respiratória desde a nasofaringe e a orofaringe até os alvéolos e a liberação de mediadores da inflamação que induzem hipersecreção de muco; pode ainda ocorrer estimulação das terminações nervosas, hemorragias e necrose; a exposição prolongada pode causar alterações semelhantes às da bronquite crônica ^{3, 44}.

O Ozônio (O_3) é formado na atmosfera através de reações fotoquímicas que envolvem os hidrocarbonetos e os óxidos de nitrogênio (NO_x), emitidos para o ar pela combustão a temperaturas elevadas; nesse processo são liberados também ácido nítrico, formaldeído e oxidantes orgânicos ⁴⁴. O O_3 é pouco solúvel e penetra profundamente nas vias aéreas periféricas, causando alterações celulares e bioquímicas, evidenciadas, por exemplo, pelo aumento do número de neutrófilos no líquido de lavado broncoalveolar ^{3, 44}. O processo inflamatório das vias aéreas parece ser mais marcado nos asmáticos do que na população saudável ⁴⁴. As lesões celulares e a diminuição da

permeabilidade celular são outros possíveis efeitos do O₃ ⁴⁴. Estudos epidemiológicos têm demonstrado aumento dos sintomas respiratórios e diminuição dos volumes pulmonares, mesmo após exposições de curta duração e um maior número de internações hospitalares por doenças respiratórias em doentes com patologia respiratória pré-existente; a exposição prolongada provoca sintomas de bronquite, dor retroesternal durante a inspiração, uma acentuação da queda anual do FEV1 (*Forced Expiratory Volume in 1st second*) e FVC (*Forced Vital Capacity*) ^{40, 41, 45}.

1.3 – Episódios históricos sobre efeitos da poluição do ar na saúde e ações de controle

Existem relatos dos efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde da população dos centros urbanos industrializados desde a primeira metade do século XX. Nesse período, importantes episódios relacionados com intensos aumentos da poluição atmosférica, acompanharam-se de um número de mortes superior ao esperado e chamaram a atenção para a ação deletéria da poluição do ar sobre o aparelho respiratório.

O primeiro desses episódios aconteceu na Bélgica em 1938 e ficou conhecido como a neblina (*fog*) do Vale do Meuse, entre as cidades de Huy e Liège, uma região com grande concentração de indústrias distribuídas em uma faixa de aproximadamente 20 km de comprimento. Nesse episódio, ocorrido nos cinco primeiros dias do mês de dezembro, condições meteorológicas desfavoráveis como a ausência de ventos, impediram a dispersão dos poluentes que permaneceram estacionados sobre a região; imediatamente foi registrado um aumento do número de doenças respiratórias e um excesso de mortes (60 mortes) até dois dias após o início do episódio ⁴⁶.

O segundo episódio foi o *smog* de Donora, nos EUA em 1948, onde nos últimos cinco dias do mês de outubro, inversões térmicas impediram a dispersão dos poluentes produzidos pela combustão das indústrias locais, sendo observadas 20 mortes durante esse período, enquanto eram esperadas apenas duas mortes na comunidade de 14.000 pessoas ⁴⁶.

Pouco tempo depois do acidente de Donora, ocorreu o episódio relacionado com o intenso aumento da poluição atmosférica de Londres em 1952, que ficou conhecido como o grande *fog* londrino ¹⁰; devido uma inversão térmica houve um dramático aumento da poluição e, durante quatro dias, as concentrações atmosféricas de PM oscilaram entre 1,98 e 2,65mg/m³ e as de SO₂ entre 0,94 e 1,26ppm, sendo

acompanhados por grandes incrementos na mortalidade (4.000 mortes, número superior ao esperado, principalmente por agravamento de doenças respiratórias) ⁴⁷ e na morbidade, principalmente por doenças respiratórias e cardíacas, sobretudo em idosos. Estima-se que entre dezembro de 1952 e março de 1953 foram registradas mais de 13.500 mortes acima do esperado para o período ¹².

Esses fatos chamaram a atenção do poder público para a importância da poluição atmosférica na saúde e deram origem, em 1956, ao *Air Pollution Control Act of London*, em Londres, Inglaterra ⁴⁴. Nos EUA, ainda nos anos de 1950, surgiu a primeira legislação federal envolvendo a poluição do ar a *Air Pollution Control Act* e em 1970 a *Clean Air Act Amendments*. Este último tem sido frequentemente atualizado e esteve na origem do estabelecimento do *National Ambient Air Quality Standards* (NAAQS), também nos EUA.

Ainda na Europa, surgiram as *Air Quality Guidelines for Europe* ⁴⁸ e na década de 1990 foi realizado o projeto *Air Pollution on Health: an European Approach* (APHEA), um programa de investigação ambiental apoiado pela Comissão Europeia, que teve como objetivo estudar os efeitos em curto prazo da poluição sobre a saúde ⁴⁹.

O Brasil iniciou as ações de controle da qualidade do ar em 1976, como atribuição do setor ambiental quando, seguindo as recomendações da *Environmental Protection Agency* (EPA) e *World Health Organization* (WHO), o Ministério do Interior, por intermédio da portaria nº 231/1976, estabeleceu os padrões de qualidade do ar para material particulado, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio e oxidantes. Com a publicação da Política Nacional de Meio Ambiente, Lei nº 6.938/1981, foram criadas as condições para que o setor ambiental estabelecesse diretrizes de controle da poluição atmosférica em dois grandes ramos: o controle das emissões e o monitoramento da qualidade do ar, que foram regulamentados pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente, sob a forma das Resoluções CONAMA nº 018 de 06/05/1986 (institui o Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores - PROCONVE), nº 005 de 15/06/1989 (institui o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONA), nº 003 de 28/06/1990 (estabelece padrões de qualidade do ar determinando 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) e nº 008 de 06/12/1990 (estabelece, em nível nacional, limites máximos de emissão de poluentes do ar para processos de combustão

externa em fontes novas fixas de poluição com potências nominais totais até 70 MW e superiores), entre outras.

O PRONAR, instituído pela Resolução CONAMA n° 005/89 é um dos instrumentos básicos de gestão ambiental para a proteção da saúde e bem estar das populações e melhoria da qualidade de vida. O seu objetivo é permitir o desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura, pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes fixas ou móveis.

Os padrões para PM₁₀, fumaça e dióxido de nitrogênio, estabelecidos através da Resolução CONAMA n° 003/90 (Quadro 1), permanecem inalterados até a presente data, embora estudos epidemiológicos realizados em anos mais recentes tenham demonstrado efeitos da poluição do ar sobre a saúde da população, mesmo quando esta se mantém em níveis abaixo dos limites contemplados na legislação^{10, 50, 51, 52} e desconsiderando padrões recomendados pela OMS e utilizados nos Estados Unidos da América³³.

Quadro 1: Padrões de Qualidade do Ar vigentes no Brasil, nos Estados Unidos da América e propostos pela Organização Mundial da Saúde.

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Padrão secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
		Brasil	EUA	OMS	Brasil	EUA	OMS
Dióxido de enxofre (SO_2)	24 horas	365	0,14ppm	20	100	-	-
	MAA ³	80	0,03ppm	-	40	-	-
	10min	-	-	500	-	-	-
Dióxido de nitrogênio (NO_2)	1 hora ¹	320	366	200	190	-	-
	MAA ³	100	78	40	100	-	-
Fumaça	24 horas ¹	150	-	-	100	-	-
	MAA ³	60	-	-	40	-	-
Monóxido de carbono	1 hora ¹	40.000	40.000	-	40.000	-	-
		(35ppm)	(35ppm)	-	(35ppm)	-	-
	8 horas	10.000	10.000	-	10.000	-	-
		(9ppm)	(9ppm)		(9ppm)		
Ozônio	1 hora ¹	160	-	-	160	157	100
	8 horas	-	0,075ppm	-	-	0,08ppm	-
Partículas totais em suspensão (PTS)	24 horas ¹	240	-	-	150	-	-
	MGA ²	80	-	-	60	-	-
Partículas inaláveis (PM_{10})	24 horas ¹	150	150	50	150	150	50
	MAA ³	50	50	20	50	50	20
Partículas inaláveis ($\text{PM}_{2,5}$)	24 horas	-	35	25	-	35	25
	MAA ³	-	15	10	-	15	10

1 Não deve ser ultrapassado mais que uma vez ao ano;

2 MGA – média geométrica anual;

3 MAA – média aritmética anual.

1.4– Efeitos na saúde

O aparelho respiratório, pelas funções que desempenha, está particularmente exposto às agressões do ambiente e é, freqüentemente, sede de alterações de maior ou menor intensidade e gravidade, causadas pela exposição aos poluentes atmosféricos⁵³. Tem sido demonstrado que os poluentes atmosféricos podem ser absorvidos pela circulação sistêmica e atingir também outros órgãos⁵⁴.

A poluição do ar por material particulado (PM) é responsável, anualmente, por aproximadamente 3,0% da mortalidade por doença cardiopulmonar em adultos, 5,0% da mortalidade por câncer de traquéia, brônquio e pulmão e 1,0% da mortalidade em crianças por infecção respiratória aguda, em áreas urbanas do mundo ⁵⁵.

A exposição aos poluentes ambientais vem sendo estudada por diferentes autores, especialmente em grupos mais susceptíveis como crianças e idosos ^{11, 12, 13, 20, 25, 27, 28, 56}.

Segundo Schwartz ⁴⁷, a exposição de crianças à poluição atmosférica é de especial interesse, porque seu sistema imunológico e seus pulmões não estão totalmente desenvolvidos; desta forma, quando expostos, desenvolvem uma resposta diferente da observada em adultos. A susceptibilidade do idoso, particularmente às infecções respiratórias e suas complicações, pode ser explicada em parte, pela diminuição progressiva das funções pulmonares, determinada pela perda da elasticidade pulmonar, da capacidade vital e do volume expiratório forçado, além da diminuição da função ciliar e do reflexo de tosse. Essa susceptibilidade, associada à poluição atmosférica, pode ocasionar o aumento de atendimentos por diversas doenças respiratórias nos idosos ^{19, 20}.

Casas e colaboradores ⁵⁷ estudaram, em dois centros de saúde da cidade de Temuco no Chile, os efeitos da contaminação atmosférica por PM₁₀ sobre as infecções respiratórias agudas (IRA) em crianças menores de cinco anos atendidas entre 2000 e 2002. Os autores observaram, aplicando o teste T de Student, diferenças significativas entre o número de atendimentos realizados em dias mais poluídos em relação aos dias menos poluídos, o que permitiu afirmar que nos períodos de maior concentração atmosférica do poluente houve um aumento nas consultas por IRA.

Ward e Ayres ²⁸ realizaram uma meta-análise de estudos selecionados a partir de revisão sistemática em diferentes bases de dados entre 1966 e 2002. Foram definidos como critérios de seleção estudos de coorte prospectivos que relacionavam observações individuais de função pulmonar ou sintomas respiratórios em crianças com menos de 18 anos e níveis de PM, empregando modelos de regressão apropriados para controlar sazonalidade, dados climáticos e autocorrelação, e cujo período de seguimento fosse superior a oito semanas. Foram identificados 22 estudos realizados em diferentes cidades dos EUA, Europa e México, dos quais, 19 relatavam efeitos do poluente sobre a função pulmonar. Devido à semelhança entre os estudos, os autores puderam apresentar o resultado de 15 desses em um gráfico *plot*, onde as estimativas médias para

diminuição do pico respiratório em relação ao aumento dos níveis de $PM_{2,5}$ variou de -0,05 a -0,28 $l.min^{-1}$ por $\mu g.m^{-3}$ e em relação ao aumento dos níveis de PM_{10} variou de -0,16 a +0,01 $l.min^{-1}$ por $\mu g.m^{-3}$. Todos os estudos analisados sugeriram uma associação inversa entre o incremento de $PM_{2,5}$ e PM_{10} e a diminuição do pico respiratório em crianças, exceto um deles, onde foi observada associação direta com PM_{10} . Ward e Ayres²⁸ destacam a necessidade de investigar uma possível interação entre PM e outros poluentes, como o O_3 , que poderia explicar a variação na estimativa de impacto do poluente sobre a diminuição do pico respiratório em crianças.

Nascimento e colaboradores²⁵ realizaram um estudo ecológico de série temporal no Hospital Universitário de Taubaté, Brasil, em 2001. Os autores levantaram dados diários de internações de crianças com problemas respiratórios e estimaram o risco relativo para internação por doença respiratória, comparando o segundo, o terceiro e o quarto quartis dos agentes poluentes com os valores do primeiro quartil. Para avaliar a correlação entre os valores dos poluentes entre si e entre as internações foi empregada a correlação de Pearson (alfa = 5%). Os poluentes estiveram correlacionados entre si e houve correlação positiva entre o número de internação e SO_2 ($r = 0,12$) e PM ($r = 0,10$); para um incremento de $46\mu g/m^3$ de PM o risco de internação aumentou em 24% e para um incremento de $8,5\mu g/m^3$ de SO_2 o risco aumentou em 25%.

Freitas e colaboradores¹¹ avaliaram na cidade de São Paulo, Brasil, a relação entre as contagens diárias de admissões hospitalares por doenças respiratórias de crianças até 14 anos, no período de 1993 a 1997, e as variações diárias de PM_{10} , CO e O_3 . Foi utilizada para análise a regressão de Poisson em modelos aditivos generalizados. Os modelos foram ajustados para efeitos da sazonalidade de longa e curta duração, fatores meteorológicos e autocorrelação. Os autores encontraram para incrementos dos poluentes do 10º ao 90º percentil um aumento no risco de admissões em relação ao PM_{10} (%RR=10,04; IC 95%: 7,75–12,38%), CO (%RR=6,14; IC 95%: 3,64–8,61%) e O_3 (%RR=2,50; IC 95%: 0,26–4,79%).

Em Curitiba, Paraná, Bakonyi e colaboradores²⁷ estudaram, no período de 1999 a 2000, a associação entre atendimentos diários por doenças respiratórias em crianças de zero a 14 anos e níveis diários de PM_{10} , NO_2 , O_3 e fumaça, com o mesmo desenho epidemiológico empregado por Freitas e colaboradores¹¹. Nesse estudo, pode-se observar uma associação discreta, porém estatisticamente significativa entre PM_{10} , NO_2 e fumaça e o número de atendimentos por doenças respiratórias, tanto para as concentrações diárias quanto para as médias móveis de dois e três dias; para o O_3 ,

apenas a média móvel de três dias apresentou efeito com significância estatística. Bakonyi e colaboradores ²⁷ observaram o aumento nos atendimentos ambulatoriais devido a aumentos de um intervalo interquartil nas médias móveis de três dias, os poluentes PM₁₀ e fumaça apresentaram associação positiva e significativa com os atendimentos por doenças respiratórias onde, para um aumento de 90,39µg/m³ de PM₁₀ houve um incremento de 11,5% (IC 95%: 6,8-16,9) nos atendimentos e para um aumento de 40,4µg/m³ de fumaça houve um incremento de 4,5% (IC 95%: 1,5-7,6), demonstrando um efeito acumulativo da exposição aos poluentes atmosféricos; para os demais, o aumento de 63,71µg/m³ de O₃ e 27,17µg/m³ de NO₂ levaram a um incremento nos atendimentos de aproximadamente 4,7% e 3,0%, respectivamente.

Filleul e colaboradores ³², em um estudo de coorte, acompanharam durante 25 anos 14.284 adultos entre 25 e 59 anos que residiram por pelo menos três anos em 24 áreas de sete cidades da França desde 1974. Os autores estimaram, utilizando modelos de regressão de Cox, o risco relativo para o total de mortalidade não acidental, para mortalidade por câncer de pulmão e para mortalidade por doenças cardiopulmonares, ajustado pelas variáveis idade, sexo, tabagismo, índice de massa corpórea e exposição ocupacional, em relação à exposição a PM total em suspensão (PTS), NO₂ e óxido nítrico (NO). Foi observado que para cada aumento de 10µg/m³ de PTS, NO₂ e NO ocorreu um aumento no total de mortalidade não acidental na ordem de 1,05 (IC 95%: 1,02–1,08), 1,14 (IC 95%: 1,03–1,25) e 1,11 (IC 95%: 1,05–1,17), respectivamente. O aumento do risco também foi significativo para mortalidade por câncer de pulmão em relação a NO₂ (RR=1,48; IC 95%: 1,05-2,06) e para mortalidade por doenças cardiopulmonares em relação à PTS (RR=1,06; IC 95%: 1,01-1,12) e NO₂ (RR=1,27; IC 95%: 1,04-1,56).

Martins e colaboradores ²⁰ obtiveram, em pronto-socorro no município de São Paulo, dados diários de atendimentos por pneumonia e gripe de idosos com 65 anos ou mais, para verificar a relação existente com níveis diários de CO, O₃, SO₂, NO₂ e PM₁₀. Nesse estudo foram empregados modelos aditivos generalizados de regressão de Poisson, tendo como variável dependente o número diário de atendimentos por pneumonia e gripe e como variáveis independentes as concentrações médias diárias dos poluentes atmosféricos. A análise foi ajustada por sazonalidade de longa duração (número de dias transcorridos), sazonalidade de curta duração (dias da semana), temperatura mínima, umidade média, períodos de rodízio e o número de atendimentos por doenças não respiratórias em idosos. Verificou-se que o número de atendimentos

por pneumonia e gripe não apresentou uma associação significativa com o CO, NO₂ e PM₁₀, porém estimou-se que um aumento no nível de SO₂ do primeiro para o terceiro quartil (15,05µg/m³) provocaria um acréscimo de 14,51% nos atendimentos por pneumonia ou gripe em idosos. Já para o O₃, a diferença interquartil (38,80µg/m³) provocaria um acréscimo de 8,07%. Martins e colaboradores ²⁰, ao realizarem a análise com O₃ e SO₂ no mesmo modelo, observaram que ambos perderam significância estatística, o que indicaria que seus efeitos não eram independentes.

Martins e colaboradores ⁵⁶, para investigar a estrutura de defasagem entre a exposição a níveis diários de CO, PM₁₀, O₃, NO₂, SO₂ e as internações hospitalares por doenças cardiovasculares em idosos com mais de 64 anos de idade, estratificados por gênero, entre 1996 e 2001, na cidade de São Paulo, empregaram modelos restritos de distribuição polinomial em modelos aditivos generalizados (MAG) de regressão de Poisson para estimar os efeitos dos poluentes no dia da exposição e até 20 dias após, controlando para sazonalidade de longa e curta duração, feriados e fatores meteorológicos. Nesse estudo, a variação interquartil de PM₁₀ (26,21µg/m³) foi associada a um incremento de 3,2% (IC 95%: 2,09-4,25%) nas admissões por insuficiência cardíaca congestiva no dia da exposição. Os efeitos foram predominantemente agudos e maiores para o sexo feminino.

No estudo realizado na cidade de São Paulo ¹¹, no período de 1993 a 1997, os autores avaliaram também a relação entre os dados diários de mortalidade por doenças respiratórias de pessoas com mais de 65 anos e as variações diárias de PM₁₀, CO e O₃ em modelos aditivos generalizados de regressão de Poisson. Para incrementos dos poluentes do 10º ao 90º percentil houve um aumento similar no risco de mortalidade diária em idosos por PM₁₀ (%RR=8,09; IC 95%: 6,42–9,79%) e CO (%RR=7,92; IC 95%: 6,28–9,59%) com estrutura de defasagem de um dia; não foi encontrada associação entre mortes em idosos e níveis de O₃.

Estudos de séries temporais, publicados por Junger e colaboradores ¹² e Cendon e colaboradores ¹³, com modelos de regressão de Poisson, investigaram a mortalidade por câncer de pulmão no município do Rio de Janeiro entre 2000 e 2001 e a admissão hospitalar por infarto do miocárdio no município de São Paulo entre 1998 e 1999, respectivamente, em pessoas com 65 anos ou mais. Junger e colaboradores ¹² encontraram para cada aumento de 1ppm de CO um incremento no risco relativo da mortalidade por câncer de pulmão da ordem de 1,13 (IC 95%: 1,00-1,28), para

exposição com estrutura de defasagem de três dias e de 1,23 (IC 95%: 1,00-1,52), para exposição acumulada de sete dias; os demais poluentes (PM₁₀, O₃, NO₂, SO₂) não apresentaram uma associação significativa. Em São Paulo, todos os poluentes estudados (CO, PM₁₀, O₃, NO₂, SO₂) mostraram uma associação positiva com os desfechos, mas o SO₂ apresentou uma associação mais robusta e estatisticamente significativa. O aumento do intervalo interquartil para as concentrações observadas do SO₂ foi associado a aumento de 12,9% (IC 95%: 6,40-19,40) nas internações em unidade de terapia intensiva e de 7,5% (IC 95%: 1,70-13,30) de admissões em enfermarias ¹³.

Segundo Lopes e Ribeiro ⁵⁸ a utilização de tecnologias de geoprocessamento possibilita identificar relações entre a distribuição de agravos à saúde e os condicionantes ambientais, agregando e mapeando variáveis de fontes distintas.

O uso de métodos de análise espacial em conjunto com modelos de regressão multivariados constitui-se como uma forte ferramenta dentro do geoprocessamento, a exemplo os resultados obtidos na reavaliação dos dados da Coorte de Crianças de Hamilton (HCC) ⁵⁹. Os resultados encontrados pelos autores confirmam os resultados do HCC, de que a saúde respiratória das crianças estava associada com o hábito materno de fumar, hospitalização e poluição de ar. Porém, o resultado desse estudo revela uma associação mais forte entre a saúde respiratória de crianças e a poluição de ar. Adicionalmente, este estudo demonstrou associações com aglomeração de baixa renda.

Em todos esses estudos podemos observar uma variação da estimativa de associação entre os níveis de poluentes e os efeitos nocivos à saúde. Esse fato se deve, provavelmente, a fatores ambientais, tais como os geofísicos e meteorológicos do território, que possibilitam uma distribuição heterogênea da poluição, assim como à composição físico-química dos poluentes e seus diferentes níveis de interação ⁴⁶. Fatores humanos, como as diferenças genéticas na população e as diferenças, de saúde, socioeconômicas e culturais, também podem estar envolvidos na variação das estimativas de associação, pois levam a diferentes níveis de exposição, vulnerabilidade e resposta ^{33, 60, 61, 62, 63}.

Outra característica que chama a atenção nesses estudos desenvolvidos em países ocidentais é o fato de terem sido realizados, em grande parte, na América do Norte e Europa. Os poucos estudos brasileiros foram, em sua maioria, realizados em grandes centros urbanos como São Paulo, Rio de Janeiro e Curitiba ^{12, 25, 27, 64, 65, 66}.

Fora do eixo dos grandes centros urbanos, vem aumentando o número de estudos na região Norte ⁶⁷ e Centro-Oeste (Mato Grosso e Tocantins), em relação ao impacto da queima de biomassa na saúde da população, desenvolvidos pelas Secretarias Estaduais de Saúde estimulados pelo Ministério da Saúde, através do Programa de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade do Ar (VIGIAR), como estratégia de orientar o desenvolvimento de seu trabalho, permitindo a integração dos serviços e favorecendo a integralidade das ações.

Recentemente, Moraes e colaboradores ²⁶ publicaram os resultados de um estudo transversal que analisou a associação entre poluentes atmosféricos e a sibilância em crianças e adolescentes vizinhos a uma indústria petroquímica no Rio Grande do Norte, Brasil. Nesse estudo, os autores demonstraram que a prevalência de sibilos nos últimos 12 meses de estudo foi de 27,3% e que associações estatisticamente significantes com sibilos no período foram verificadas mesmo após ajustamentos para comunidades expostas ($OR_{ajust} = 2,01$; $IC95\% = 1,01-4,01$), sexo masculino ($OR_{ajust} = 2,50$; $IC95\% = 1,21-5,18$) e idade de 0 a 6 anos ($OR_{ajust} = 5,00$; $IC95\% = 2,41-10,39$), mesmo em baixas concentrações de poluentes atmosféricos.

Contudo, pouco tem sido estudado em relação ao efeito da poluição do ar gerada pela associação de atividades industriais como metalurgia/siderurgia e frota veicular intensa, sobre o adoecimento e morte dos grupos populacionais mais susceptíveis, principalmente em cidades de médio porte no Brasil.

É dentro desse contexto que se insere o presente trabalho com a avaliação dos impactos gerados pela emissão de poluentes atmosféricos sobre as internações hospitalares e a mortalidade por problemas respiratórios e cardiovasculares em grupos populacionais susceptíveis no município de Volta Redonda, estado do Rio de Janeiro, Brasil.

1.5– Área Geográfica do Estudo

Volta Redonda é um município brasileiro situado na microrregião do Vale do Paraíba dentro da mesorregião Sul Fluminense, no estado do Rio de Janeiro. Localiza-se a 22°31'23" de latitude Sul e 44°06'15" de longitude Oeste, a uma altitude de 390 metros. É cortada pelo Rio Paraíba do Sul, que corre de Oeste para Leste, sendo a

principal fonte de abastecimento de água do município e também responsável pelo seu nome, devido a um acidente geográfico no seu curso.

A cidade é limitada pelos municípios de Barra Mansa (Norte, Noroeste, Oeste e Sudoeste), Barra do Piraí (Nordeste), Pinheiral e Piraí (Sudeste e Leste), e Rio Claro (Sul), encontrando-se a 130 quilômetros da cidade do Rio de Janeiro. Ocupa uma área de 182,8 km², sendo 54 km² na região urbana e 128 km² na zona rural. A população estimada em 2008 foi de 259.811 habitantes, o que a torna a maior cidade da região Sul Fluminense e a terceira maior do interior do estado. A população de diversas cidades vizinhas costuma utilizar os serviços, comércio e aparelhos públicos e privados de Volta Redonda, de forma que a população flutuante da cidade, diariamente, é de aproximadamente 310.000 habitantes ⁶⁸. Volta Redonda, juntamente com os municípios de Barra Mansa e de Pinheiral, constituem uma aglomeração que ultrapassa os 450.000 habitantes, conforme as estimativas do IBGE para 2007, sendo, no estado, a maior mancha urbana fora da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Acompanhando o Rio Paraíba do Sul, que corta Volta Redonda pelo meio, no sentido sudoeste-leste, a área urbana do município fica situada às suas margens, em uma planície circundada por colinas, sendo que sua altitude varia de 350 metros, às margens do rio, a 707 metros, na ponta nordeste ⁶⁸.

Do ponto de vista tipográfico, o território municipal pode ser dividido em duas grandes áreas: a área de planície aluvial e a área de "mar de morros". A área da Planície aluvial tem, aproximadamente, 20 km²: 15 km² na margem direita e 5 km² na margem esquerda do Rio Paraíba do Sul e se encontra embutida no conjunto de elevações circundantes, que formam a área do "mar de morros". Esses morros têm forma de "meia-laranja" emborcada, com alturas que variam de 50 a 200 metros de declividades da ordem de 25 a 50%. No "mar de morros", as áreas mais planas correspondem a pequenos setores descontínuos, situados nos topos achatados dos morros e no fundo dos pequenos vales intermediários. Observa-se que as altitudes e declividades se acentuam nas proximidades da Serra do Mar, ao sul, e da Serra da Mantiqueira, ao norte; em especial, na porção norte do município são encontradas encostas íngremes e as maiores altitudes ⁶⁸.

Na porção sul, em meio ao "mar de morros", encontram-se algumas áreas planas ou de topografia suave, que formam dois conjuntos de áreas planas agregadas

(clareiras topográficas), cada uma delas com, aproximadamente, um quilômetro quadrado. O primeiro conjunto é o que vem sendo ocupado, nas últimas décadas, por empreendimentos habitacionais, a partir dos bairros Casa de Pedra e Siderópolis, no sentido norte-sul. O segundo localiza-se nas proximidades da Rodovia Presidente Dutra⁶⁸.

O clima do município é mesotérmico, com verões quentes e chuvosos e invernos secos. A umidade relativa do ar é alta (77%), mesmo nos meses de inverno, quando varia entre 71% e 72%. A temperatura média compensada é de 21°C, média mínima anual de 16,5°C e média máxima anual de 27,8°C. A precipitação média anual é de 1.377,9 mm, sendo janeiro e fevereiro os meses com maior incidência de chuvas⁶⁸. Predominam os ventos em sentido noroeste, porém a localização do município, em fundo de vale, faz com que, na maior parte do tempo, exista calmaria, o que dificulta a dispersão dos gases e partículas, lançadas principalmente pela usina siderúrgica, e provoca alterações no microclima⁶⁸.

O fenômeno da inversão térmica, causado pela camada de poluição que permanece sobre a cidade, formando uma barreira à penetração dos raios solares, é comum, no inverno, diminuindo a insolação e impedindo a liberação do calor e das novas cargas de poluentes lançados a cada dia⁶⁸.

Considerada como centro econômico do Sul Fluminense, Volta Redonda, está situada numa área estratégica, próxima a importantes cidades-pólo regionais de outros estados, como Juiz de Fora (190 quilômetros) e São José dos Campos (220 quilômetros). Atualmente, sua economia, apesar de ainda estar ancorada na indústria, é bastante diversificada, voltada em grande parte para as áreas de prestação de serviços e comércio⁶⁸.

No município, situa-se a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), atualmente a maior siderúrgica da América Latina. O município abriga também as fábricas de cimento Votoran (do Grupo Votorantim) e Tupi (da Cimento e Participações - CP), a Usina de Oxigênio e Nitrogênio da White Martins, a Indústria Nacional de Aços Laminados (INAL), além da Companhia Estanifera Brasileira (CESBRA) e da S/A Tubonal (fabricante de tubos de aço). Em diversos pontos da cidade, principalmente próximo à rodovia dos Metalúrgicos, há outras indústrias de menor porte. Está previsto a criação de um novo pólo industrial às margens da Rodovia dos Emancipadores⁶⁸.

Volta Redonda é cortada por duas das principais rodovias brasileiras. A Rodovia Presidente Dutra (BR-116), ligando a cidade do Rio de Janeiro à cidade de São Paulo, e a Rodovia Lúcio Meira (BR-393), a antiga "Rio-Bahia". Além destas, conta ainda com a RJ-153, rodovia estadual que liga o município ao Sul de Minas Gerais, passando pelo Distrito de Nossa Senhora do Amparo. Entre as estradas e rodovias municipais, cabe destacar a Rodovia dos Emancipadores (braço da BR-393, ainda não inaugurado), estrada que deverá tirar o tráfego pesado da Zona Central do município, ligando a rodovia Lúcio Meira à Rodovia dos Metalúrgicos (VRD-001) e facilitando o acesso entre as Zonas Leste e Sul da cidade. Outra via de acesso à cidade é a Via Sérgio Braga (VRD-101), principal acesso daqueles que vêm da cidade de Barra Mansa em direção à Zona Central de Volta Redonda. A estrada Francisco Vilella Arantes, que atravessa a área rural sul do município, é uma alternativa para quem vai para o município de Angra dos Reis, no litoral sul-fluminense ⁶⁸.

Para o monitoramento da qualidade do ar, o município contar com três estações automáticas de monitoramento, mantidas pela CSN e situadas nos bairros Jardim Belmonte, Retiro e Vila Santa Cecília, cujos dados são repassados, em tempo real, *on line* para o INEA a fim de que seja efetuada a validação dos mesmos.

O bairro Jardim Belmonte está localizado na divisa entre Volta Redonda e Barra Mansa, na Zona Oeste da cidade, com uma área de 20,96 hectares e cerca de 1369 habitantes (estimativa de 2005) é predominantemente residencial, apresentando razoável comércio popular nas suas vias principais, marcadamente na avenida Presidente Kennedy ⁶⁸.

O Retiro é um bairro situado na Zona Norte da cidade, com cerca de 28516 habitantes (estimativa de 2005) e 805,21 hectares de área, sendo um dos principais centros comerciais do Sul Fluminense e o maior e mais densamente povoado bairro da cidade ⁶⁸.

A Vila Santa Cecília é um bairro da Zona Central da cidade, com cerca de 100,08 hectares de área e nela se encontra a parte comercial mais moderna e diversificada de todo o Sul Fluminense ⁶⁸.

II – JUSTIFICATIVA

Vários estudos epidemiológicos observaram associações entre níveis diários de poluentes atmosféricos e a ocorrência de eventos nocivos à saúde, principalmente em grupos populacionais susceptíveis.

A demanda pela definição de processos reguladores referentes aos padrões de qualidade do ar brasileiros torna imprescindível o aprofundamento das análises sobre essa associação, o impacto sobre a saúde de crianças e idosos, patologias e níveis ambientais nos quais o processo exposição-adoecimento ou morte acontece.

O município de Volta Redonda foi escolhido como área de estudo devido à presença de importantes fontes fixas de emissão de poluentes atmosféricos e de alto tráfego veicular, além de contar com três estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar e desenvolver atividades do Programa de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionado à Qualidade do Ar (VIGIAR) desde 2002. Além disso, a cidade foi um dos cinco municípios-piloto para a construção do programa nacional de VIGIAR da Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental (CGVAM) do Ministério da Saúde (MS), estando dessa forma sensibilizada para o problema.

As informações provenientes dessa investigação contribuirão para subsidiar o planejamento e avaliação de programas de saúde voltados a essa questão, fornecendo elementos que possibilitem orientar as políticas municipais de proteção à saúde da população frente aos riscos decorrentes da exposição aos poluentes atmosféricos, assim como a formulação de estratégias de controle da poluição do ar pelo setor ambiental.

III – OBJETIVOS

3.1 - Objetivo Geral

Avaliar os efeitos da poluição do ar sobre as doenças respiratórias e cardiovasculares da população residente no município de Volta Redonda, no período de primeiro de janeiro de 2002 a 31 de dezembro de 2006.

3.2 -Objetivos Específicos

Parte 1: Efeitos da poluição do ar nas admissões hospitalares por doenças respiratórias em crianças e nas admissões hospitalares e mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares no total da população e em idosos no município de Volta Redonda, estado do Rio de Janeiro, Brasil.

1. Analisar a tendência temporal do total da mortalidade por doenças respiratórias e em idosos com 65 anos ou mais, estratificados por sexo.
2. Analisar a tendência temporal do total da mortalidade por doenças cardiovasculares e em idosos com 65 anos ou mais.
3. Analisar a tendência temporal do total das internações hospitalares por doenças respiratórias e em crianças menores de cinco anos e idosos com 65 anos ou mais.
4. Analisar a tendência temporal do total das internações hospitalares por doenças cardiovasculares e em idosos com 65 anos ou mais.
5. Estimar a associação entre os níveis diários de poluentes atmosféricos e o total da mortalidade diária por doenças respiratórias e em idosos com 65 anos ou mais, estratificados por sexo.
6. Estimar a associação entre os níveis diários de poluentes atmosféricos e o total da mortalidade diária por doenças cardiovasculares e em idosos com 65 anos ou mais.
7. Estimar a associação entre os níveis diários de poluentes atmosféricos e o total das internações hospitalares diárias por doenças respiratórias e em crianças menores de cinco anos e idosos com 65 anos ou mais.
8. Modelar o padrão de defasagem na distribuição da mortalidade e das internações por doenças respiratórias e cardiovasculares em relação à variação dos níveis de poluentes atmosféricos.

Parte 2: Distribuição espacial da mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares em residentes de Volta Redonda, estado do Rio de Janeiro, Brasil.

1. Estimar e observar a distribuição das taxas de mortalidade por doenças do sistema respiratório e cardiovascular da população residente.
2. Identificar a possível ocorrência de áreas com maior densidade de óbitos por doenças do sistema respiratório e cardiovascular.

IV – METODOLOGIA

Foi realizado um estudo ecológico, com dois diferentes delineamentos epidemiológicos: Parte 1 - estudo de séries temporais ⁶⁸, onde foram analisadas as associações entre as séries de tempo de concentrações diárias de poluentes atmosféricos e os efeitos nas doenças respiratórias em crianças e nas doenças respiratórias e cardiovasculares em idosos, bem como para o total das faixas etárias; Parte 2 - estudo de geoprocessamento, através da construção de um GIS (Geographic Information Systems), possibilitando analisar a distribuição espacial dos agravos em relação às fontes de emissão de poluentes atmosféricos. Ambos os estudos foram realizados em Volta Redonda, Estado do Rio de Janeiro, Brasil, considerando o período de 1º de janeiro de 2002 a 31 de dezembro de 2006.

Para alcançar os objetivos específicos apresentados, foram definidos, como estratégia de execução, dois delineamentos epidemiológicos:

***Parte 1** - Efeitos da poluição do ar nas admissões hospitalares por doenças respiratórias em crianças e nas admissões hospitalares e mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares em idosos no município de Volta Redonda, estado do Rio de Janeiro, Brasil.*

4.1 - Desfechos de Saúde e Fonte de dados

Foram analisadas as internações hospitalares por doenças do sistema respiratório (CID 10, J00-J99) em crianças menores de cinco anos e as internações hospitalares e óbitos totais por doenças do sistema respiratório (CID 10, J00-J99) e cardiovascular (CID 10, I00-I99) e em idosos com 65 anos ou mais. A série temporal do total de óbitos por doenças respiratórias e dos ocorridos em idosos foi estratificada por sexo.

Os dados referentes às internações hospitalares para os hospitais públicos e conveniados do Sistema Único de Saúde (SUS) foram obtidos a partir das informações do SIH-SUS, disponível no *site* do DATASUS. Esses bancos de dados contêm informações de todas as internações hospitalares realizadas no âmbito do SUS registrados nas Autorizações de Internação Hospitalar (AIH), onde constam as seguintes informações que foram utilizadas: município de residência, idade, data da internação e diagnóstico principal.

Os dados de mortalidade do município de Volta Redonda para o período de estudo foram obtidos no Departamento de dados Vitais da Coordenação de Informações da Secretaria de Estado de Saúde do Rio de Janeiro. Foram selecionadas para estudo as seguintes variáveis: município de residência, idade, data do óbito e causa básica do óbito.

4.1.2. Desfechos ambientais e Fonte de dados

Foram utilizados dados das concentrações médias diárias de PM_{10} , concentrações médias diárias de SO_2 , maior média horária diária de O_3 , temperatura mínima diária e média da umidade relativa do ar, fornecidos pelo Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro (INEA), provenientes das estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar, situadas, em Volta Redonda, nos bairros Jardim Belmonte (zona oeste da cidade), Vila Santa Cecília (zona norte) e Retiro (zona central).

A média diária das variáveis ambientais, das três estações, foi calculada após imputação de dados faltantes utilizando-se do algoritmo EM (expectation-maximisation) modificado, aplicado sob os pressupostos da distribuição normal multivariada. Além das estruturas de dependência entre as variáveis, esse método também leva em consideração as estruturas de dependência temporal de cada variável. A contribuição do componente temporal de cada série univariada foi estimado de modo *ad hoc*, isto é, foram necessários modelos adicionais para a estimação de μ_t . Neste método de imputação, foi implementada a *spline* cúbica não paramétrica como opção de estimação do nível das séries temporais⁷⁰.

4.1.3. Análise Estatística

Inicialmente foram determinadas medidas estatísticas descritivas (média aritmética, desvio padrão e valor mínimo e máximo) para as variáveis: óbitos totais por doenças do sistema respiratório bem como somente para idosos (aqui definidos como indivíduos com 65 anos ou mais), estratificados por sexo, óbitos totais e em idosos por doenças do sistema cardiovascular, internações totais e de crianças e idosos por doenças do sistema respiratório, internações totais e de idosos por doenças do sistema cardiovascular e para PM_{10} , SO_2 , O_3 , temperatura mínima e UR.

O coeficiente de correlação de *Pearson* foi calculado entre os poluentes atmosféricos, o número de internações hospitalares e mortalidade e entre as variáveis climáticas, a fim de se verificar se esses dados estavam lineamente associados ao nível de significância arbitrado de $\alpha = 20\%$.

Na análise de séries temporais, as contagens diárias de óbitos e internações, foram consideradas variáveis dependentes (Y_t) e as concentrações médias diárias de PM_{10} , SO_2 e O_3 , uma por vez, como variáveis independentes (X_t). Adicionalmente foram consideradas as seguintes variáveis de controle: os dias da semana (uma variável indicadora para cada dia da semana, de forma a controlar o efeito de calendário), o tempo (variável de sequência de um (1) ao último dia do período do estudo, para ajustar a sazonalidade e a tendência de longa duração), feriados nacionais e municipais (uma variável indicadora para cada tipo de feriado), temperatura mínima ($^{\circ}C$) e média da UR (%) diárias (utilizadas para ajustar por fatores climáticos).

Como a relação entre a variável dependente e algumas variáveis de controle, como as meteorológicas, não são necessariamente lineares, Modelos Aditivos Generalizados (MAG) ⁷¹ de regressão de Poisson com funções não paramétricas de alisamento do tipo *cubic smoothing splines* foram utilizados para estimar a associação entre o número diário de óbitos por doenças do sistema respiratório e os níveis diários destes indicadores meteorológicos. Vale ressaltar que um alisador é uma função de x e y com o mesmo domínio de x , definida para todo ponto x_0 ou, algumas vezes, apenas para os x_i da amostra. Para cada valor x_i o alisador associa um valor $f(x_i)$ cuja estimativa $\hat{f}(x_i)$ pode ser obtida. Os valores desta função devem, por definição, ser mais “suaves” do que os valores de y , ou seja, devem ter menor variabilidade do que os valores de y ⁷² O procedimento de alisamento foi usado para o tempo e para as variáveis meteorológicas, de forma a ajustar a tendência e os padrões sazonais básicos e mais marcantes de longa duração.

Após o ajuste da variável dependente pelos fatores de controle, as variáveis independentes foram inseridas nos modelos, uma a uma. Como as manifestações biológicas dos efeitos da poluição atmosférica sobre os desfechos de saúde aparentemente apresentam um comportamento de defasagem (*lag*) em relação à exposição do indivíduo aos agentes poluidores ⁷³, as variáveis dependentes foram inseridas com um tempo de defasagem de zero a 10 dias, um por vez, considerando o

dia corrente após a exposição, afim de uma definição mais precisa do modelo a ser usado.

A qualidade do ajuste do modelo final foi estimada através da análise de resíduos dos desfechos e do Critério de Informação de Akaike ⁷⁴. Os riscos relativos (RR) para os óbitos corresponderam a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração dos poluentes atmosféricos e nível de significância de 5%. Os dados foram analisados na plataforma estatística R ⁷⁵ versão 2.12.1, com biblioteca estatística ARES versão 0.7.1 e mtsdi versão 0.3.1.

4.1.4. Resultados publicados

Os resultados da Parte 1 do estudo, referentes aos objetivos específicos um e cinco foram utilizados na elaboração de um artigo científico intitulado *Differential susceptibility according to gender in the association between air pollution and mortality from respiratory diseases*, publicado em 2011 na revista Cadernos de Saúde Pública, 27 (9): 1827-1836.

Parte 2 - Distribuição espacial da mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares em Volta Redonda, estado do Rio de Janeiro, Brasil

4.2. Desfechos de Saúde

Foram analisados todos os óbitos por doenças do sistema respiratório (CID 10, J00-J99) e cardiovascular (CID 10, I00-I99) da população residente em Volta Redonda, entre primeiro de janeiro de 2002 e 31 de dezembro de 2006.

4.2.1. Fonte dos dados de saúde e populacionais

Foram utilizados os dados de mortalidade do município de Volta Redonda para o período de estudos através do Sistema de Mortalidade (SIM), obtidos do Departamento de dados Vitais da Coordenação de Informações da Secretaria de Estado

de Saúde do Rio de Janeiro. As variáveis utilizadas no estudo foram: endereço residencial, data do óbito e causa básica do óbito.

Para o cálculo das taxas de mortalidade por setor censitário de Volta Redonda, as estimativas da população de estudo residente foram obtidas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), referentes ao censo do ano de 2000.

4.2.2. Bases cartográficas

Os dados cartográficos digitais, por setores censitários, foram obtidos do IBGE, na escala de 1:50.000, com projeção em UTM e sistema geodésico SAD-69.

4.2.3. Construção dos mapas temáticos e análise

Os óbitos foram georreferenciados por pontos, constituindo GIS com as distribuições dos óbitos a fim de estimar a quantidade dos mesmos por setor censitário. Com vistas a observar se a distribuição dos casos não está relacionada à densidade populacional, após a estimativa, foram construídos GIS com distribuição pelos setores censitários das taxas de mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares, para suavizar a flutuação associada às pequenas áreas foi usando o método denominado método bayesiano empírico local. Em seguida, foi empregada a estimativa de Kernel, com raio de 1000 metros para interpolação dos desfechos, essa técnica gera uma superfície de densidade para a identificação visual de “áreas quentes”. Entende-se a ocorrência de uma área quente como uma concentração de eventos que indica de alguma forma a aglomeração em uma distribuição espacial. A construção dos GIS foi realizada em plataforma de TerraView 3.6.0.

4.3 – Aspectos Éticos

O projeto de pesquisa foi apresentado e aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa (CEP), da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca da Fundação Oswaldo Cruz, conforme Parecer nº 166/10, CAAE nº 0176.0.031.000-10.

V – RESULTADOS

5.1 – Análise descritiva dos dados de saúde

Em Volta Redonda foram registrados 8.540 óbitos, no período de 1.826 dias estudados, sendo 1.058 (12,39%) óbitos por doenças do sistema respiratório e 2.566 (30,05%) por doenças do sistema cardiovascular, em pessoas residentes no município, entre primeiro de janeiro de 2002 e 31 de dezembro de 2006. Entre os óbitos por doenças respiratórias, 788 (74,48%) ocorreram em idosos com 65 anos ou mais de idade, enquanto que para os óbitos por doenças cardiovasculares, 1.592 (62,04%) foram em idosos. A Tabela 1 mostra a distribuição anual desses óbitos para o período.

Tabela 1: Número de óbitos por todas as causas e por doenças do sistema respiratório e cardiovascular, por ano, de residentes do município de Volta Redonda, RJ, no período de 2002 a 2006.

Desfecho	Ano					Total
	2002	2003	2004	2005	2006	
Total de Óbitos por todas as causas	1.666	1.680	1.755	1.687	1.752	8.540
Óbitos respiratórios	196	213	231	202	216	1.058
Óbitos respiratórios em idosos	146	158	169	142	173	788
Óbitos cardiovasculares	519	571	520	478	478	2.566
Óbitos cardiovasculares em idosos	303	357	326	302	304	1.592

O número total de óbitos por doenças respiratórias na população variou, diariamente, entre zero e quatro. Após estratificação por sexo, tanto para o total de óbitos quanto para os ocorridos entre os idosos, essa variação ficou entre zero e três óbitos (Tabela 2). Com relação ao número total de óbitos cardiovasculares e os ocorridos nos idosos residentes a variação diária foi de zero a sete (Tabela 2).

Tabela 2: Análise descritiva da contagem diária dos óbitos por doenças do sistema respiratório (CID10: J00-99) e cardiovascular (CID10: I00-99) em Volta Redonda, RJ, Brasil, 2002 a 2006.

Variáveis	Descritores							
	N	%	Dias	NA ¹	Média	DP ²	Mínimo	Máximo
Total de Óbitos respiratórios	1.058	100	1.826	0	0,58	0,75	0	4
Óbitos respiratórios masculinos	546	51,61	1.826	0	0,30	0,54	0	3
Óbitos respiratórios femininos	512	48,39	1.826	0	0,28	0,51	0	3
Óbitos respiratórios em idosos	788	74,48	1.826	0	0,43	0,66	0	4
Óbitos respiratórios masculinos em idosos	388	36,67	1.826	0	0,21	0,46	0	3
Óbitos respiratórios femininos em idosos	400	37,81	1.826	0	0,22	0,45	0	3
Total de Óbitos cardiovasculares	2.566	100	1.826	0	1,40	1,16	0	7
Óbitos cardiovasculares em idosos	1.592	62,04	1.826	0	0,87	0,93	0	7

¹Not Avaliable; ²Desvio Padrão.

As Figuras 1 e 2 descrevem, respectivamente, o número diário observado e suavizado de óbitos, cujas causas básicas foram doenças do sistema respiratório no total da população e em idosos. A curva suavizada pela *spline* não indica tendência de longo prazo. Entretanto, podemos observar um padrão de sazonalidade semelhante em ambos os gráficos.

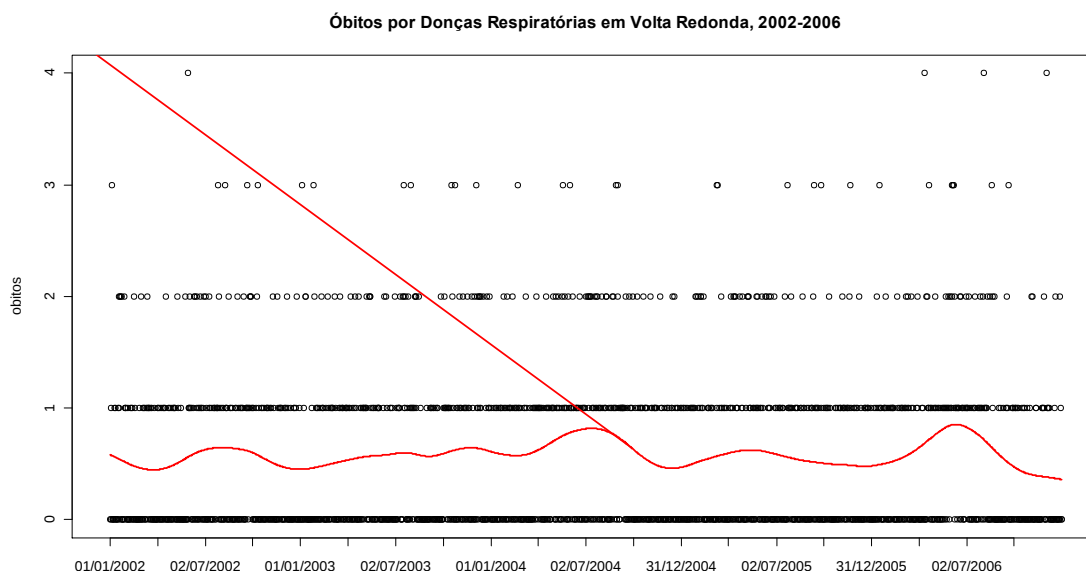


Figura 1: Distribuição diária de óbitos por doenças do sistema respiratório e curva de suavização em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

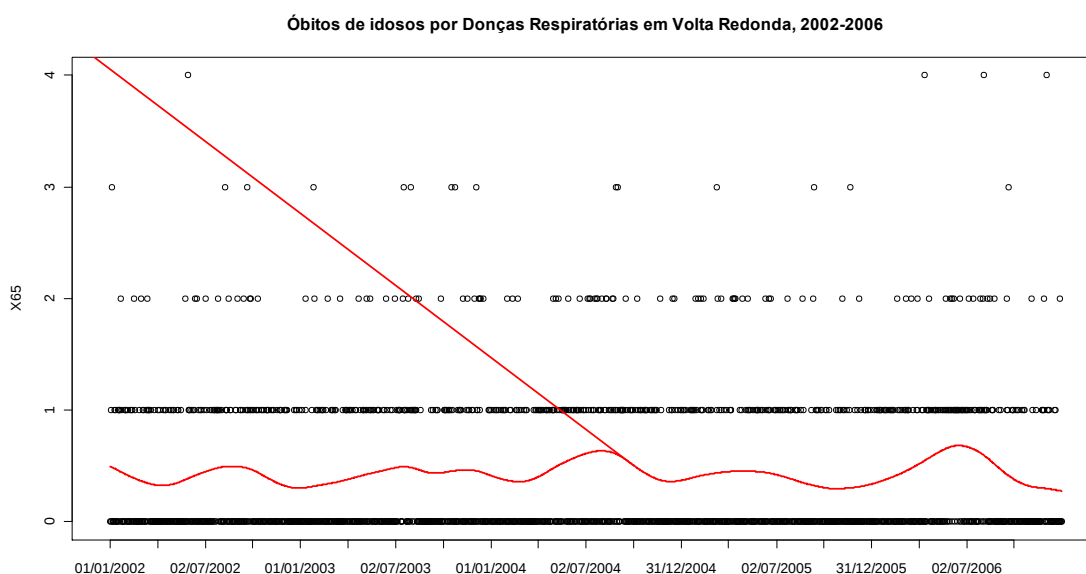


Figura 2: Distribuição diária de óbitos de idosos por doenças do sistema respiratório e curva de suavização em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Nos gráficos da Figura 3 pode observar-se uma semelhança no padrão sazonal entre o total de óbitos masculinos em relação aos ocorridos nos homens idosos, o mesmo ocorre no sexo feminino, contudo há um pequeno deslocamento das curvas para a direita nos óbitos masculinos.

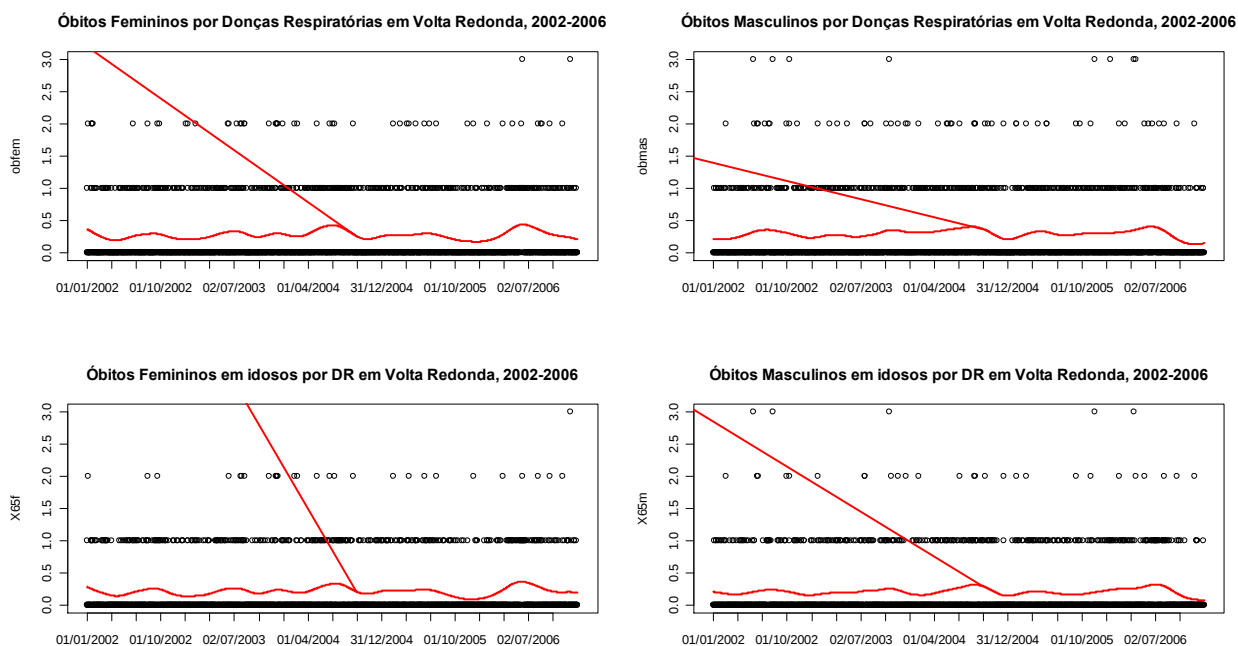


Figura 3: Distribuição diária do total de óbitos e dos óbitos de idosos por doenças do sistema respiratório e curva de suavização, estratificada por sexo, em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Durante o período estudado foram registradas 73.536 internações, sendo 7.976 (10,85%) por doenças do sistema respiratório, das quais 2.251 (28,22%) foram de idosos e 1.414 (17,73%) de crianças menores de cinco anos de idade. As doenças do sistema cardiovascular representaram 10.043 (13,66%) do total das internações, onde 3.506 (34,91%) foram de idosos. A Tabela 3 mostra a distribuição anual dessas internações para o período.

A média diária de internações por doenças respiratórias na população residente foi de $4,29 \pm 2,48$, com variação entre zero e 15. Entre os idosos e crianças a média foi respectivamente de $1,23 \pm 1,20$ e $0,77 \pm 1,00$, apresentando uma variação diária nas internações de zero a oito entre os idosos e de zero a seis entre as crianças (Tabela 4). Para as internações por doenças cardiovasculares, tanto para o total quanto para as ocorridas entre os idosos, as médias foram respectivamente de $5,50 \pm 3,35$ e $1,92 \pm 1,51$, com variação entre zero e 24 internações e entre zero e 10 internações nos idosos (Tabela 4).

Tabela 3: Número total de internações e por doenças do sistema respiratório e cardiovascular, por ano, de residentes do município de Volta Redonda, RJ, no período de 2002 a 2006.

Desfecho	Ano					Total
	2002	2003	2004	2005	2006	
Total de Internações por todas as causas	14.751	14.330	15.314	14.237	14.904	73.536
Total de Internações por doenças respiratórias	1.670*	1.516*	1.638*	1.537*	1.615*	7.976*
	1.660	1.506	1.652	1.441	1.572	7.831
Internações por doenças respiratórias em idosos	462	415	487	423	464	2.251
Internações por doenças respiratórias em crianças	314	280	284	237	299	1.414
Total de Internações por doenças cardiovasculares	2.076*	1.997*	2.206*	2.019*	2.226*	10.524*
	1.984	1.923	2.146	1.846	2.144	10.043
Internações por doenças cardiovasculares em idosos	661	661	730	669	785	3506

* Dados de internação atualizados pelo DATASUS em 01/02/2011.

Tabela 4: Análise descritiva da contagem diária das internações por doenças do sistema respiratório (CID10: J00-99) e cardiovascular (CID10: I00-99) em Volta Redonda, RJ, Brasil, 2002 a 2006.

Variáveis	Descritores							
	N	%	Dias	NA ¹	Média	DP ²	Mínimo	Máximo
Total de Internações por doenças respiratórias	7.831	100	1.826	0	4,29	2,48	0	15
Internações por doenças respiratórias em idosos	2.251	28,22	1.826	0	1,23	1,20	0	8
Internações por doenças respiratórias em crianças	1.414	17,73	1.826	0	0,77	1,00	0	6
Total de Internações por doenças cardiovasculares	10.043	100	1.826	0	5,50	3,35	0	24
Internações por doenças cardiovasculares em idosos	3.506	34,91	1.826	0	1,92	1,51	0	10

¹Not Available; ²Desvio Padrão

Os gráficos das Figuras 4, 5 e 6 descrevem, respectivamente, o número diário observado e suavizado de internações cuja causa básica foram doenças do sistema respiratório na população total residente em Volta Redonda, idosos e crianças menores de cinco anos de idade. A curva suavizada pela *spline* não indica tendência de longo prazo. Entretanto, pode-se observar um padrão de sazonalidade semelhante entre os gráficos, porém mais suave entre os idosos e bem marcada entre as crianças, nestas apresentando o maior volume de ocorrências nos períodos iniciais de inverno.

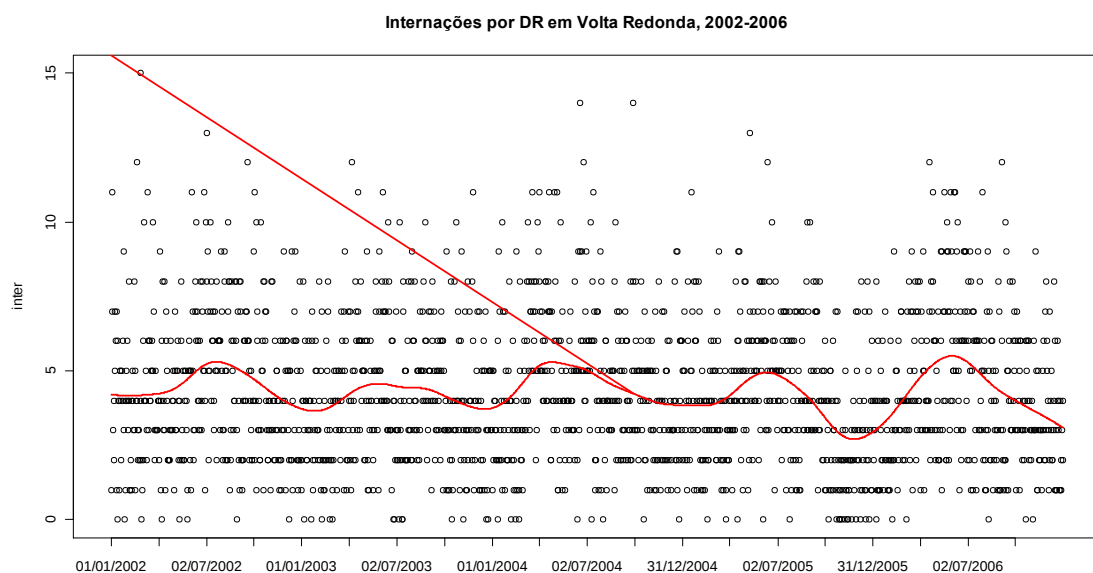


Figura 4: Distribuição diária de internações por doenças do sistema respiratório e curva de suavização em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

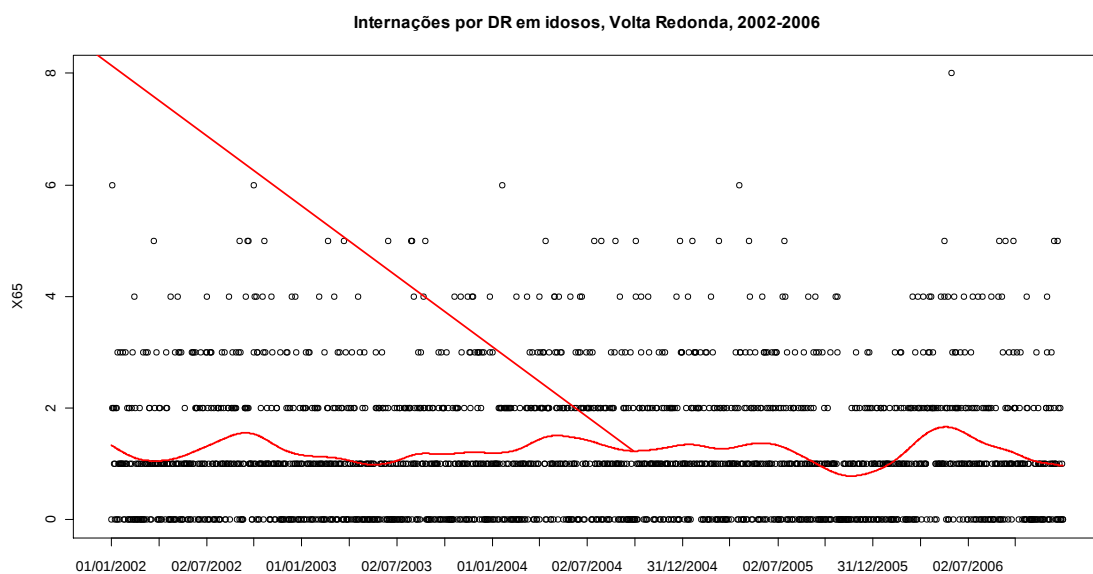


Figura 5: Distribuição diária de internações de idosos por doenças do sistema respiratório e curva de suavização em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

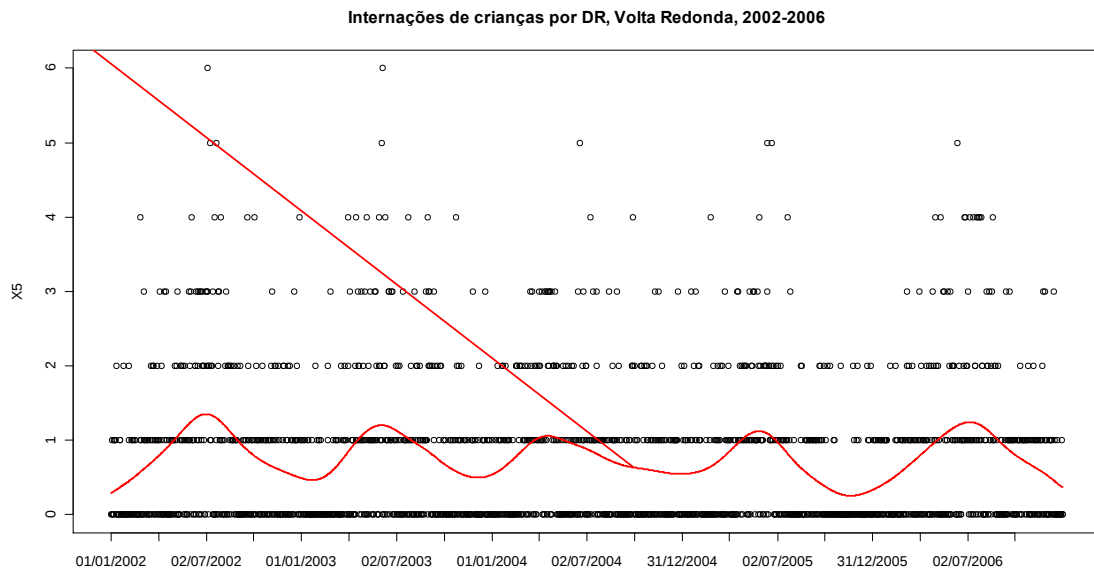


Figura 6: Distribuição diária de internações de crianças por doenças do sistema respiratórias e curva de suavização em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Os gráficos das Figuras 7 e 8 descrevem, respectivamente, o número diário observado e suavizado de internações por doenças do sistema cardiovascular na população total residente e em idosos com 65 anos ou mais de idade em Volta Redonda. Os gráficos apresentam o maior volume de ocorrências nos períodos de inverno e a curva suavizada pela *spline* não indica tendência de longo prazo. Pode-se observar um padrão de sazonalidade semelhante em ambos os gráficos, porém discreto entre os idosos.

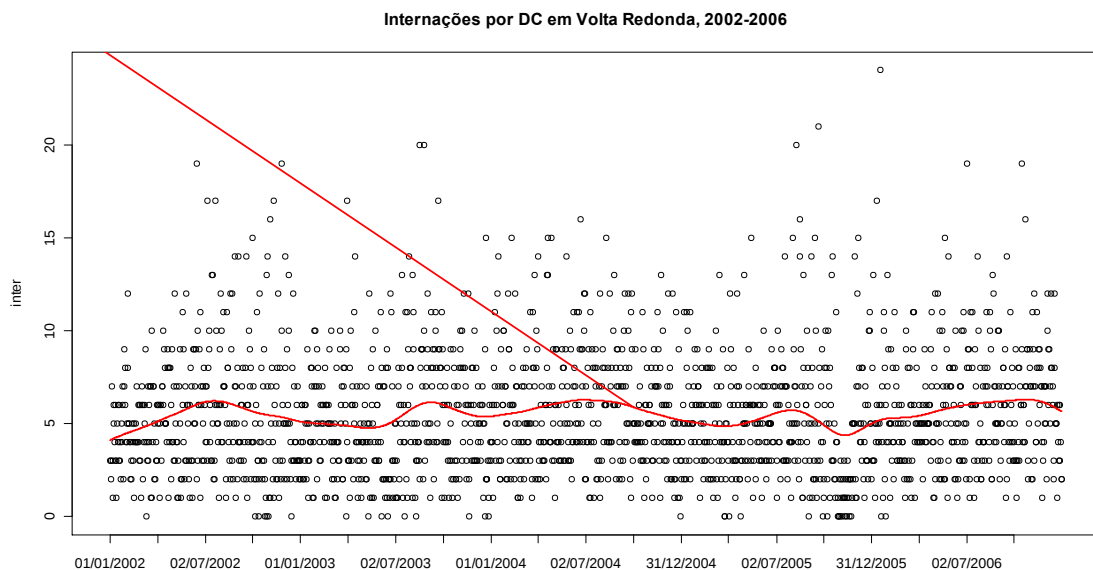


Figura 7: Distribuição diária de internações por doenças do sistema cardiovascular e curva de suavização em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006

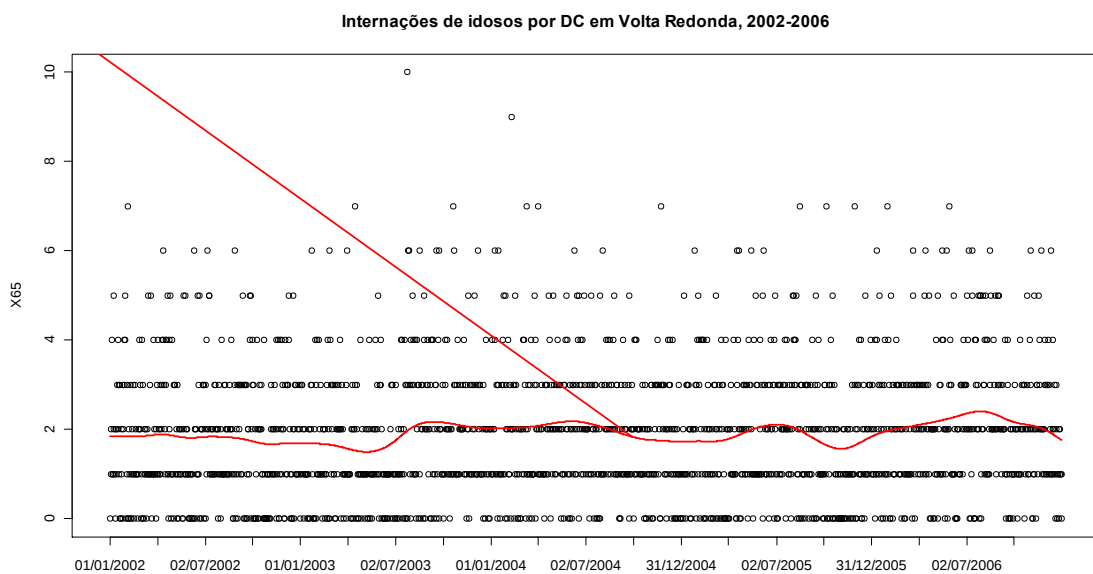


Figura 8: Distribuição diária de internações de idosos por doenças do sistema cardiovascular e curva de suavização em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

5.2- Análise descritiva dos dados ambientais

No período de estudo, 75% das concentrações médias de emissões diárias de PM₁₀, SO₂ e O₃ mensuradas mantiveram-se, respectivamente, abaixo de 35,95µg/m³, 11,47µg/m³ e 75,72µg/m³; a maior concentração média para cada poluente foi de 122,70µg/m³, 56,50µg/m³ e 171,70µg/m³ (Tabela 5). O PM₁₀ apresentou média anual de 30,56 ± 12,16µg/m³, abaixo dos padrões brasileiros de emissão anuais de 50µg/m³ estabelecidos pelo CONAMA, através da Resolução número 003/1990. A curva de suavização da distribuição temporal de PM₁₀ apresentou um padrão sazonal com aumento dos níveis diários de emissão no período de inverno e diminuição no verão, tendência decrescente na maior parte do período e constante ao final (Figura 9); padrão semelhante, com menor variação, foi observado para o SO₂ (Figura 10). O O₃ apresentou comportamento errático, estabilidade quanto a sazonalidade e tendência do início do estudo até setembro de 2004, tendência decrescente até abril de 2005 e tendência crescente a partir deste período (Figura 11). O PM₁₀ e SO₂ não apresentaram violação dos padrões de emissão diários (média de 24 horas) estabelecidos respectivamente em 150µg/m³ e 100µg/m³. O O₃ apresentou três violações do padrão (161,30, 162,10 e 171,70µg/m³), cujo valor estabelecido pelo CONAMA para maior média horária é de 160µg/m³.

As médias da umidade relativa do ar e da temperatura mínima foram, respectivamente, 81,05 ± 8,76% e 18,39 ± 3,26°C (Tabela 5).

Tabela 5: Análise descritiva das aferições diárias de PM₁₀, SO₂, O₃ e dos fatores climáticos em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, no período de 2002 a 2006.

Variáveis	Descritores									
	N	Missing	Dias	Média	DP ¹	Mínimo	Máximo	P25	P50	P75
PM ₁₀ (µg/m ³)	1.807	19	1.826	30,56	12,16	7,58	122,70	22,56	27,77	35,95
SO ₂ (µg/m ³)	1.794	32	1.826	9,04	5,11	0,00	56,50	5,50	7,95	11,47
O ₃ (µg/m ³)	1.790	36	1.826	59,16	25,45	6,55	171,70	40,69	57,42	75,72
U.R. (%)	1.763	63	1.826	81,05	8,76	51,04	99,60	74,40	82,20	88,90
Temperatura Mínima (°C)	1.790	36	1.826	18,39	3,26	7,37	25,45	16,20	18,87	21,03

¹Desvio Padrão

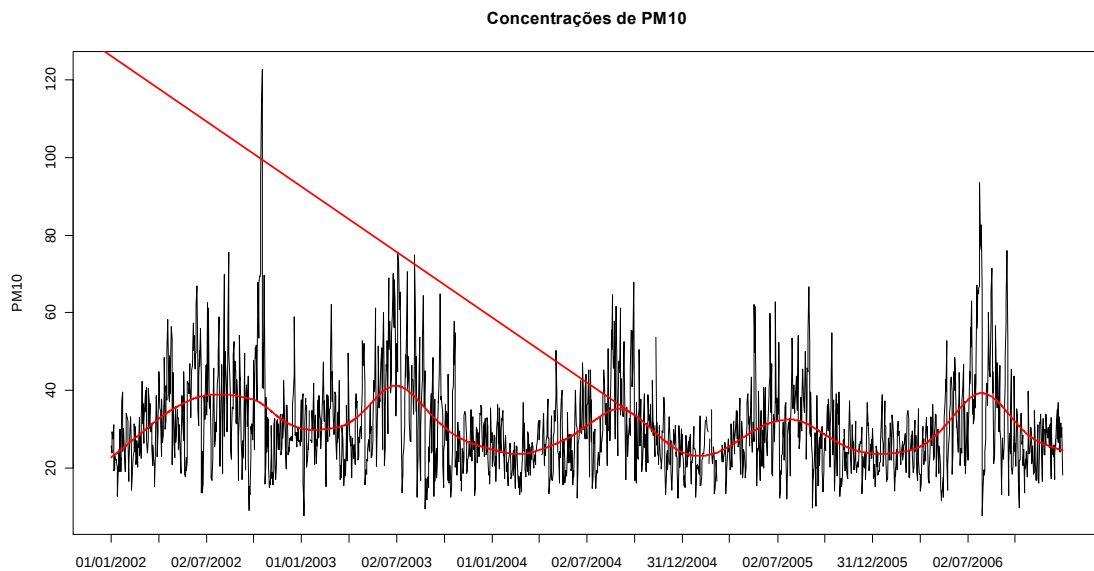


Figura 9: Distribuição temporal diária e curva de suavização de PM₁₀ em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

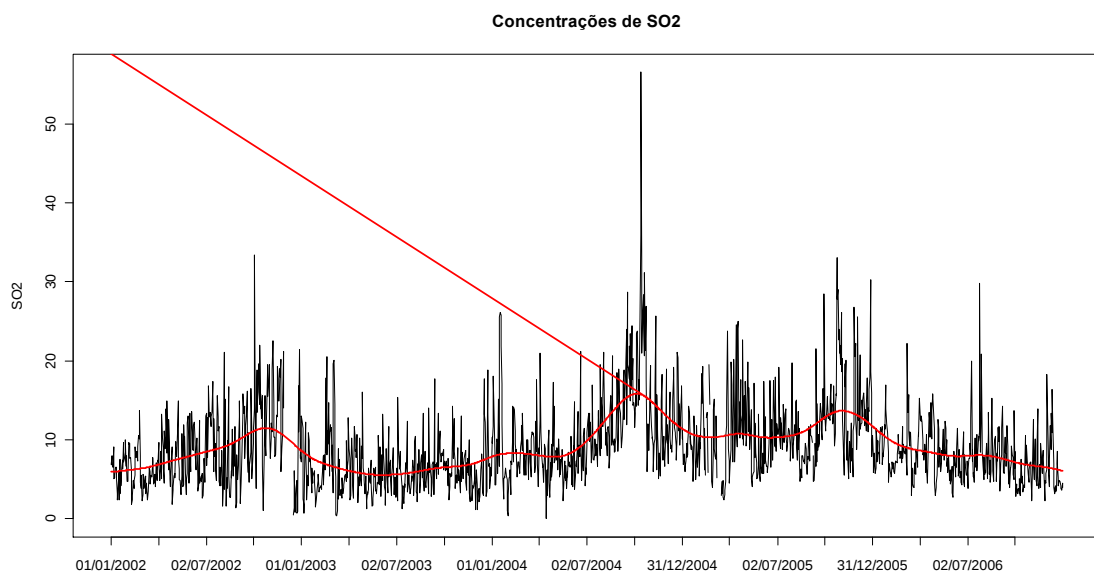


Figura 10: Distribuição temporal diária e curva de suavização de SO₂ em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

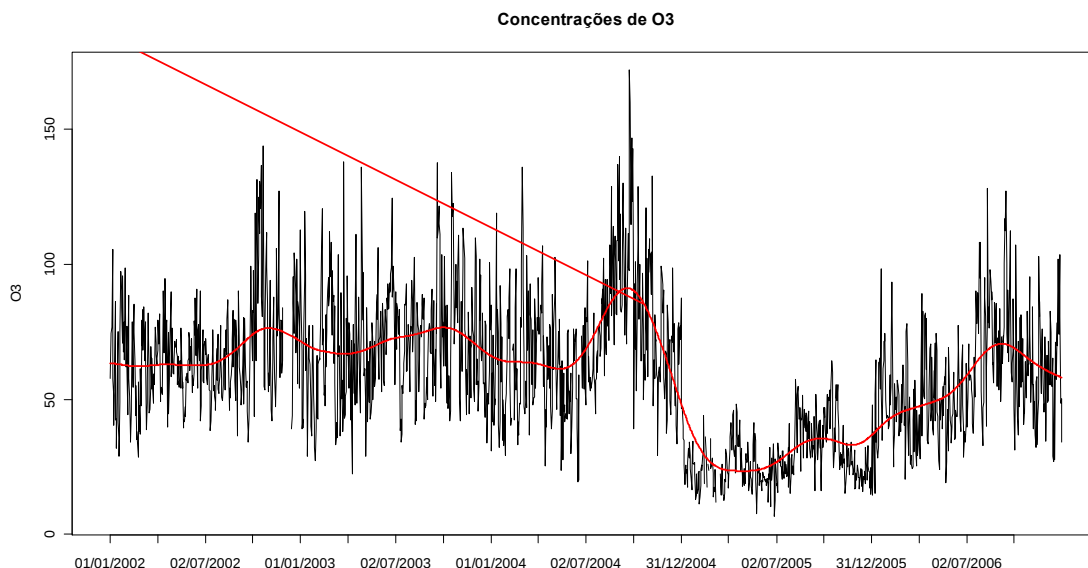


Figura 11: Distribuição temporal diária e curva de suavização de O₃ em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

5.3 – Análise de Correlação de Pearson

Os valores encontrados para o coeficiente de correlação simples entre os desfechos de saúde e as variáveis climáticas e poluentes atmosféricos avaliados encontram-se apresentados no Quadro 2. Quanto à significância estatística, ao grau de 20% de confiabilidade, pode-se observar para as variáveis climáticas uma correlação negativa entre a temperatura mínima e todos os desfechos de saúde, para a U.R. essa correlação apresentou-se positiva aos óbitos respiratórios e negativa aos óbitos cardiovasculares. O PM₁₀ apresentou correlação positiva e significativa para maioria dos desfechos de saúde, enquanto que o SO₂ apresentou correlação negativa e apenas para os óbitos do total da população feminina e em idosas por doenças respiratórias e nas internações pela mesma causa em crianças menores de cinco anos. O O₃ apresentou correlação com o total de internações por doenças cardiovasculares.

Quadro 2: Correlação de Pearson para *lag* zero entre os desfechos de saúde e as variáveis ambientais, Volta Redonda, RJ, 2002 a 2006.

Saúde \ Ambiental	PM₁₀ (µg/m³)	SO₂ (µg/m³)	O₃ (µg/m³)	U.R. (%)	Temperatura Mínima (°C)
Total de Óbitos respiratórios	0.018	-0.027	0.010	0.029	-0.053*
Óbitos respiratórios masculinos	0.005	0.016	0.008	-0.017	-0.043*
Óbitos respiratórios femininos	0.021	-0.056*	0.006	0.060*	-0.032*
Óbitos respiratórios em idosos	0.018	-0.027	0.010	0.029	-0.053*
Óbitos respiratórios masculinos em idosos	0.017	-0.000	0.042	0.012	-0.038*
Óbitos respiratórios femininos em idosos	0.041*	-0.040*	0.010	0.063*	-0.039*
Total de Óbitos cardiovasculares	0.041*	-0.014	0.001	-0.041*	-0.041*
Óbitos cardiovasculares em idosos	0.033*	-0.027	-0.006	-0.063*	-0.063*
Total de Internações por doenças respiratórias	0.114*	-0.010	0.012	-0.013	-0.123*
Internações por doenças respiratórias em idosos	0.061*	-0.003	0.014	-0.016	-0.062*
Internações por doenças respiratórias em crianças	0.105*	-0.034*	0.000	0.033*	-0.119*
Total de Internações por doenças cardiovasculares	0.034*	0.014	0.039*	0.024	-0.069*
Internações por doenças cardiovasculares em idosos	0.053*	-0.024	0.009	0.022	-0.068*

* P-valor ≤ 20%

5.4 – Análise de regressão

Após o ajuste pelos fatores de confusão (dias da semana, sazonalidade e a tendência de longa duração, feriados nacionais e municipais, temperatura e umidade), as variáveis de concentrações diárias dos poluentes foram introduzidas no modelo uma por vez, assim como as defasagens.

5.4.1 – Total de óbitos por doenças respiratórias e estratificados por sexo

Na análise da série do total de óbitos por doenças do sistema respiratório, não foi encontrada associação significativa com os poluentes analisados, como mostram as Figuras 12, 13 e 14 e as Tabelas 6, 7 e 8 (em anexo). No entanto, considerando todas as idades, quando estratificados por sexo, a exposição ao PM_{10} se mostrou associada a um aumento de 8,25% (IC 95%: 0,86 - 16,18%; p-valor = 0,03) e o SO_2 de 20,53% (IC 95%: 2,97 - 41,09%; p-valor = 0,02) dos óbitos em homens com uma defasagem de nove e 10 dias a exposição, respectivamente (Figuras 16 e 17 e Tabelas 9 e 10). A ausência de associação manteve-se para exposição dos óbitos masculinos ao O_3 (Figura 18 e Tabela 11). No risco de óbitos por doenças respiratórias no total da população feminina, exposta ao PM_{10} , nos três primeiros dias após a exposição pode-se esperar, respectivamente, um aumento de 9,49% (IC 95%: 1,45 - 18,15%; p-valor = 0,02), 8,30% (IC 95%: 0,65 - 16,95%; p-valor = 0,03) e 8,62% (IC 95%: 1,72 - 17,60; p-valor = 0,01) (Figura 20 e Tabela 12). Nas mulheres expostas ao SO_2 e O_3 , o risco relativo não foi estatisticamente significativo (Figuras 21 e 22 e Tabelas 13 e 14).

O diagnóstico dos modelos estão apresentados nas Figuras 15, 19 e 23. Os gráficos de valores previstos indicam que os modelos reproduzem a tendência e a sazonalidade da série. Os gráficos dos resíduos ao longo do tempo sugerem um bom controle da sazonalidade e não indicam a ocorrência de valores *outliers*. Os gráficos da distância de Cook também não indicam a ocorrência de *outliers*. Os gráficos da função de autocorrelação parcial não indicam sazonalidade ou autocorrelação não controlada, apesar do valor observado para uma defasagem de dois e 25 dias (Figura 19) e nove dias (Figura 23), sendo provável que estas sejam espúrias.

Os periodogramas dos resíduos indicam que as variações cíclicas das séries estão devidamente controladas. Os gráficos de normalidade dos resíduos não mostram afastamento acentuado dos quantis dos resíduos em relação aos quantis da distribuição

normal, embora apresente desvios maiores para valores de resíduos iniciais e mais altos (Figura 15 e 19), sendo mais acentuado o desvio de resíduos mais altos na série de óbitos em mulheres (Figura 23).

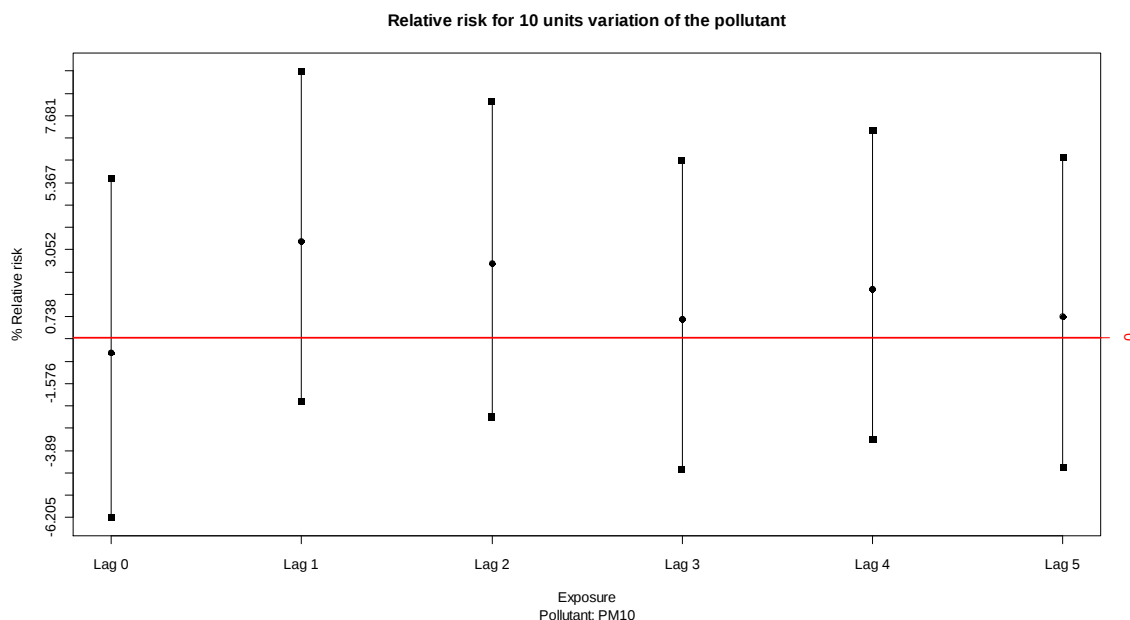


Figura 12: Percentual do risco relativo para o total de óbitos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

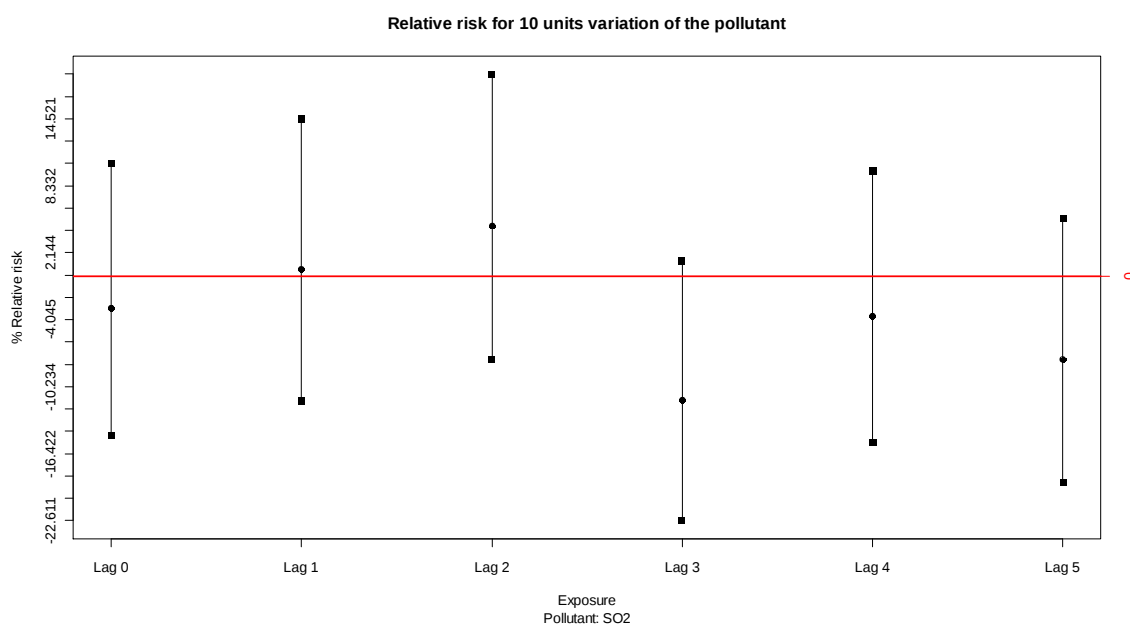


Figura 13: Percentual do risco relativo para o total de óbitos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

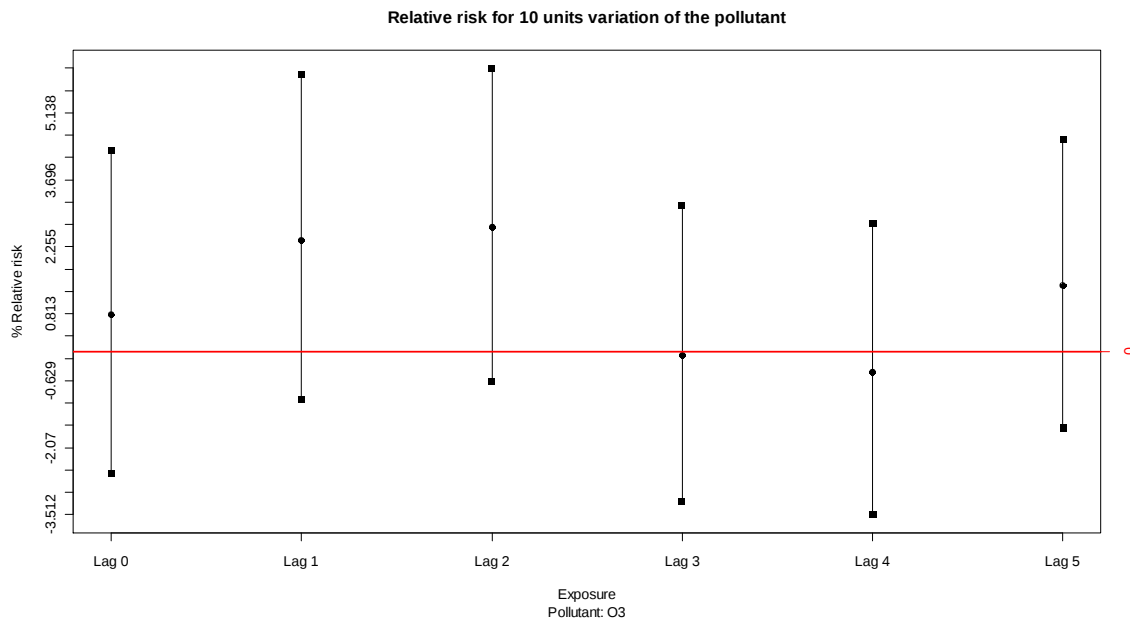


Figura 14: Percentual do risco relativo para o total de óbitos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

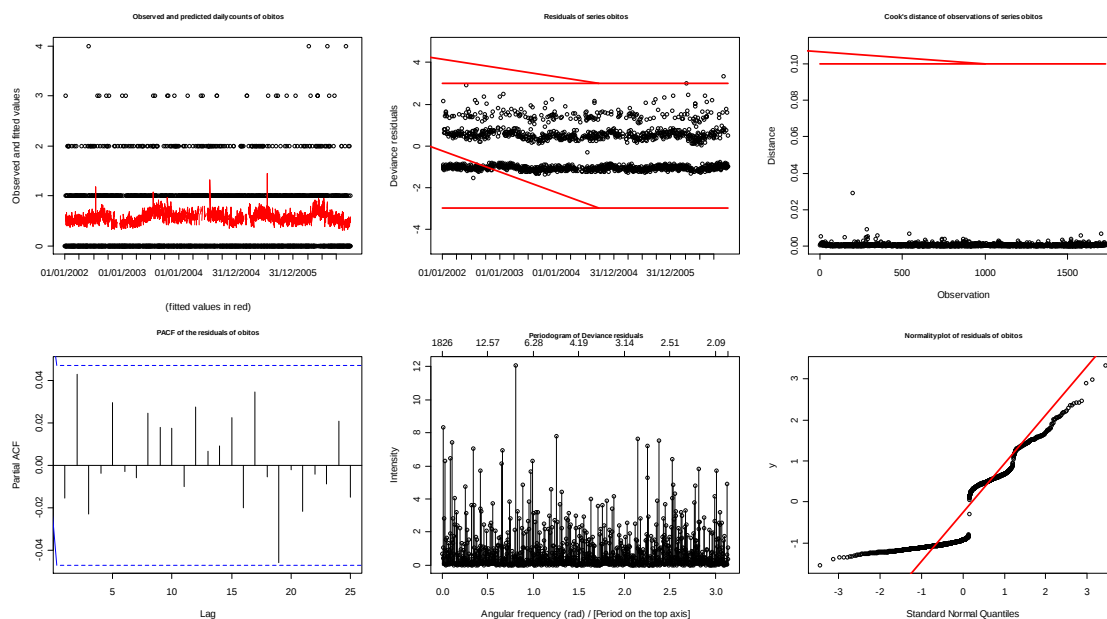


Figura 15: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e total de óbitos por doenças do sistema respiratório - valores previstos, resíduos contra o tempo, distância de *Cook*, função de correlação parcial, periodograma dos resíduos e de quantis dos resíduos contra quantis da distribuição normal.

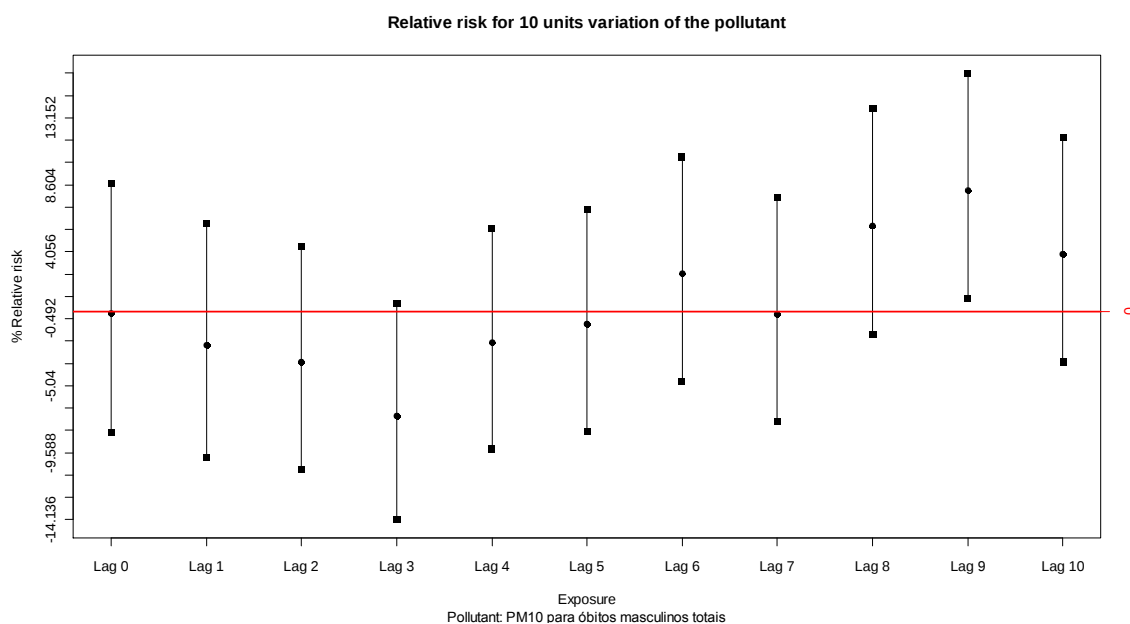


Figura 16: Percentual do risco relativo para o total de óbitos em homens por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

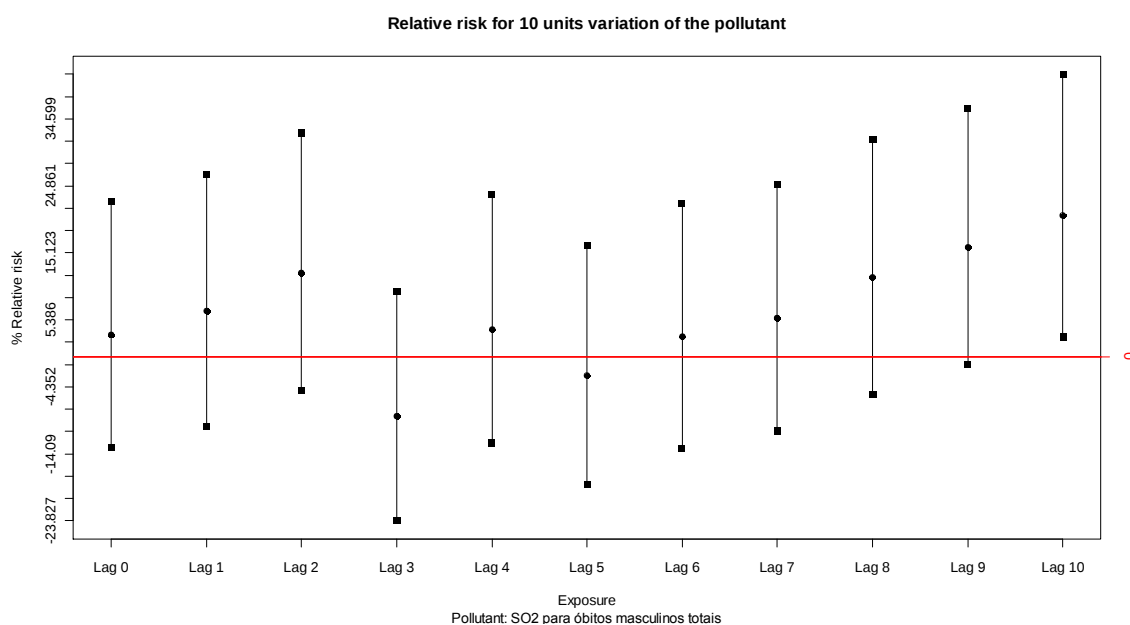


Figura 17: Percentual do risco relativo para o total de óbitos em homens por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

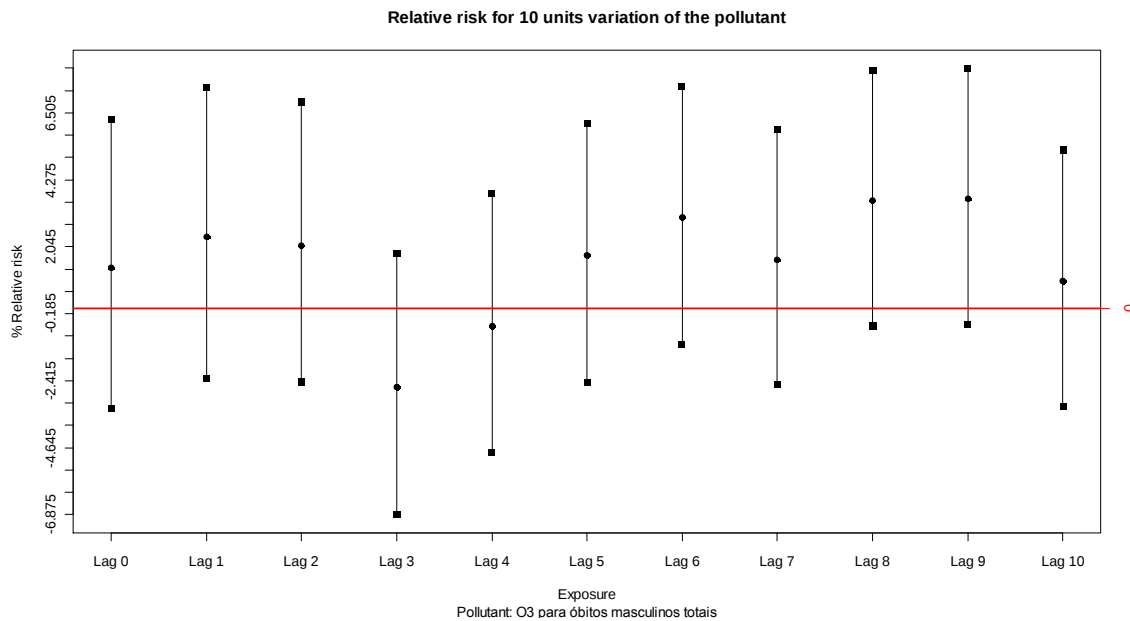


Figura 18: Percentual do risco relativo para o total de óbitos em homens por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

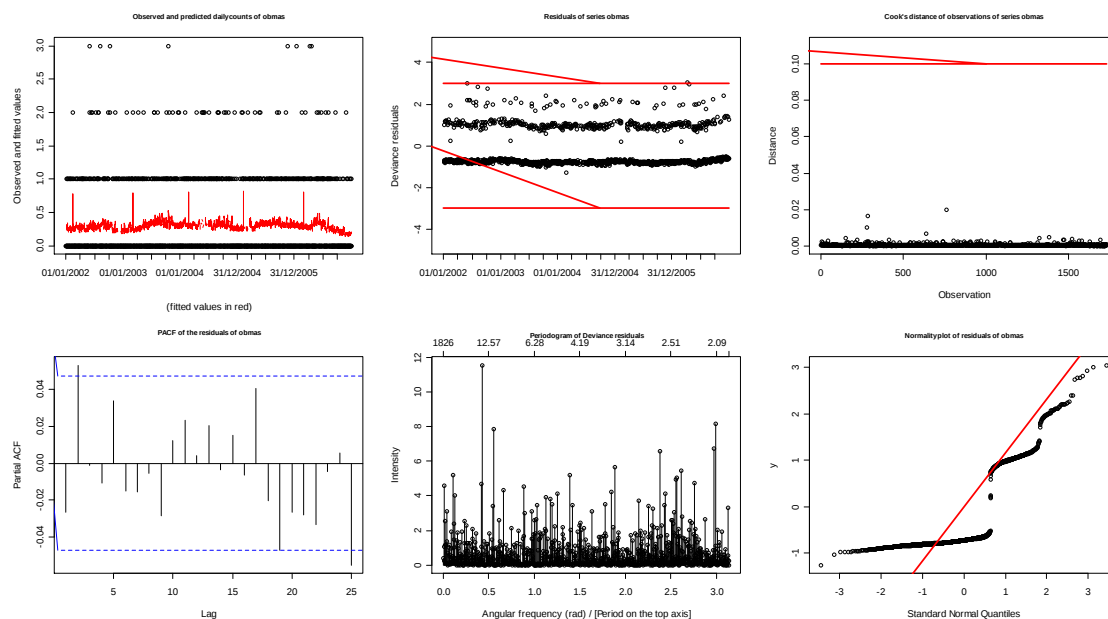


Figura 19: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de óbitos em homens por doenças do sistema respiratório - valores previstos, resíduos contra o tempo, distância de *Cook*, função de correlação parcial, periodograma dos resíduos e de quantis dos resíduos contra quantis da distribuição normal.

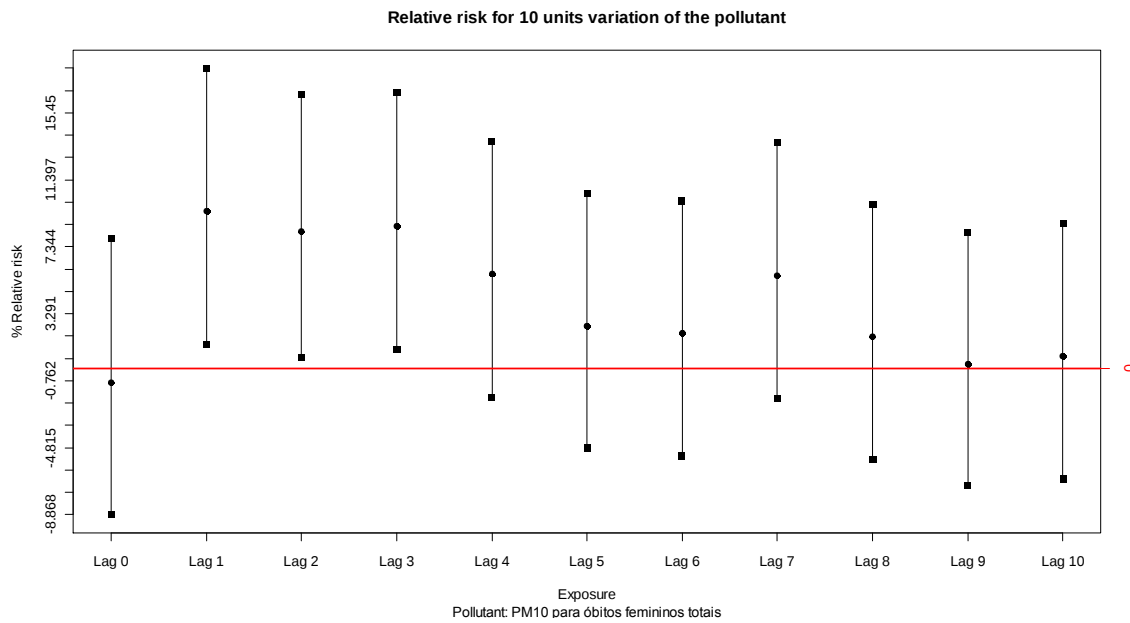


Figura 20: Percentual do risco relativo para o total de óbitos em mulheres por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

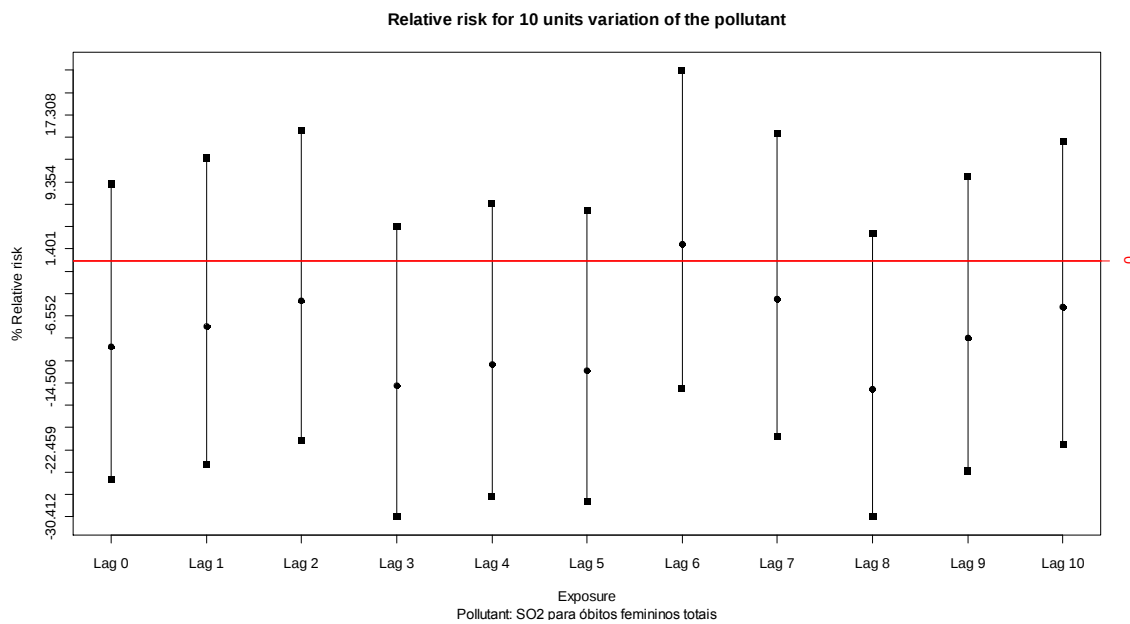


Figura 21: Percentual do risco relativo para o total de óbitos em mulheres por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre particulado (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

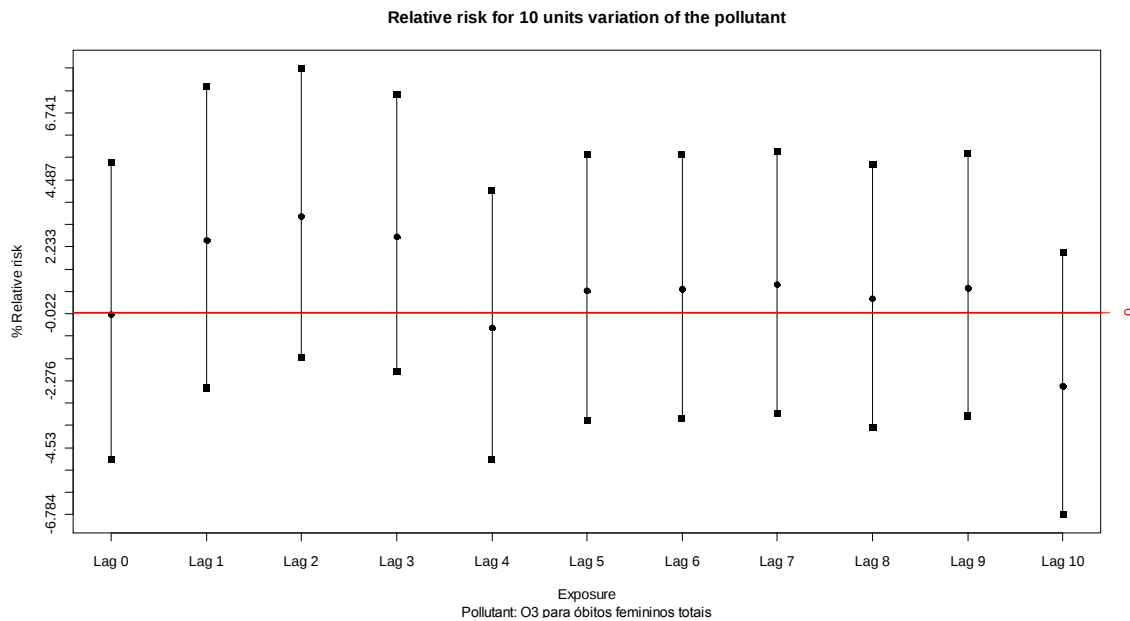


Figura 22: Percentual do risco relativo para o total de óbitos em mulheres por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

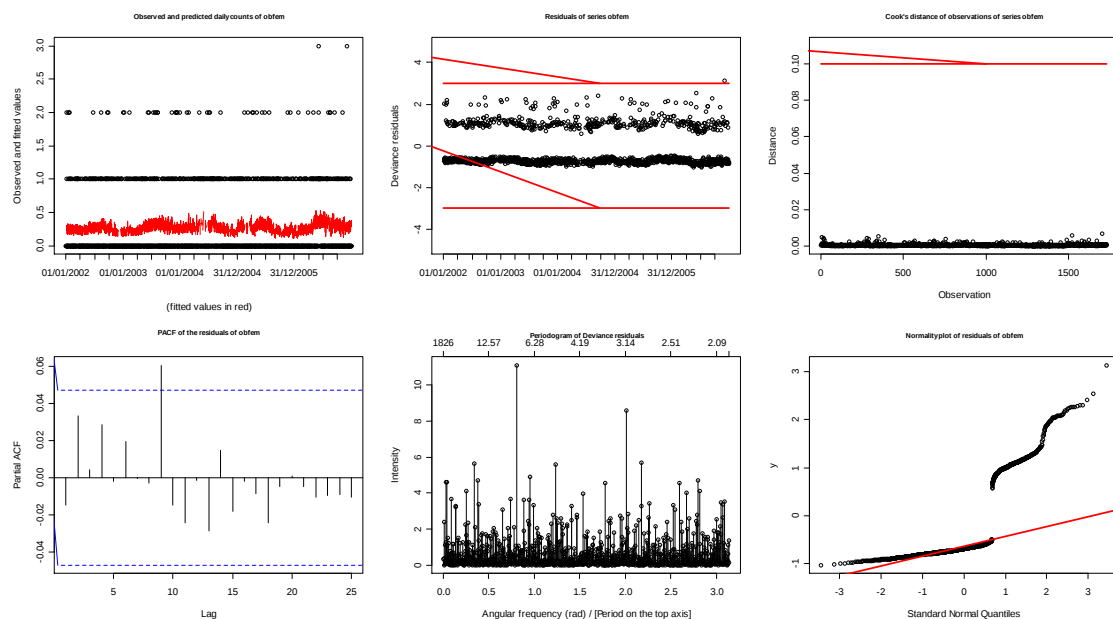


Figura 23: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de óbitos em mulheres por doenças do sistema respiratório - valores previstos, resíduos contra o tempo, distância de *Cook*, função de correlação parcial, periodograma dos resíduos e de quantis dos resíduos contra quantis da distribuição normal.

5.4.2 – Total de óbitos de idosos por doenças respiratórias e estratificados por sexo

Ao analisar a associação entre a série temporal dos óbitos respiratórios na população com 65 anos ou mais de idade e a concentração de PM_{10} , SO_2 e O_3 , não foi encontrada associação significativa (Figuras 24, 25 e 26 e Tabelas 15, 16 e 17).

Ao realizar a estratificação por sexo, a série de óbitos de indivíduos com mais de 65 anos, do sexo masculino, cuja causa básica foi doença respiratória, apresentou uma associação significativa à exposição a PM_{10} , o aumento do risco foi respectivamente de 9,53% (IC 95%: 1,10 - 18,67%; p-valor = 0,03) e 9,06% (IC 95%: 0,56 - 18,28%; p-valor = 0,04) para um tempo de defasagem de nove e 10 dias (Figura 28 e Tabela 18). O aumento do risco para exposição a SO_2 foi de 22,84% (IC 95%: 1,97 - 47,97%; p-valor = 0,03) para um tempo de 10 dias de defasagem a exposição (Figura 29 e Tabela 19). Quanto ao O_3 o aumento do risco foi estimado em 6,21% (IC 95%: 1,25 - 11,41%; p-valor = 0,01) para um tempo de nove dias de defasagem a exposição (Figura 30 e Tabela 20).

A análise da série de óbitos de idosos, do sexo feminino, cuja causa básica foram doenças respiratórias, apresentou uma associação significativa a exposição a PM_{10} , o aumento do risco foi respectivamente de 9,74% (IC 95%: 0,80 - 19,47%; p-valor = 0,03) e 9,91% (IC 95%: 1,48 - 19,04%; p-valor = 0,02) para um tempo de defasagem de um e três dias (Figura 32 e Tabela 21). Para as mulheres idosas expostas ao SO_2 e O_3 , o risco não foi estatisticamente significativo (Figuras 33 e 34 e Tabelas 22 e 23).

O diagnóstico dos modelos está apresentado nas Figuras 27, 31 e 35. Os gráficos de valores previstos indicam que os modelos reproduzem a tendência e sazonalidade da série. Os gráficos dos resíduos ao longo do tempo sugerem um bom controle da sazonalidade e não indicam a ocorrência de valores *outliers*. Os gráficos da distância de Cook também não indicam a ocorrência de *outliers*. Os gráficos da função de autocorrelação parcial não indicam sazonalidade ou autocorrelação não controlada, apesar do valor observado para uma defasagem de 19 e 25 dias (Figura 31) e seis e nove dias (Figura 35), sendo provável que estas sejam espúrias.

Os periodogramas dos resíduos indicam que as variações cíclicas das séries estão devidamente controladas. Os gráficos de normalidade dos resíduos não mostram afastamento acentuado dos quantis dos resíduos em relação aos quantis da distribuição

normal, embora apresentem desvios mais acentuados para valores de resíduos mais baixos na série de total de óbitos de idosos (Figura 27) e nos mais altos na série de óbitos de homens e mulheres idosos (Figuras 31 e 35).

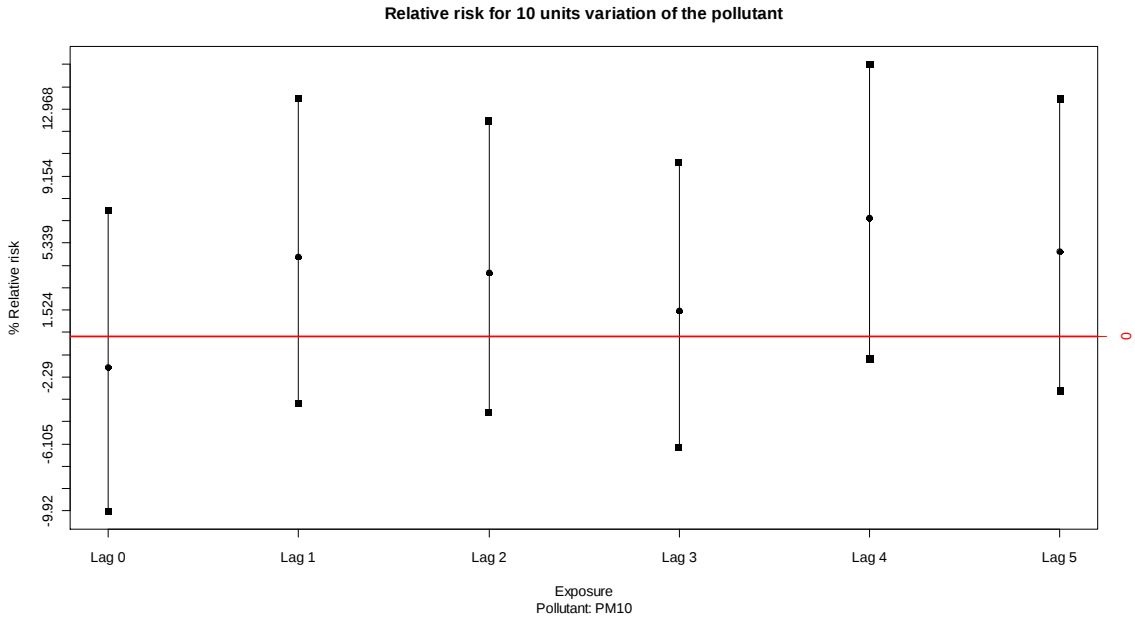


Figura 24: Percentual do risco relativo para o total de óbitos de idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

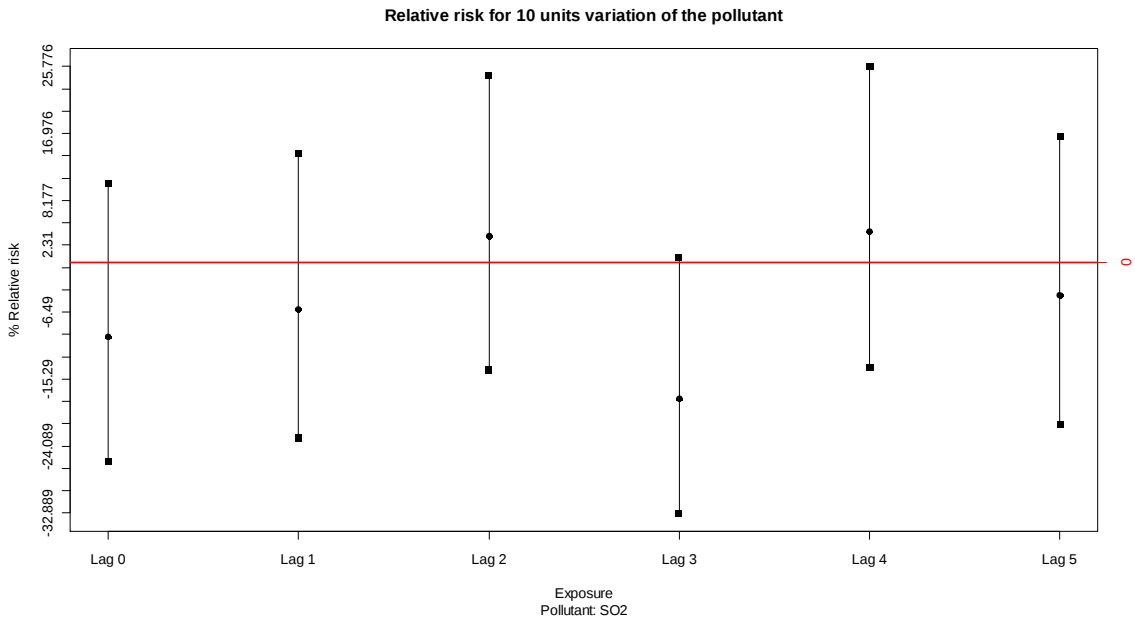


Figura 25: Percentual do risco relativo para o total de óbitos de idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

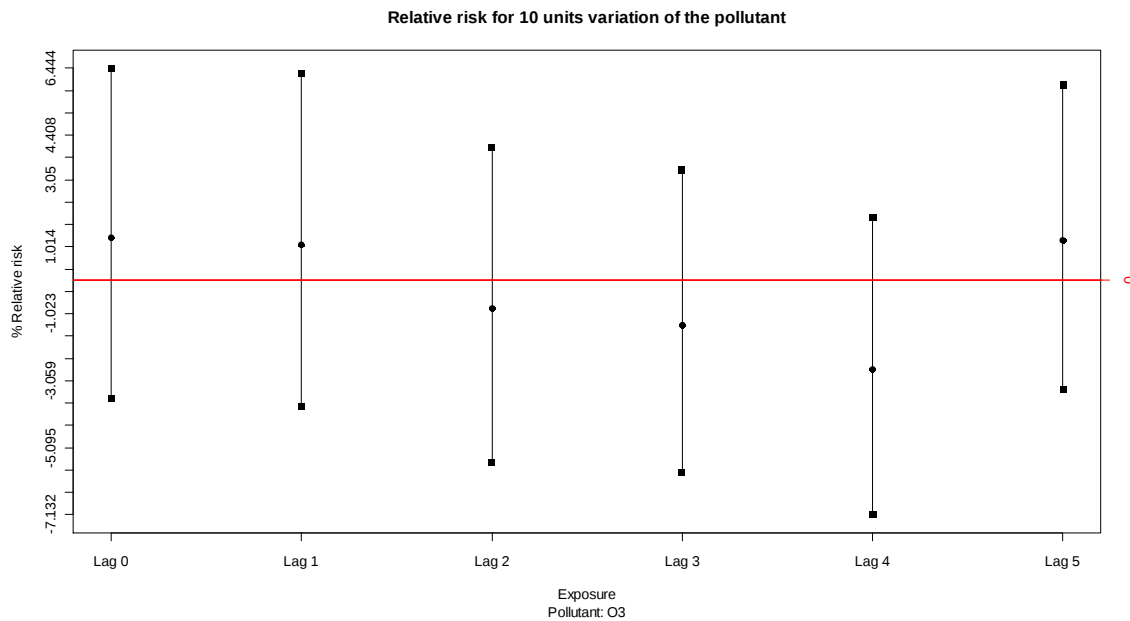


Figura 26: Percentual do risco relativo para o total de óbitos de idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

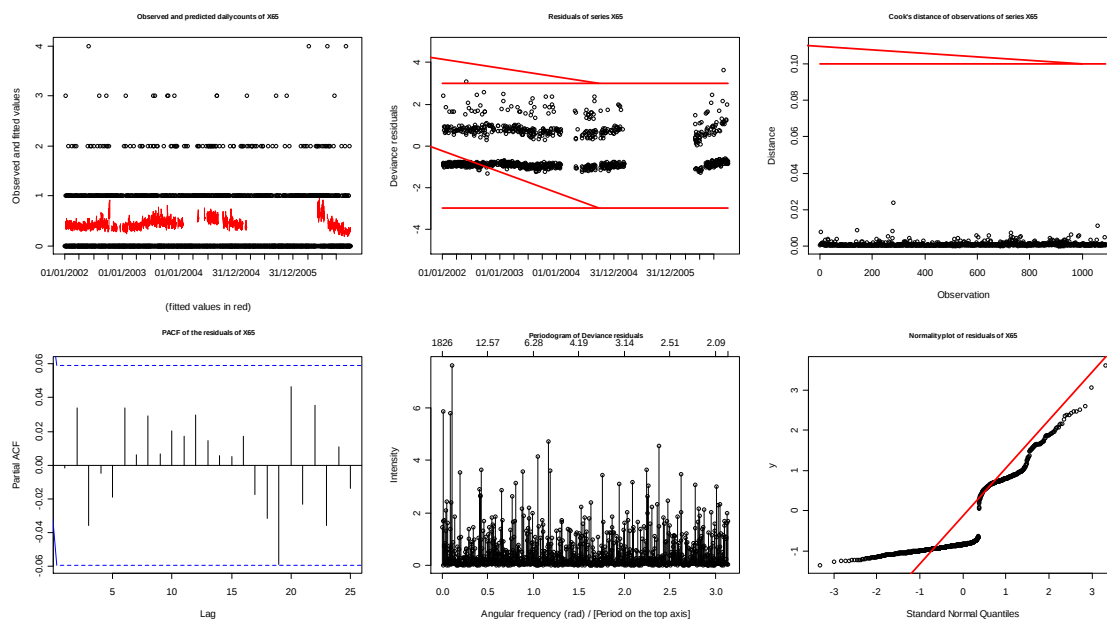


Figura 27: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de óbitos de idosos por doenças do sistema respiratório - valores previstos, resíduos contra o tempo, distância de *Cook*, função de correlação parcial, periodograma dos resíduos e de quantis dos resíduos contra quantis da distribuição normal.

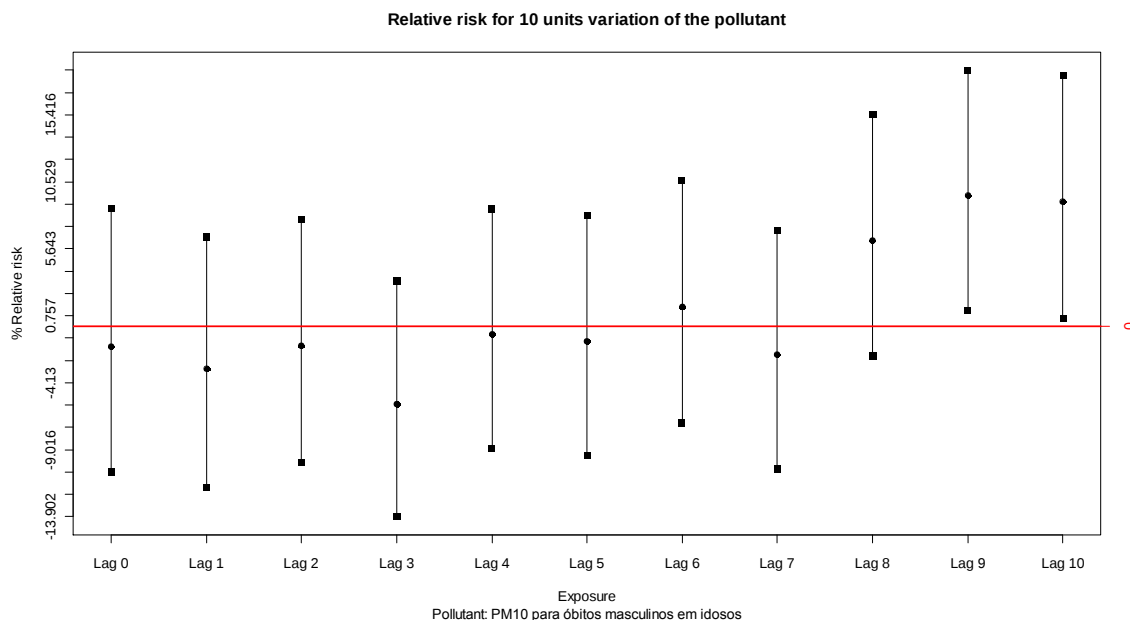


Figura 28: Percentual do risco relativo para o total de óbitos de homens idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

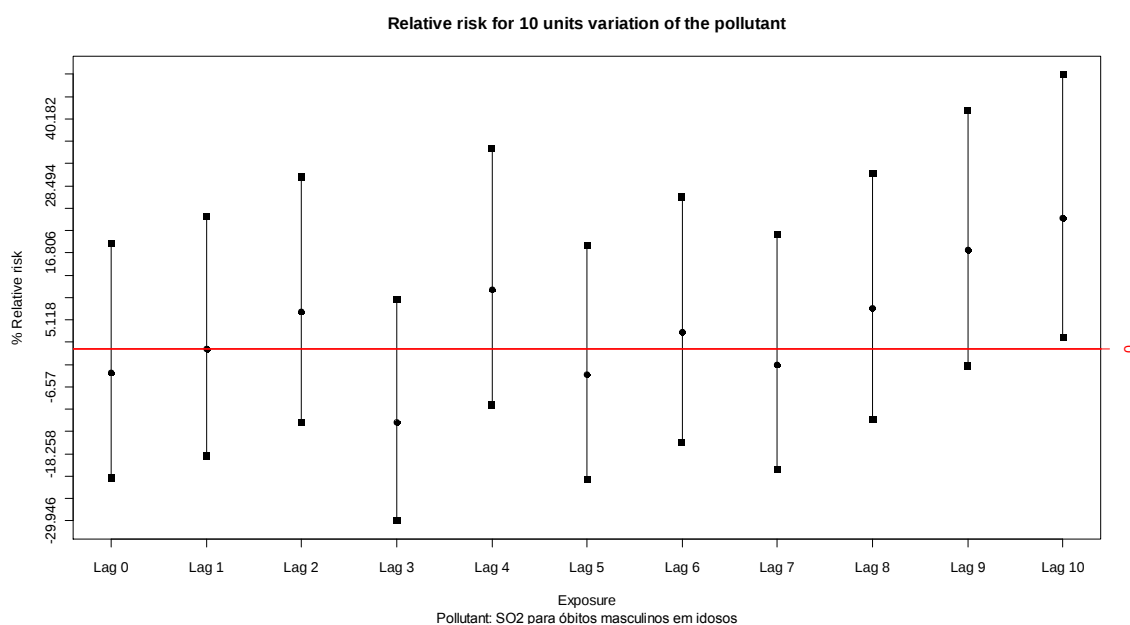


Figura 29: Percentual do risco relativo para o total de óbitos de homens idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

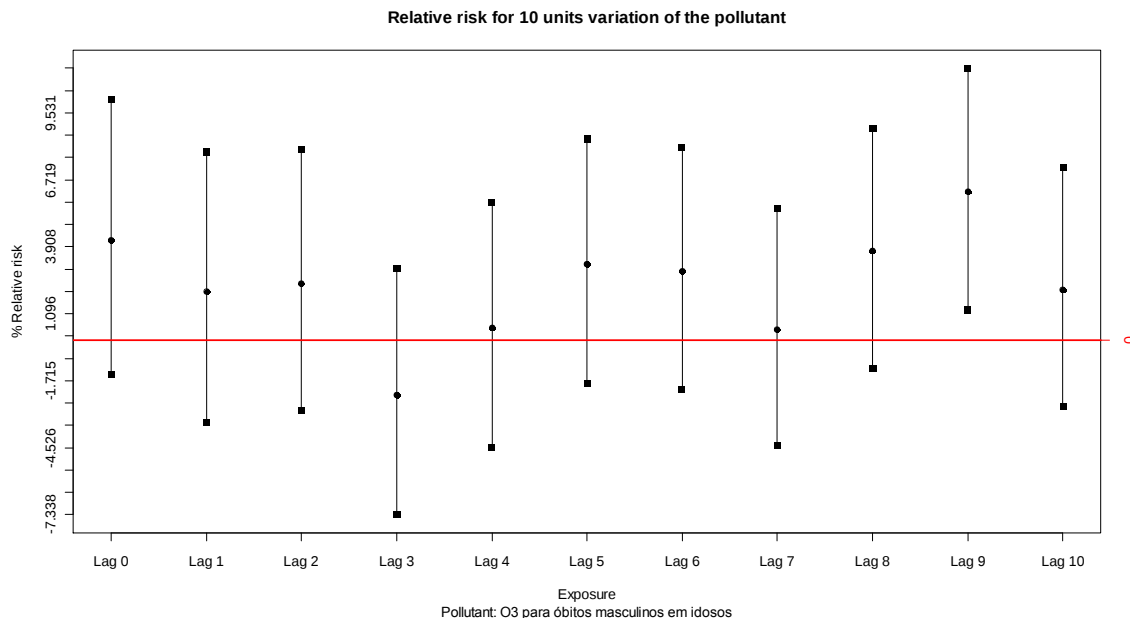


Figura 30: Percentual do risco relativo para o total de óbitos de homens idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

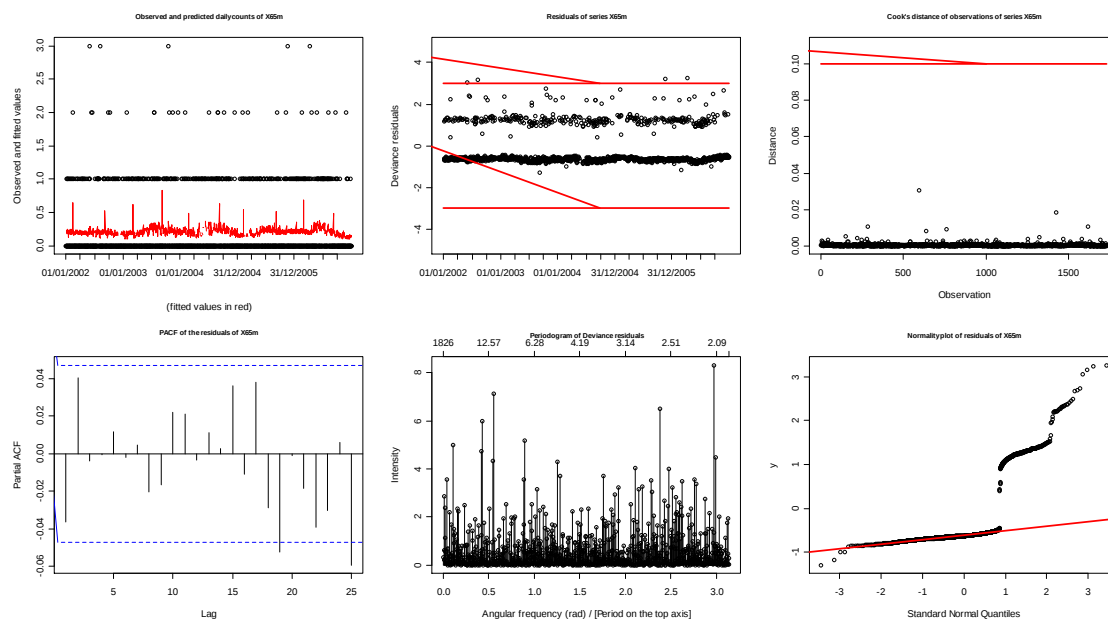


Figura 31: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de óbitos de homens idosos por doenças do sistema respiratório - valores previstos, resíduos contra o tempo, distância de *Cook*, função de correlação parcial, periodograma dos resíduos e de quantis dos resíduos contra quantis da distribuição normal.

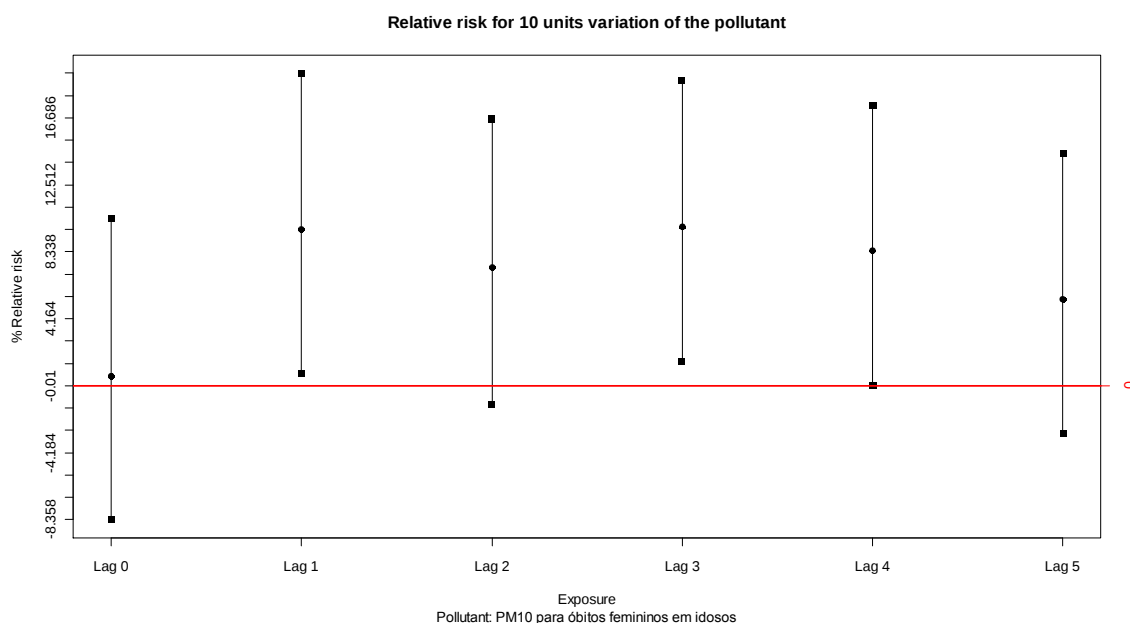


Figura 32: Percentual do risco relativo para o total de óbitos de mulheres idosas por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

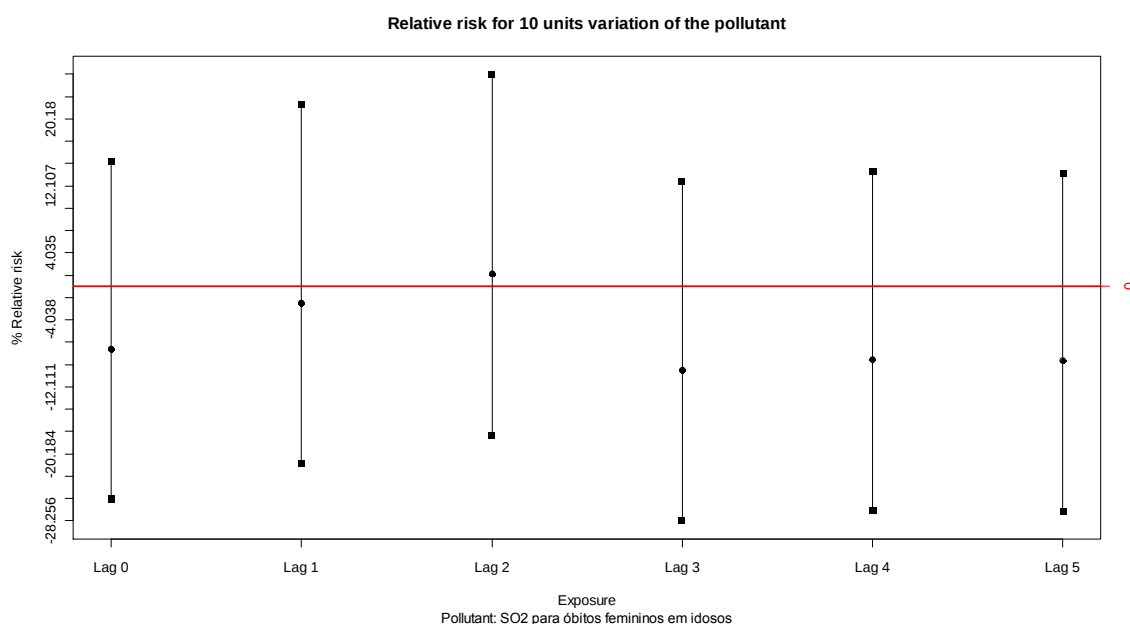


Figura 33: Percentual do risco relativo para o total de óbitos de mulheres idosas por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

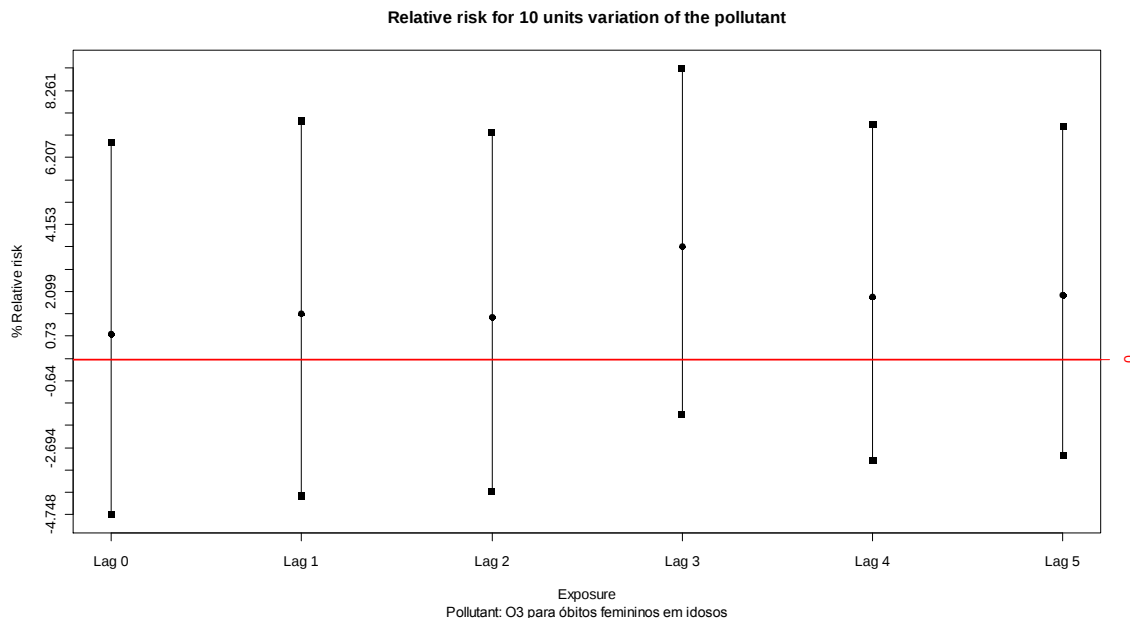


Figura 34: Percentual do risco relativo para o total de óbitos de mulheres idosas por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O₃), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

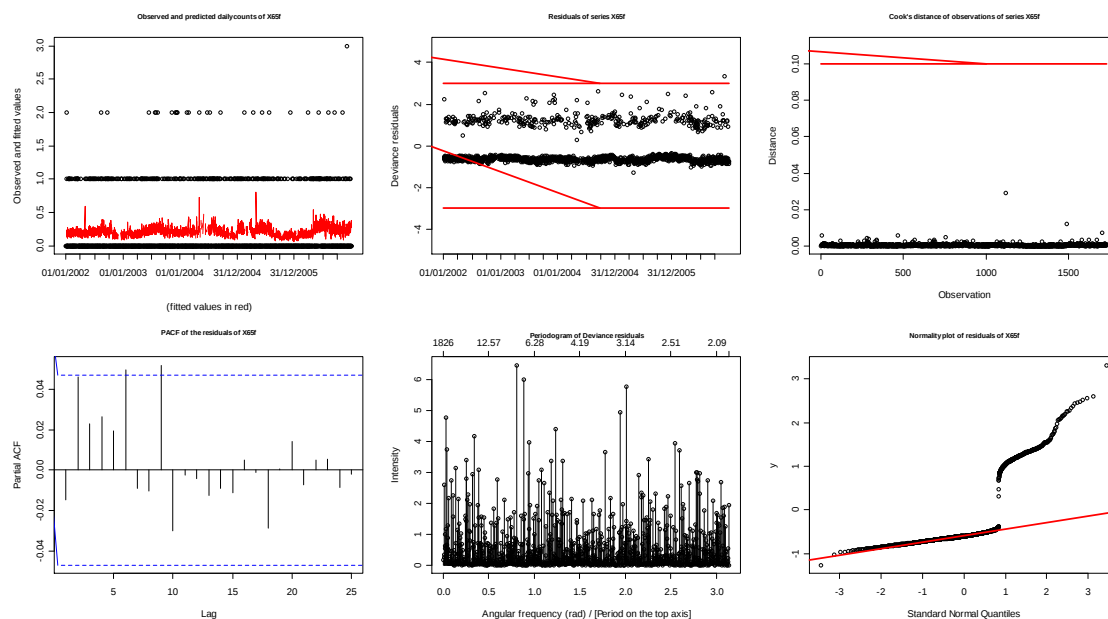


Figura 35: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de óbitos de mulheres idosas por doenças do sistema respiratório - valores previstos, resíduos contra o tempo, distância de *Cook*, função de correlação parcial, periodograma dos resíduos e de quantis dos resíduos contra quantis da distribuição normal.

5.4.3 – Total de óbitos por doenças cardiovasculares e em idosos

Considerando todas as idades, a análise da série de óbitos por doenças do sistema cardiovascular demonstrou uma associação significativa ao PM₁₀, apresentando um aumento de 3,67% (IC 95%: 0,20 - 7,26%; p-valor = 0,04) no risco de óbitos por essa causa, com defasagem de dois dias após a exposição (Figura 36 e Tabela 24). Quando realizada a análise da série de óbitos em idosos, foi observado um aumento no risco de 5,23% (IC 95%: 0,85 - 9,81%; p-valor = 0,02) após dois dias da exposição (Figura 40 e Tabela 27). Não foi observada associação entre as séries de óbitos cardiovasculares, considerando todas as idades (Figuras 37 e 38 e Tabelas 25 e 26) e os ocorridos em idosos com 65 anos ou mais (Figuras 41 e 42 e Tabelas 28 e 29), e a exposição aos níveis diários de SO₂ e O₃.

O diagnóstico dos modelos está apresentado nas Figuras 39 e 43. Os gráficos de valores previstos indicam que os modelos reproduzem a tendência e sazonalidade da série. Os gráficos dos resíduos ao longo do tempo sugerem um bom controle da sazonalidade e não indicam a ocorrência de valores *outliers*. Os gráficos da distância de Cook também não indicam a ocorrência de *outliers*. Os gráficos da função de autocorrelação parcial não indicam sazonalidade ou autocorrelação não controlada, apesar do valor observado para uma defasagem de 11 e 16 dias (Figura 39), sendo provável que estas sejam espúrias.

Os periodogramas dos resíduos indicam que as variações cíclicas das séries estão devidamente controladas. Os gráficos de normalidade dos resíduos não mostram afastamento acentuado dos quantis dos resíduos em relação aos quantis da distribuição normal, embora apresente desvios maiores para valores de resíduos iniciais (Figura 39 e 43).

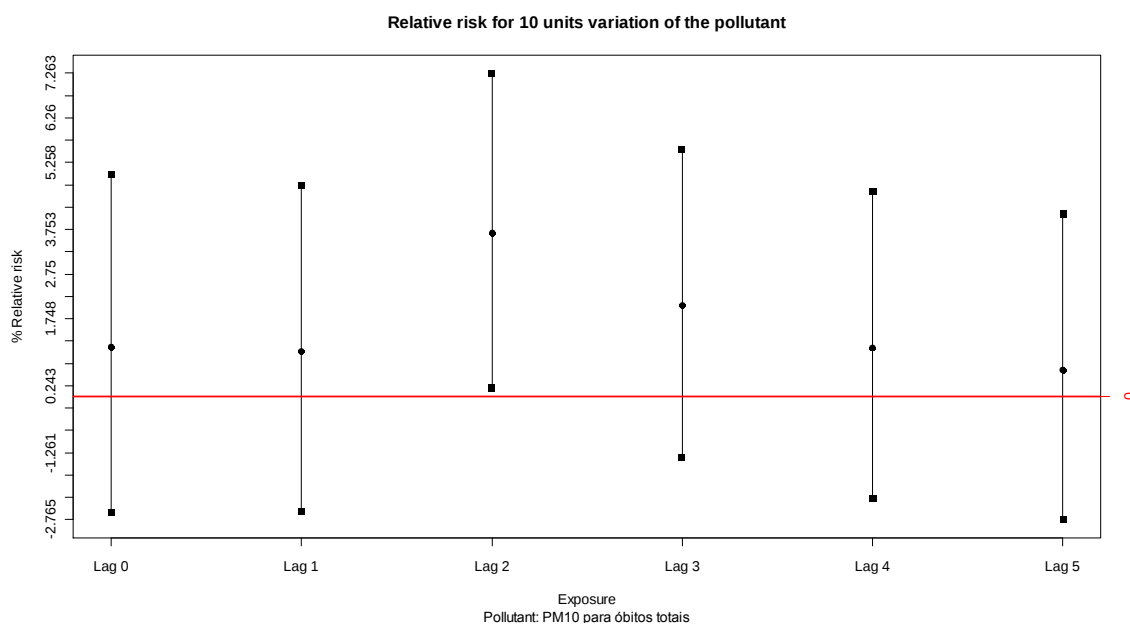


Figura 36: Percentual do risco relativo para o total de óbitos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

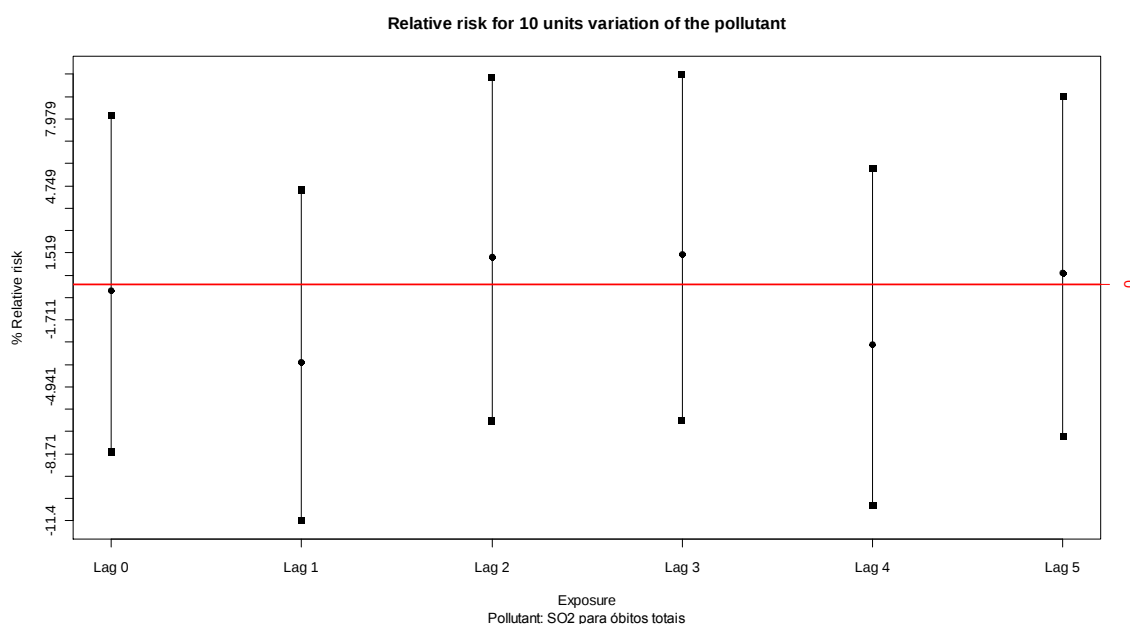


Figura 37: Percentual do risco relativo para o total de óbitos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre particulado (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

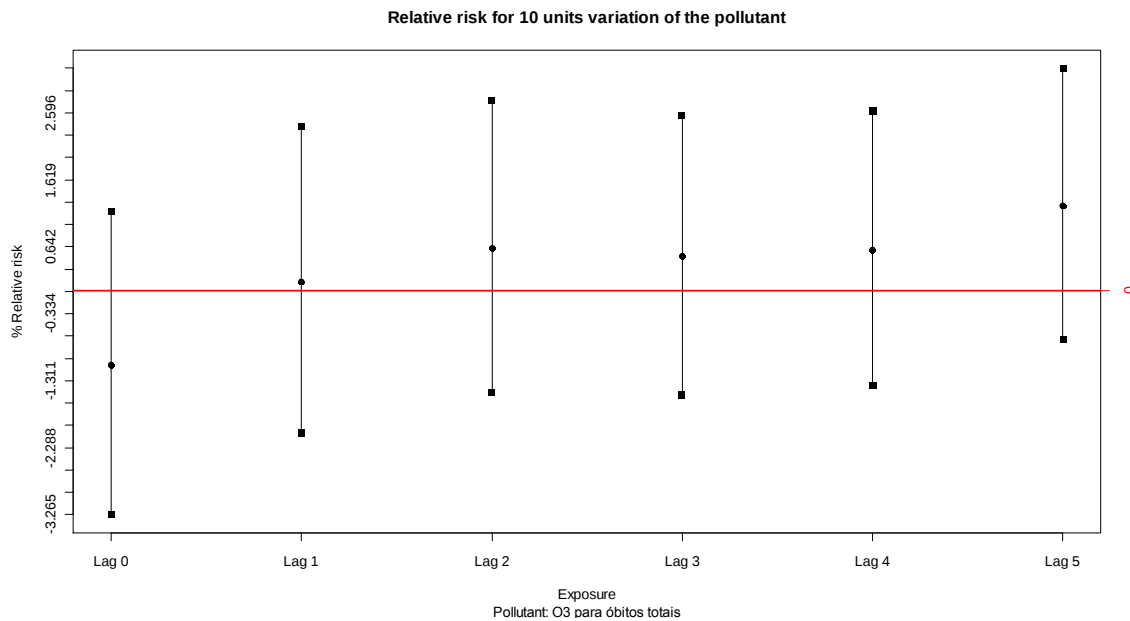


Figura 38: Percentual do risco relativo para o total de óbitos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

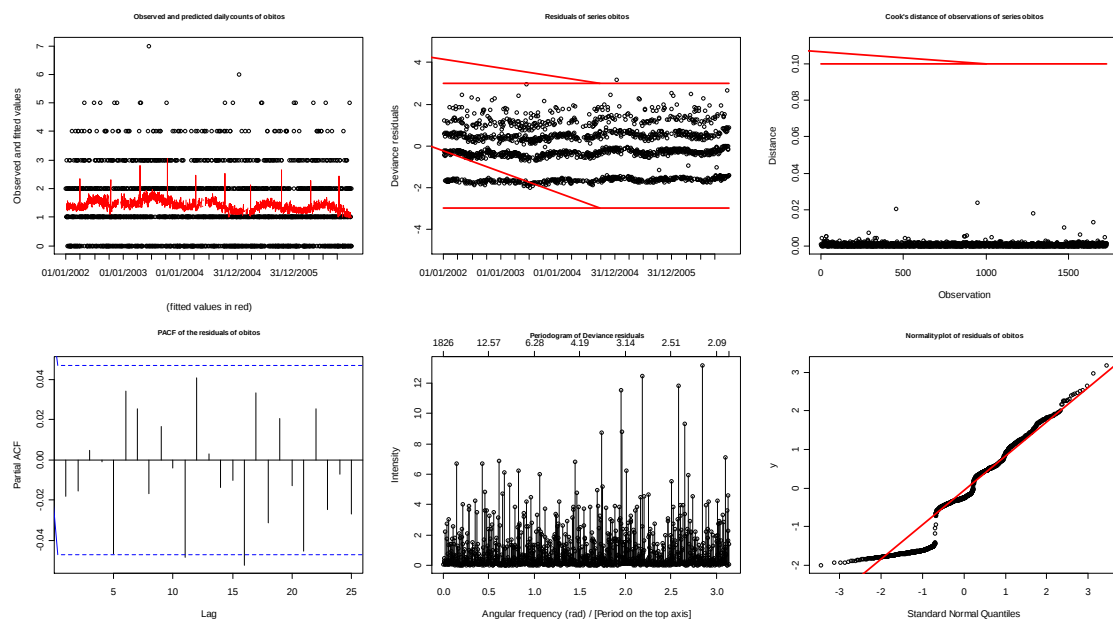


Figura 39: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de óbitos por doenças do sistema cardiovascular - valores previstos, resíduos contra o tempo, distância de *Cook*, função de correlação parcial, periodograma dos resíduos e de quantis dos resíduos contra quantis da distribuição normal.

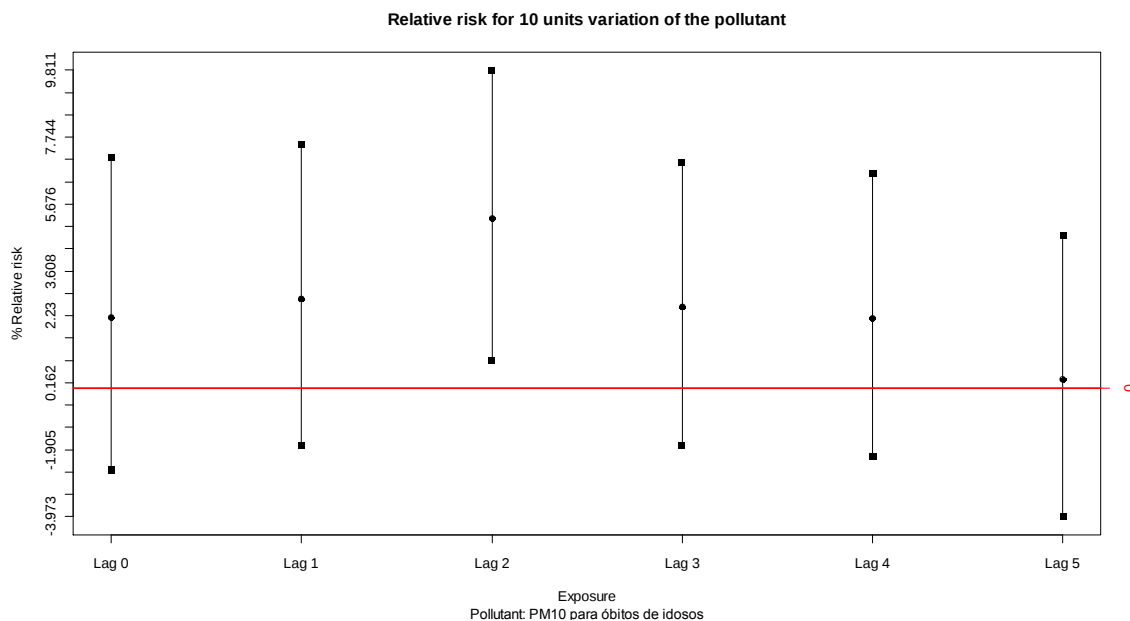


Figura 40: Percentual do risco relativo para os óbitos de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

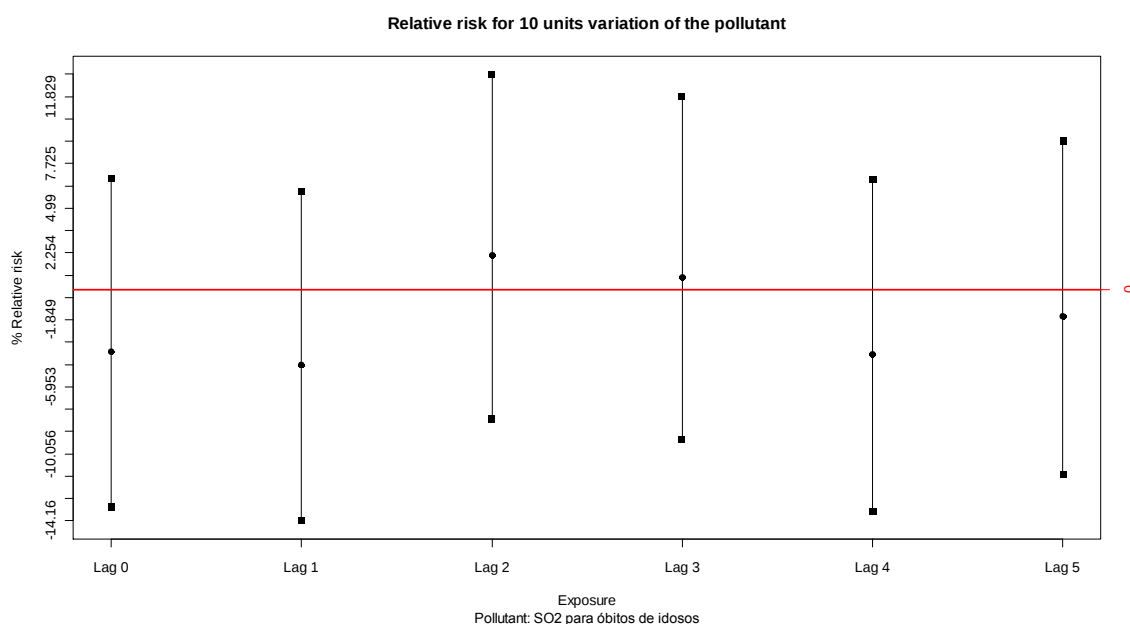


Figura 41: Percentual do risco relativo para os óbitos de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

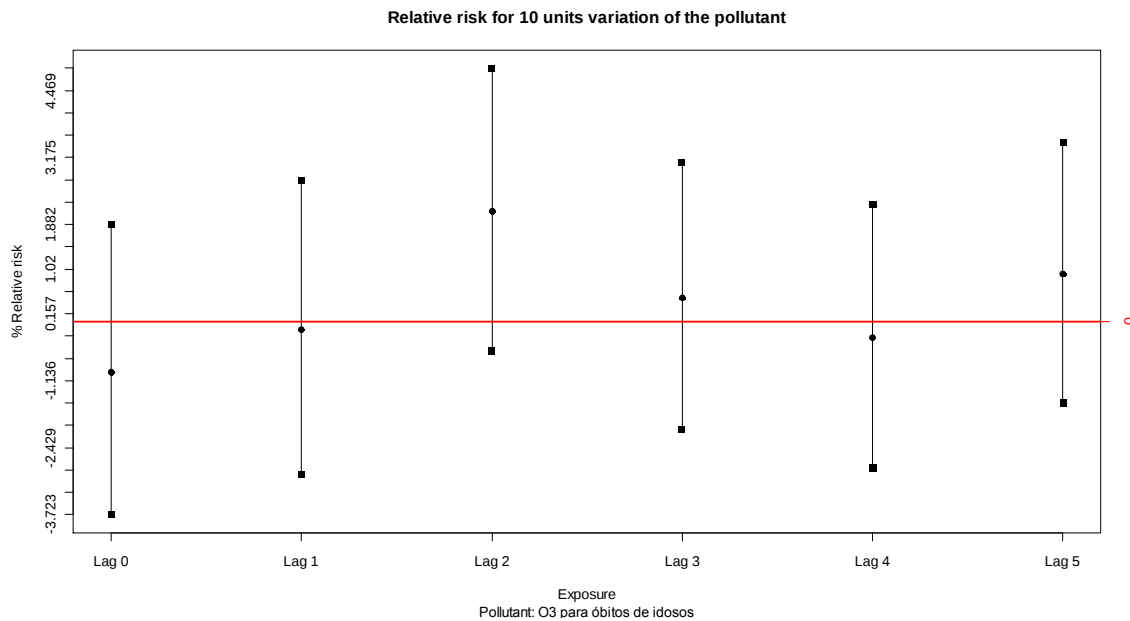


Figura 42: Percentual do risco relativo para os óbitos de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

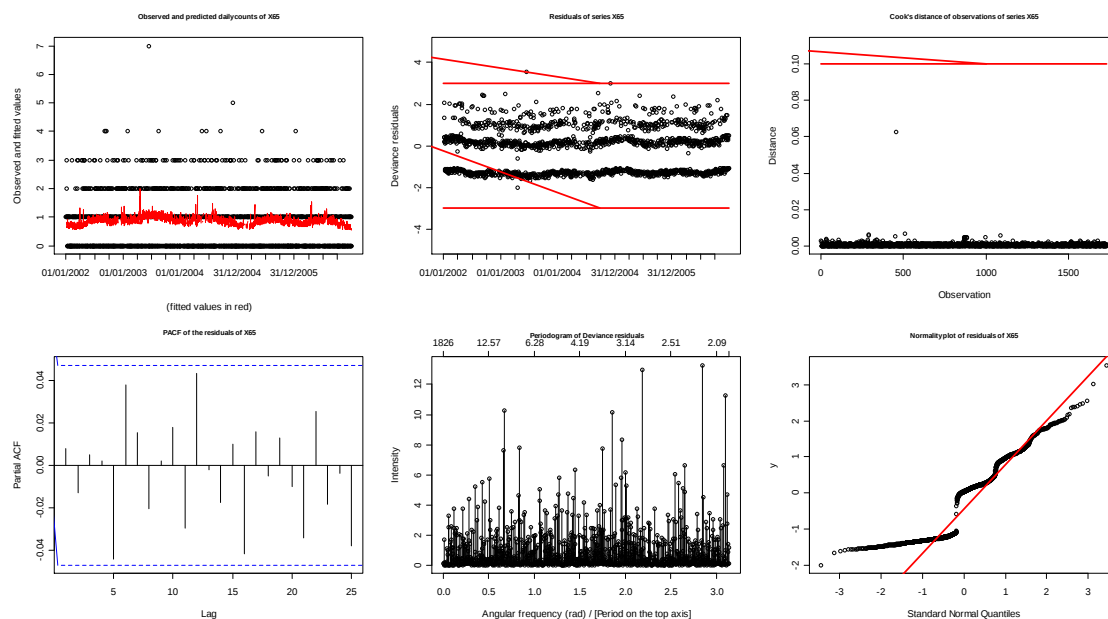


Figura 43: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de óbitos de idosos por doenças do sistema cardiovascular - valores previstos, resíduos contra o tempo, distância de *Cook*, função de correlação parcial, periodograma dos resíduos e de quantis dos resíduos contra quantis da distribuição normal.

5.4.4 – Total de internações por doenças respiratórias e em idosos e crianças

Na análise da série do total de internações por doenças do sistema respiratório, foi encontrada associação significativa para um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de PM_{10} e SO_2 . O aumento no risco de internação após dois dias de exposição ao PM_{10} foi de 2,67% (IC 95%: 0,40 - 5,00%; p-valor = 0,02) e respectivamente de 5,89% (IC 95%: 0,11 - 12,00%; p-valor = 0,04) e 6,59% (IC 95%: 0,76 - 12,71%; p-valor = 0,03) para o dia corrente e dois dias após a exposição ao SO_2 (Figuras 44 e 45 e Tabelas 30 e 31). A ausência de associação foi observada para exposição ao O_3 (Figura 46 e Tabela 32).

Quando realizada a análise da série de internações em idosos com 65 anos ou mais, observa-se uma elevação no risco de internação para 4,15% (IC 95%: 0,17 - 8,29%; p-valor = 0,04) com relação ao percentual de risco para todas as faixas etárias, após dois dias da exposição ao PM_{10} (Figura 48 e Tabela 33).

A magnitude do efeito no risco também foi observada na análise da série de internações em crianças menores de cinco anos, com aumento de 5,22% (IC 95%: 0,14 - 10,56%; p-valor = 0,04) após dois dias da exposição ao PM_{10} (Figura 52 e Tabela 36).

Na análise a exposição aos níveis diários de SO_2 e O_3 não foi observada associação entre as séries de internações por doenças respiratórias ocorridas em idosos e crianças e os respectivos poluentes (Figuras 49, 50, 53 e 54 e Tabelas 34, 35, 37 e 38).

O diagnóstico dos modelos está apresentado nas Figuras 47, 51 e 55. Os gráficos de valores previstos indicam que os modelos reproduzem a tendência e sazonalidade da série. Os gráficos dos resíduos ao longo do tempo sugerem um bom controle da sazonalidade e não indicam a ocorrência de valores *outliers*. Os gráficos da distância de Cook também não indicam a ocorrência de *outliers*. Os gráficos da função de autocorrelação parcial indicam ligeira sazonalidade ou autocorrelação não controlada, com valor observado para uma defasagem de sete, 13, 14 e 24 dias (Figura 47), um, 10, 14, 15 e 21 dias (Figura 51) e espúria para valor observado para uma defasagem de 18 dias (Figura 55).

Os periodogramas dos resíduos indicam que há ligeira variação cíclica das séries de total de internações e em idosos (Figuras 47 e 51) e devidamente controladas na série de crianças (Figura 55). Os gráficos de normalidade dos resíduos não mostram afastamento acentuado dos quantis dos resíduos em relação aos quantis da distribuição

normal, embora apresente desvios maiores para valores de resíduos iniciais e mais altos (Figuras 51 e 55).

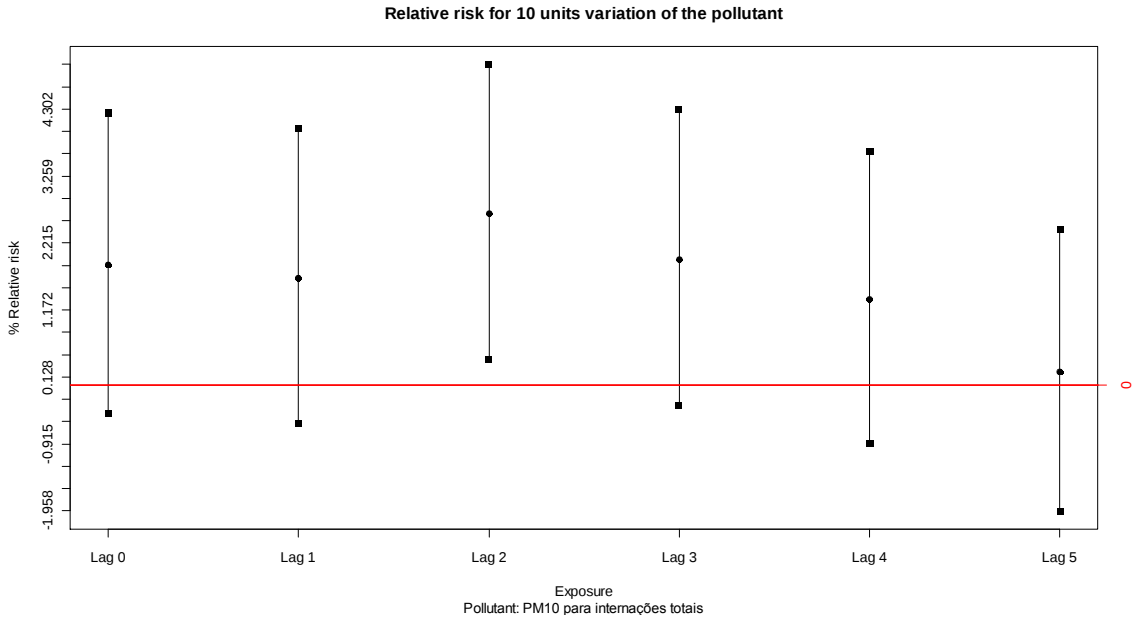


Figura 44: Percentual do risco relativo para o total das internações por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

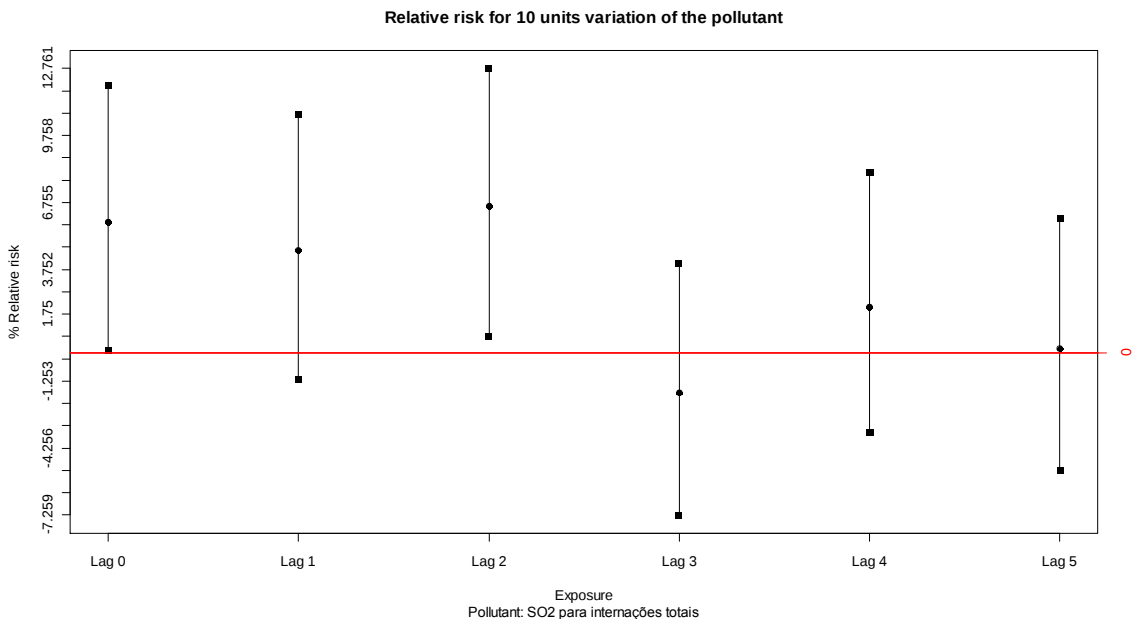


Figura 45: Percentual do risco relativo para o total das internações por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

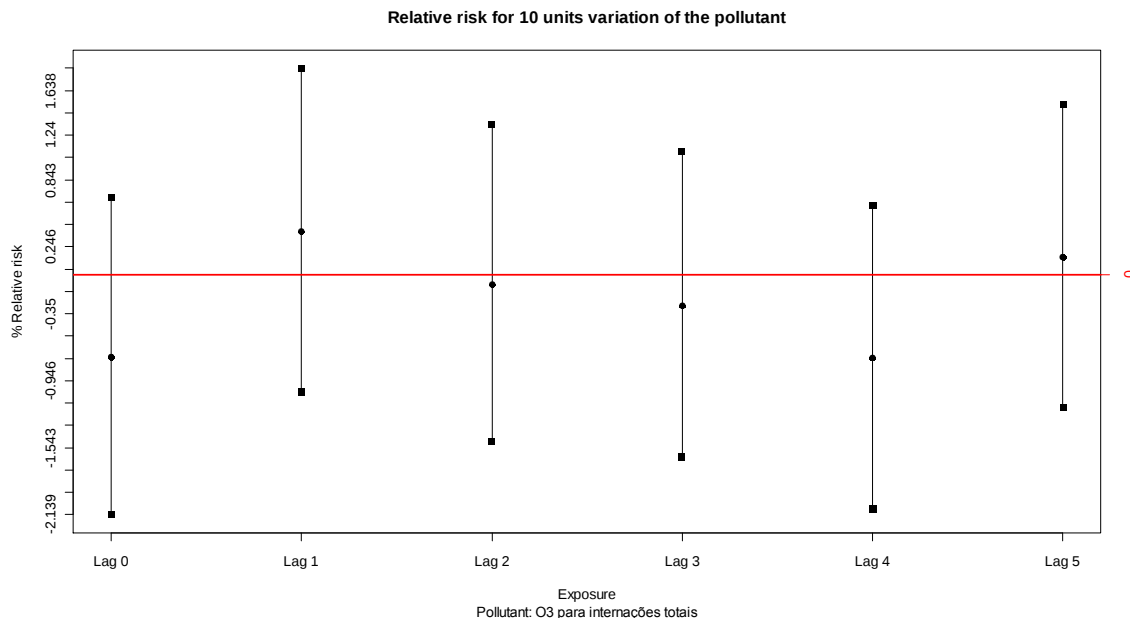


Figura 46: Percentual do risco relativo para o total das internações por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

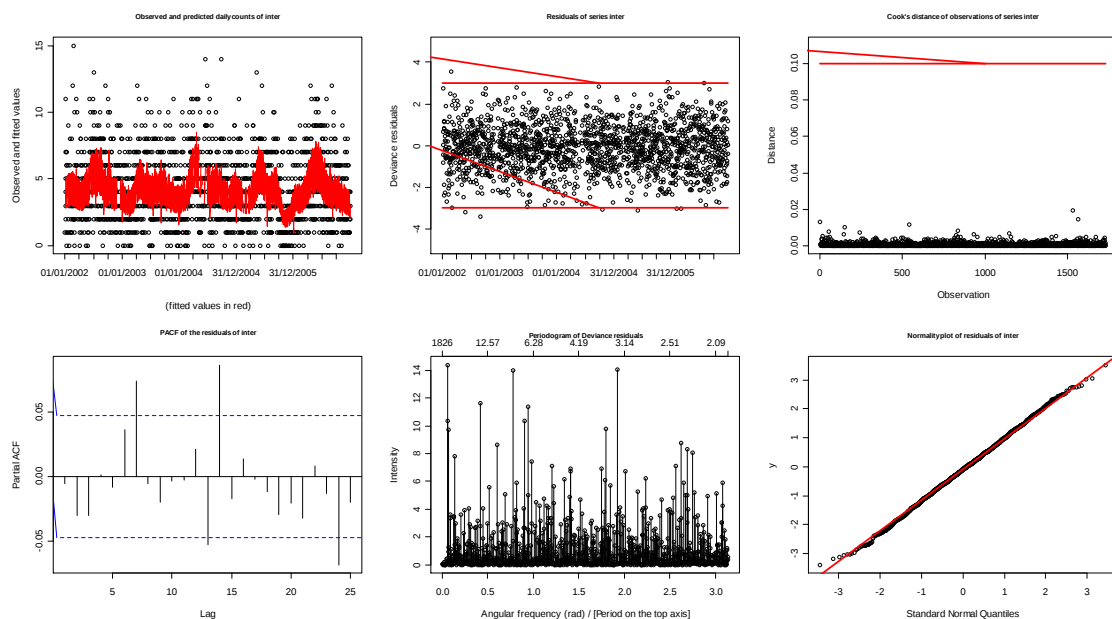


Figura 47: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de internações por doenças do sistema respiratório - valores previstos, resíduos contra o tempo, distância de *Cook*, função de correlação parcial, periodograma dos resíduos e de quantis dos resíduos contra quantis da distribuição normal.

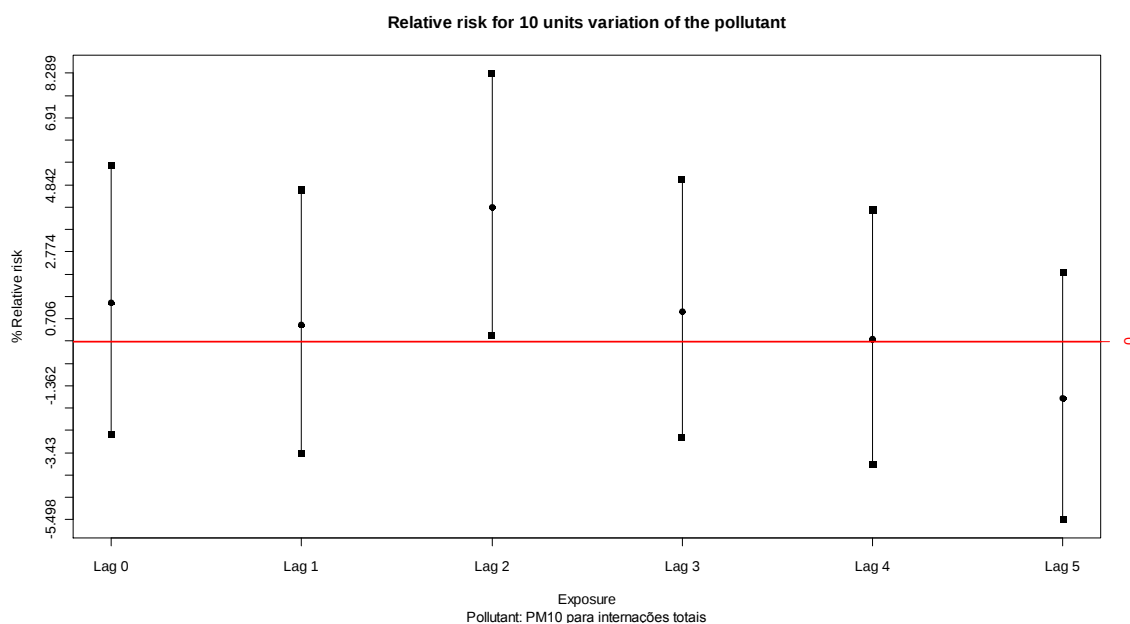


Figura 48: Percentual do risco relativo para as internações de idosos por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

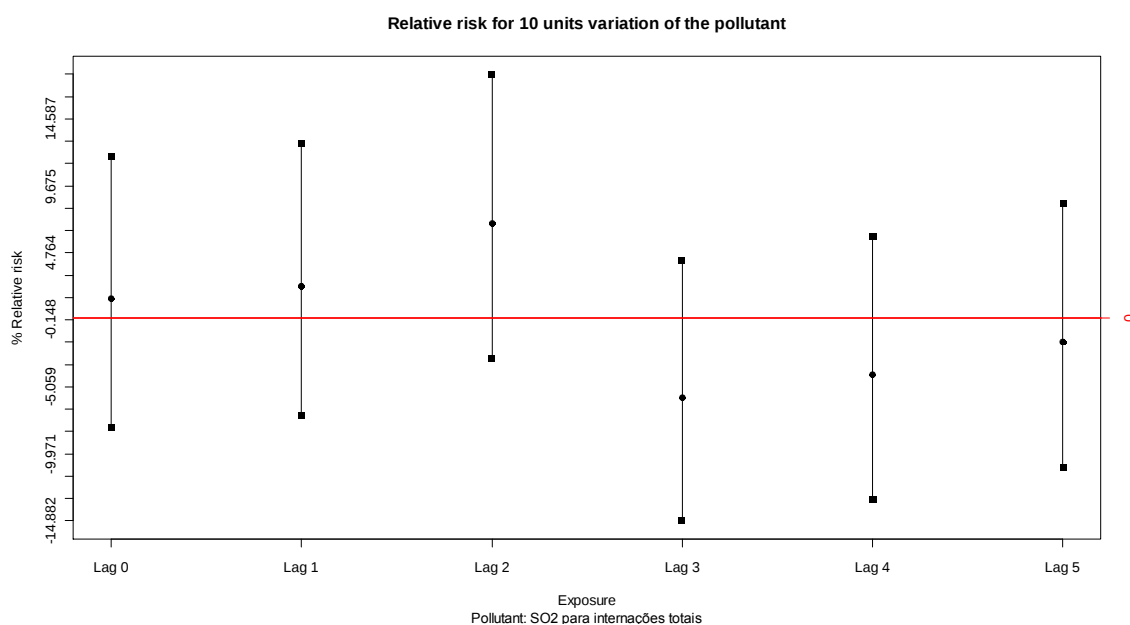


Figura 49: Percentual do risco relativo para as internações de idosos por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

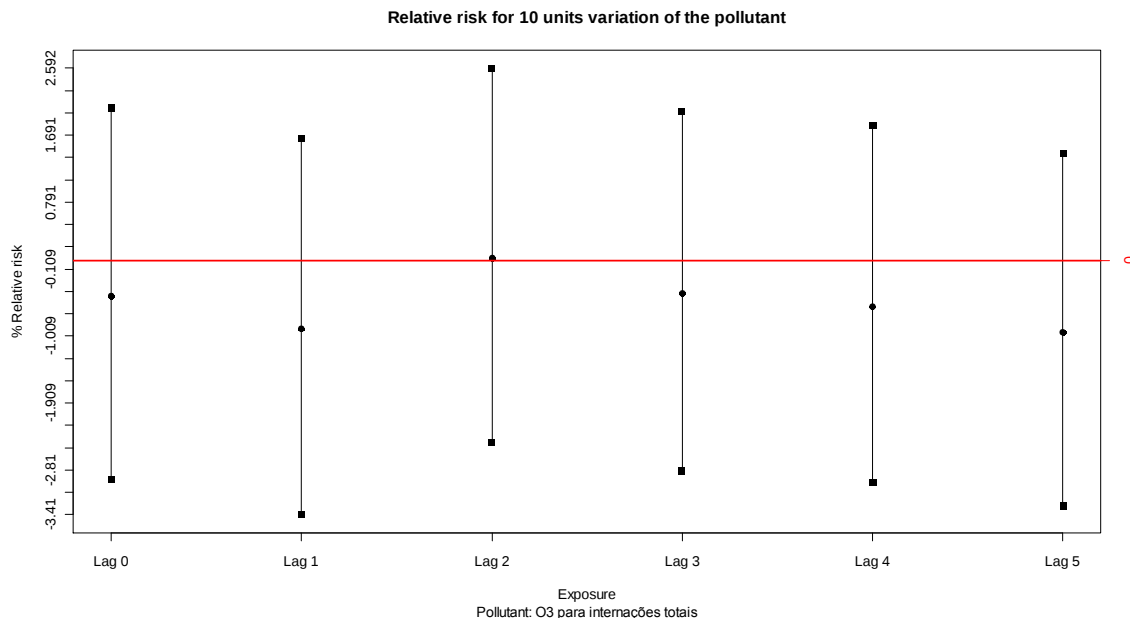


Figura 50: Percentual do risco relativo para as internações de idosos por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

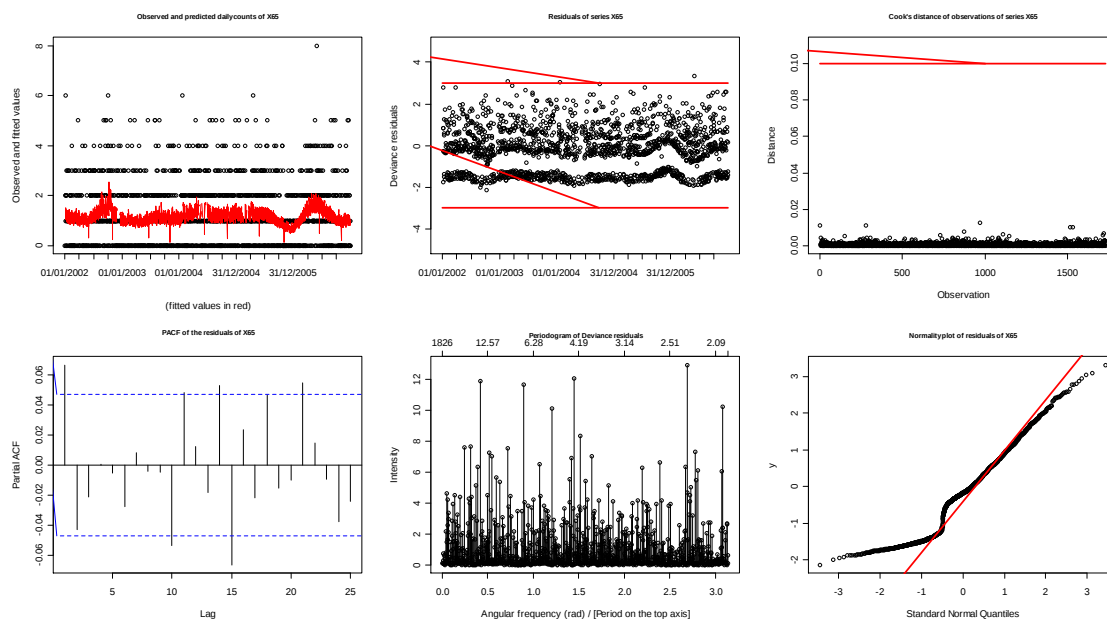


Figura 51: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de internações de idosos por doenças do sistema respiratório - valores previstos, resíduos contra o tempo, distância de *Cook*, função de correlação parcial, periodograma dos resíduos e de quantis dos resíduos contra quantis da distribuição normal.

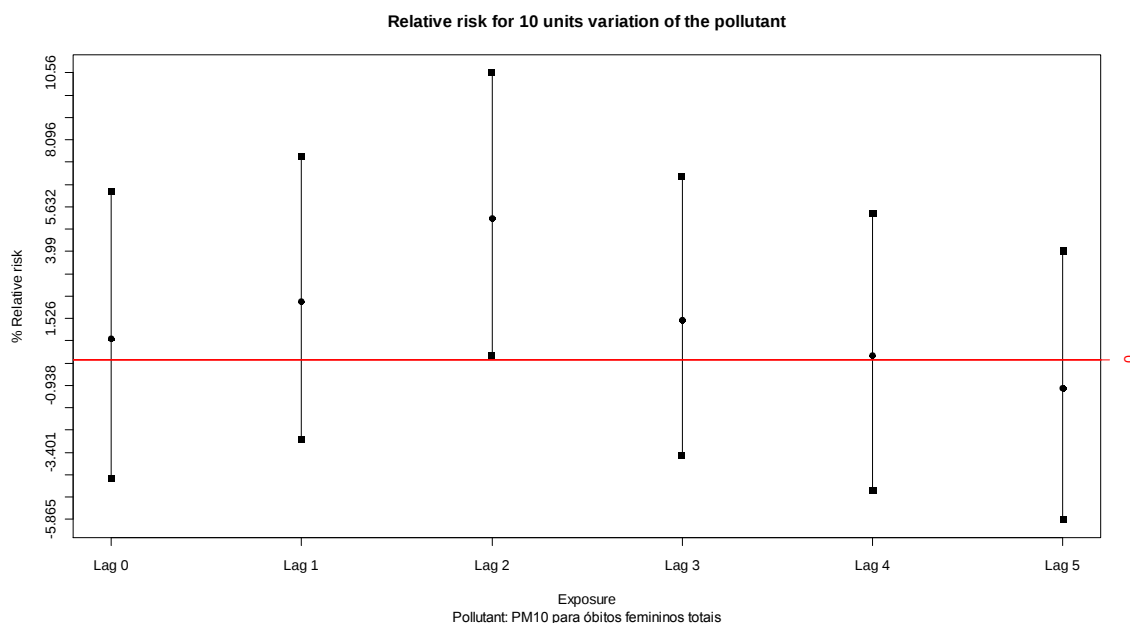


Figura 52: Percentual do risco relativo para as internações de crianças por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

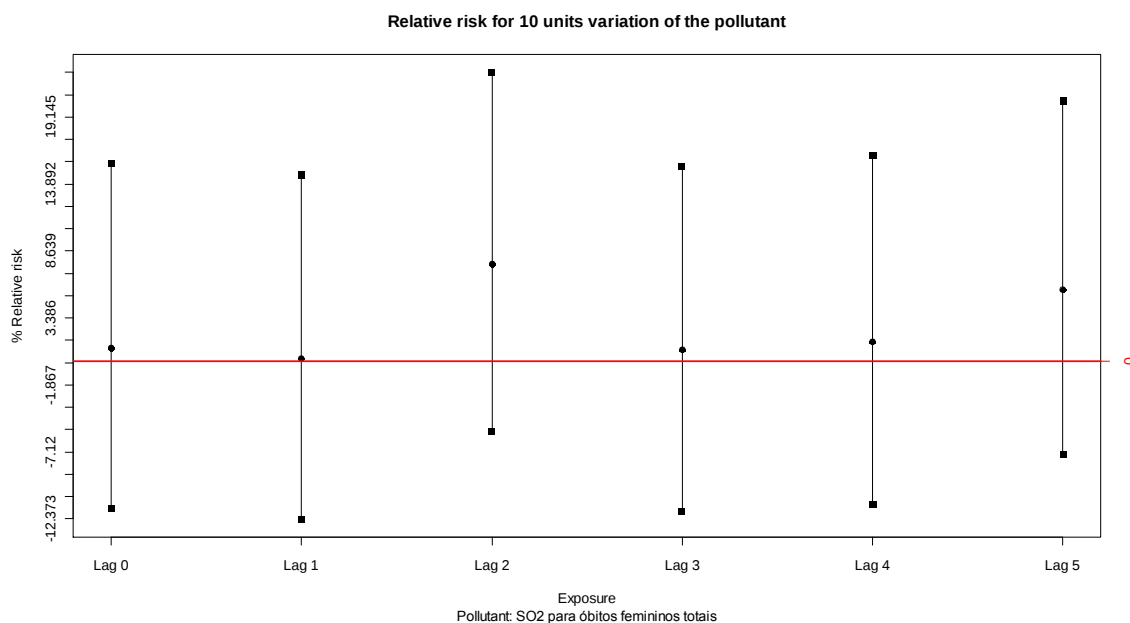


Figura 53: Percentual do risco relativo para as internações de crianças por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

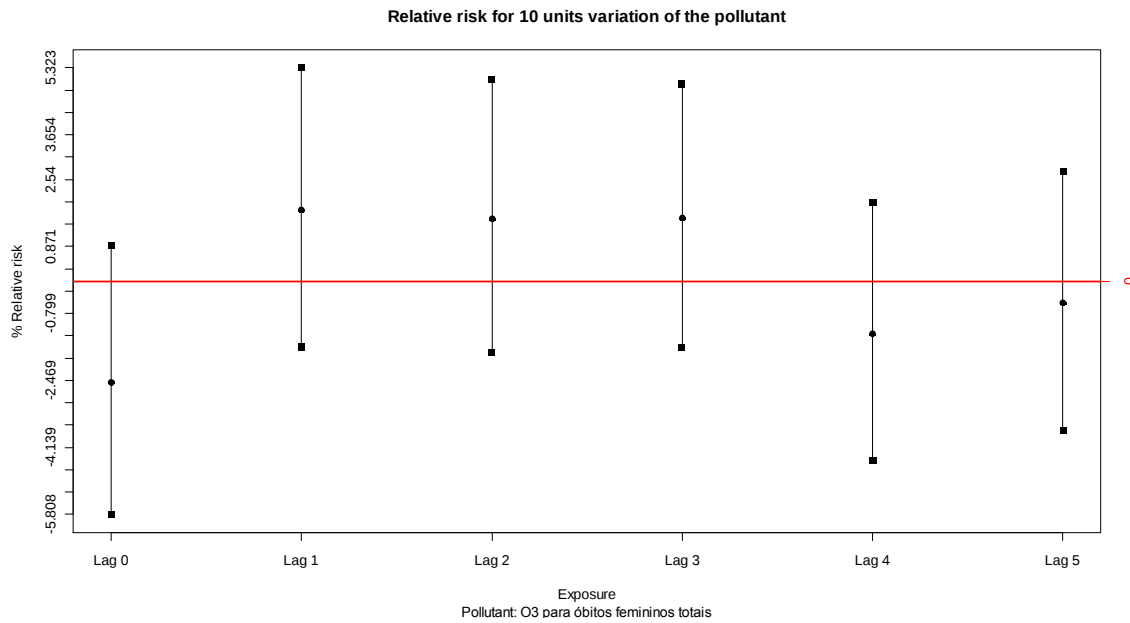


Figura 54: Percentual do risco relativo para as interações de crianças por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

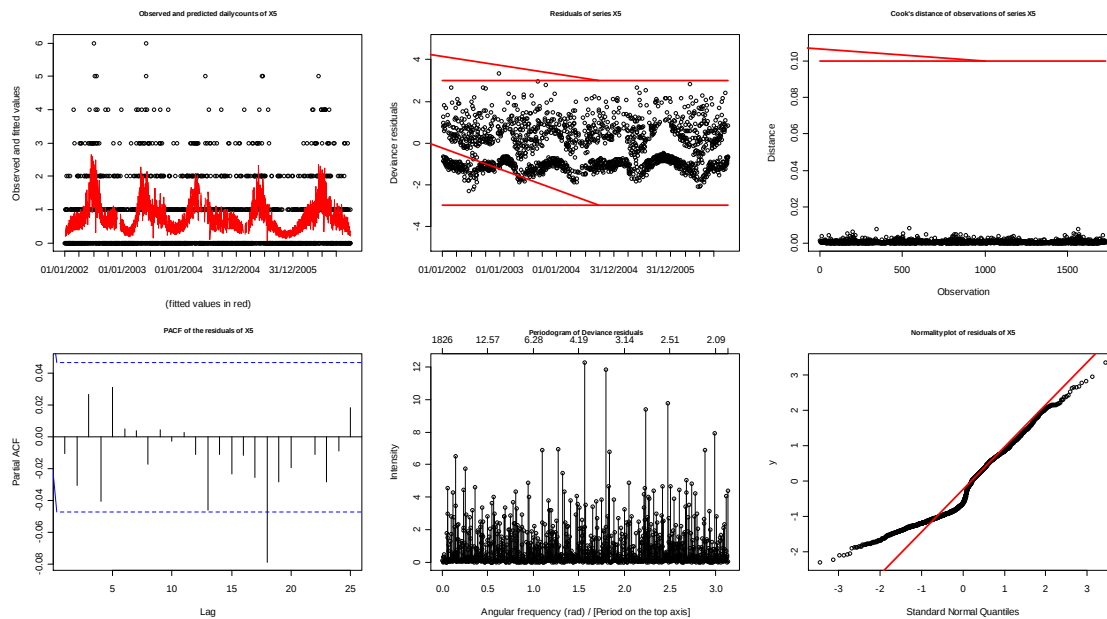


Figura 55: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de interações de crianças por doenças do sistema respiratório - valores previstos, resíduos contra o tempo, distância de *Cook*, função de correlação parcial, periodograma dos resíduos e de quantis dos resíduos contra quantis da distribuição normal.

5.4.5 – Total de internações por doenças cardiovasculares e em idosos

Na análise da série de internações por doenças do sistema cardiovascular, considerando-se todas as idades, não foram encontradas associações significativas para os níveis diários dos poluentes (PM_{10} , SO_2 e O_3), como mostram as Figuras 56, 57 e 58 e Tabelas 39, 40 e 41. Contudo, na análise da série de internações em idosos com 65 anos ou mais, observou-se uma elevação no risco de internação de 3,84% (IC 95%: 0,40 - 7,40%; p-valor = 0,03) após três dias da exposição ao PM_{10} (Figura 60 e Tabela 42). Para os níveis diários dos demais poluentes (SO_2 e O_3) não foi observada associação com as séries de internações por doenças cardiovasculares ocorridas em idosos (Figuras 61 e 62 e Tabelas 43 e 44).

O diagnóstico dos modelos está apresentado nas Figuras 59 e 63. Os gráficos de valores previstos indicam que os modelos reproduzem a tendência e sazonalidade da série. Os gráficos dos resíduos ao longo do tempo sugerem um bom controle da sazonalidade e não indicam a ocorrência de valores *outliers*. Os gráficos da distância de Cook também não indicam a ocorrência de *outliers*. Os gráficos da função de autocorrelação parcial indicam ligeira sazonalidade ou autocorrelação não controlada, com valor observado para uma defasagem de seis, sete, 12 e 13 dias (Figura 59) e espúria para valor observado para uma defasagem de 24 e 25 dias (Figura 63).

Os periodogramas dos resíduos indicam que há ligeira variação cíclica da série do total de internações por doenças do sistema cardiovascular (Figura 59), estando devidamente controlada na série de idosos (Figura 63). Os gráficos de normalidade dos resíduos não mostram afastamento acentuado dos quantis dos resíduos em relação aos quantis da distribuição normal (Figuras 59 e 63).

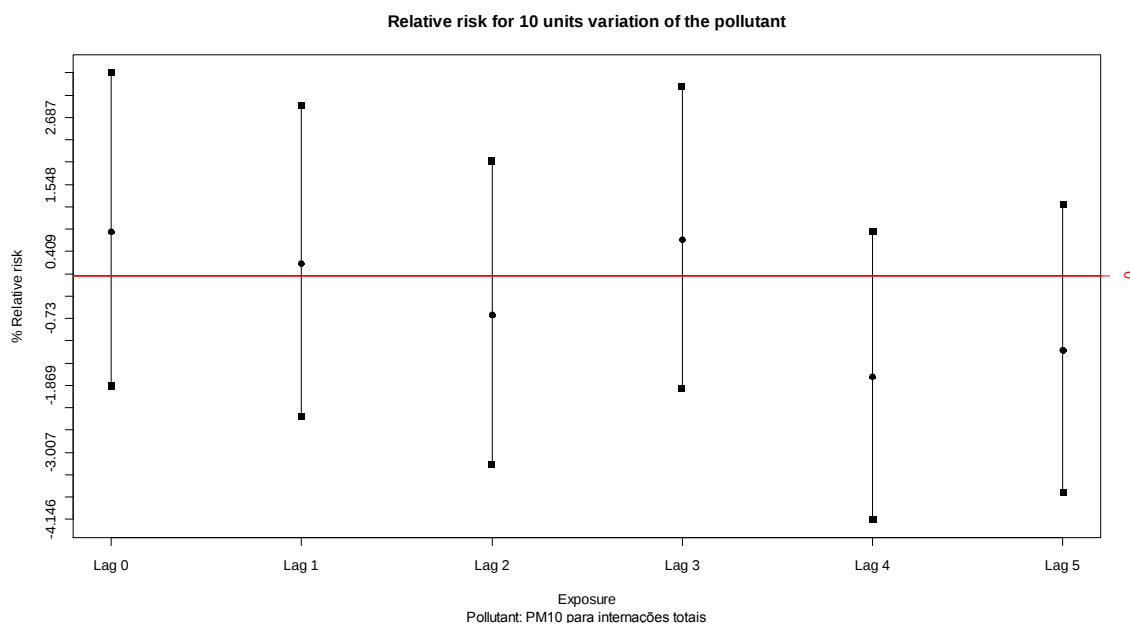


Figura 56: Percentual do risco relativo para o total de internações por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

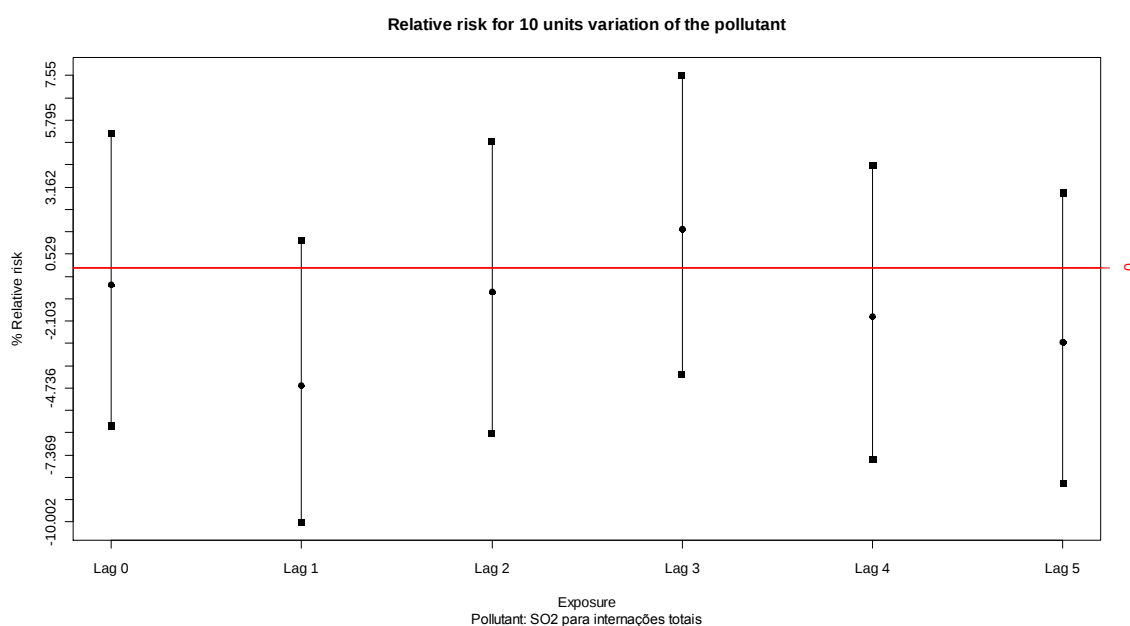


Figura 57: Percentual do risco relativo para o total de internações por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

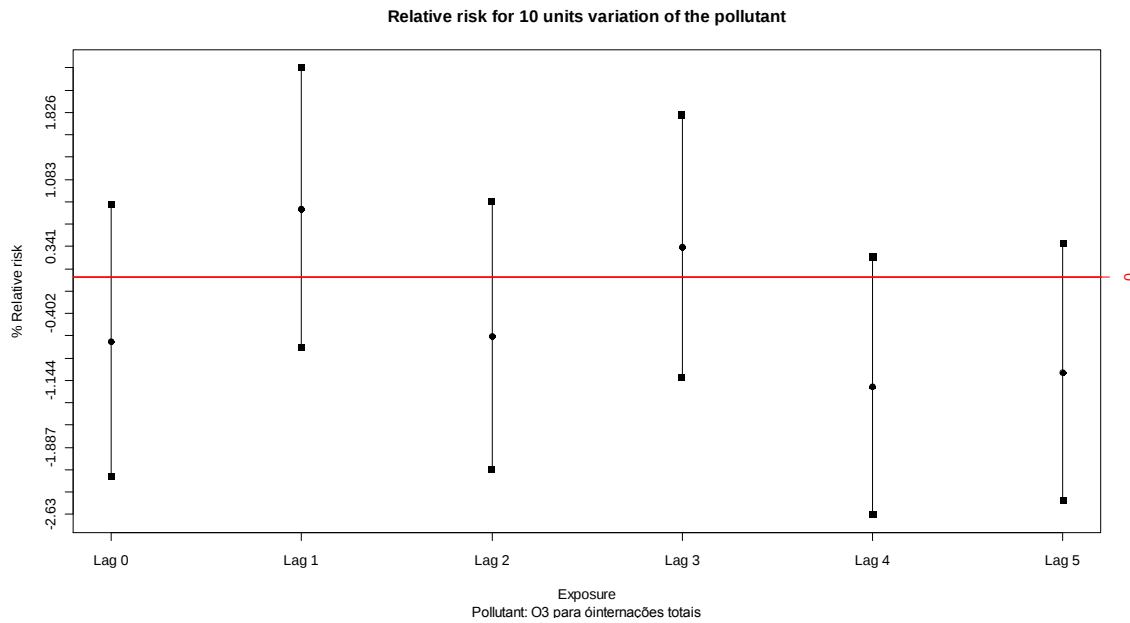


Figura 58: Percentual do risco relativo para o total de internações por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

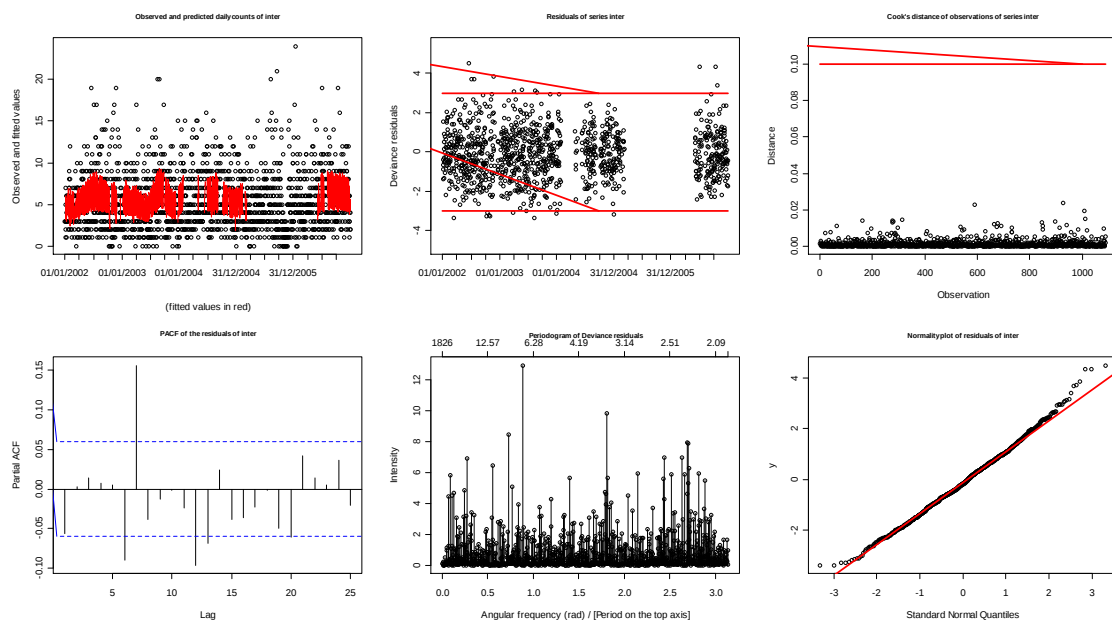


Figura 59: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de internações por doenças do sistema cardiovascular - valores previstos, resíduos contra o tempo, distância de *Cook*, função de correlação parcial, periodograma dos resíduos e de quantis dos resíduos contra quantis da distribuição normal.

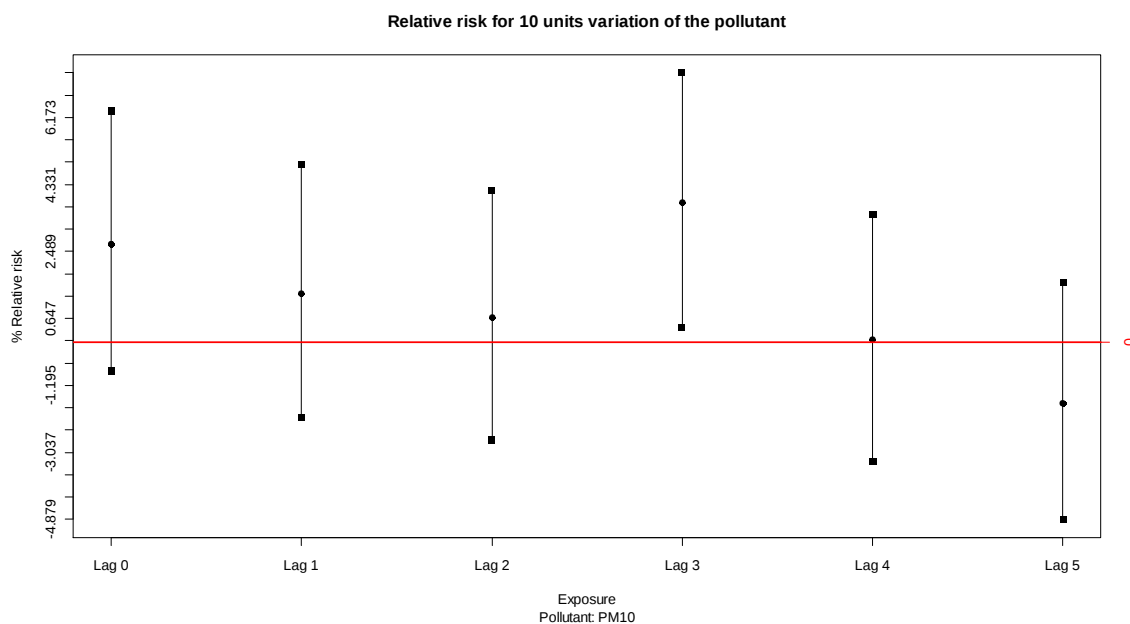


Figura 60: Percentual do risco relativo para as internações de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

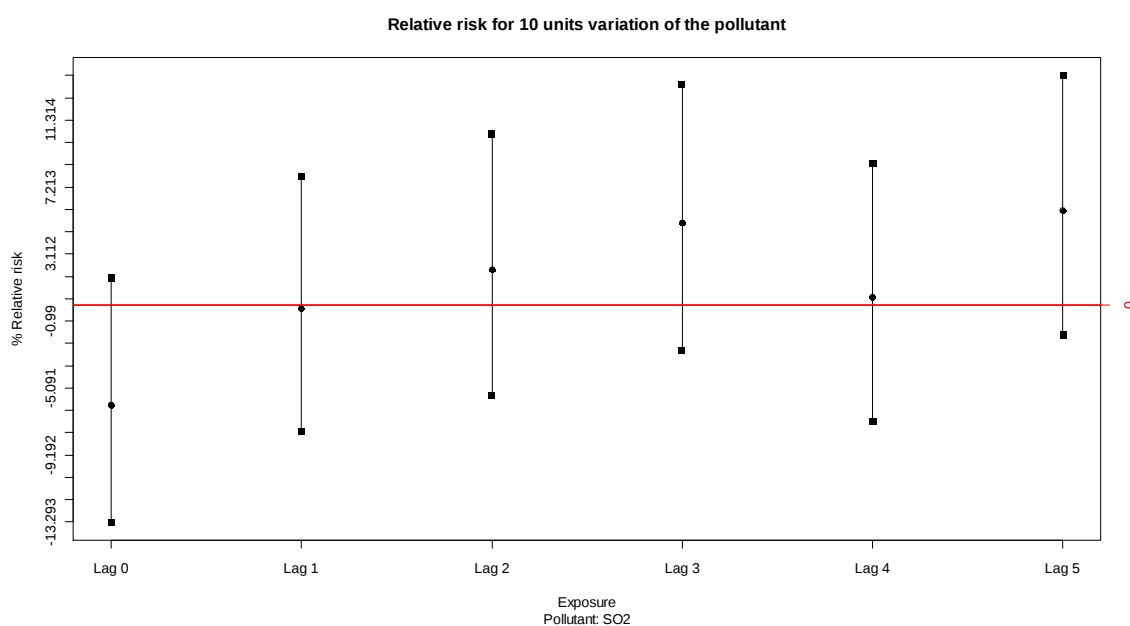


Figura 61: Percentual do risco relativo para as internações de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

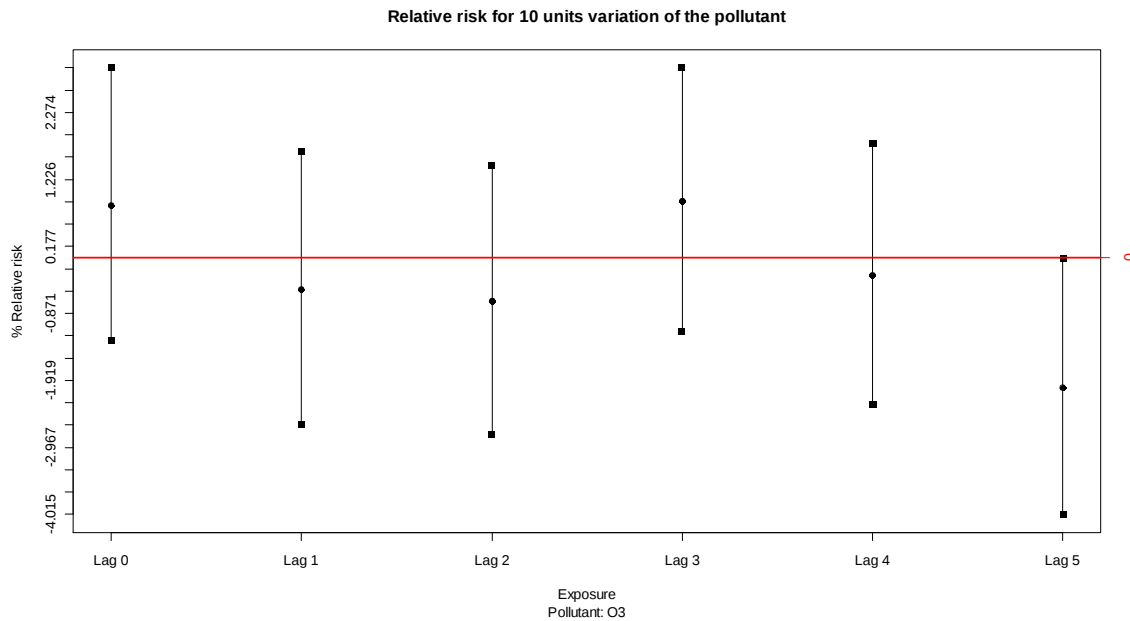


Figura 62: Percentual do risco relativo para as internações de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

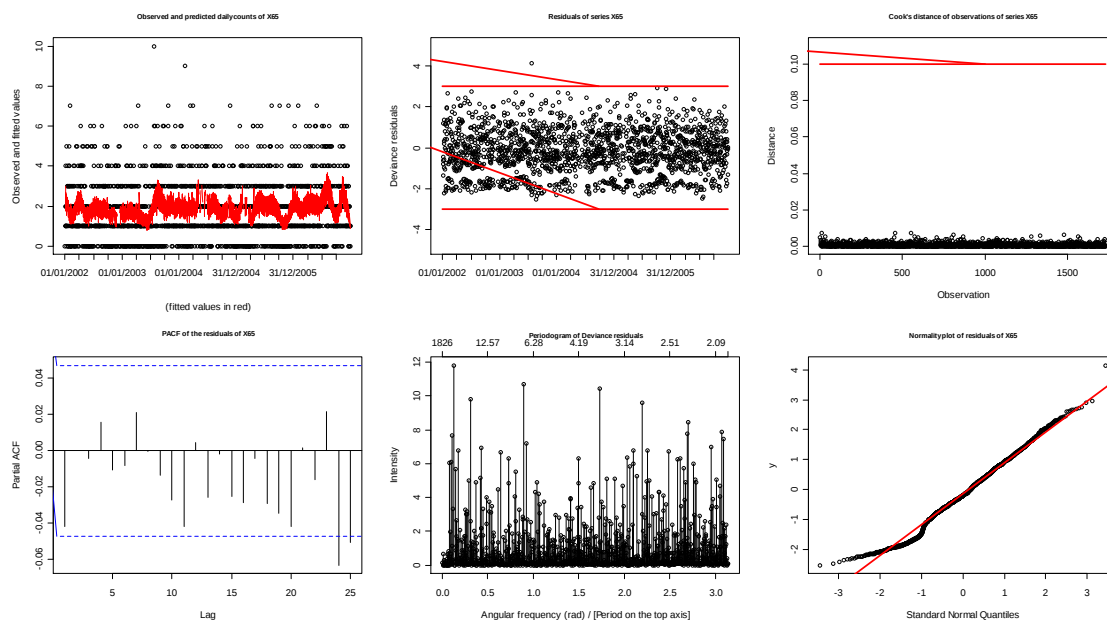


Figura 63: Diagnóstico do modelo de linha de base final inclui os fatores de confusão conhecidos e disponíveis para a associação entre poluição do ar e o total de internações de idosos por doenças do sistema cardiovascular - valores previstos, resíduos contra o tempo, distância de *Cook*, função de correlação parcial, periodograma dos resíduos e de quantis dos resíduos contra quantis da distribuição normal.

5.5 – Análise Espacial

A análise da distribuição espacial dos óbitos por doenças respiratórias e cardiovasculares visou identificar seu padrão espacial, por meio de mapas de risco, relativos aos setores censitários como às unidades territoriais de análise, de forma a apontar as áreas de maior gravidade do problema e facilitar o planejamento de intervenções de Saúde Pública.

5.5.1 – Análise Espacial do total de óbitos por doenças do sistema respiratório

A figura 64 representa o mapa do Município de Volta Redonda, com a distribuição das taxas de mortalidade por doenças respiratórias, calculadas para os setores censitários. Pode-se observar uma distribuição homogênea ao Norte e ao Sul da CSN do terceiro e quarto quartis das taxas de mortalidade, concentrando-se mais nas respectivas extremidades as taxas referentes ao segundo quartil.

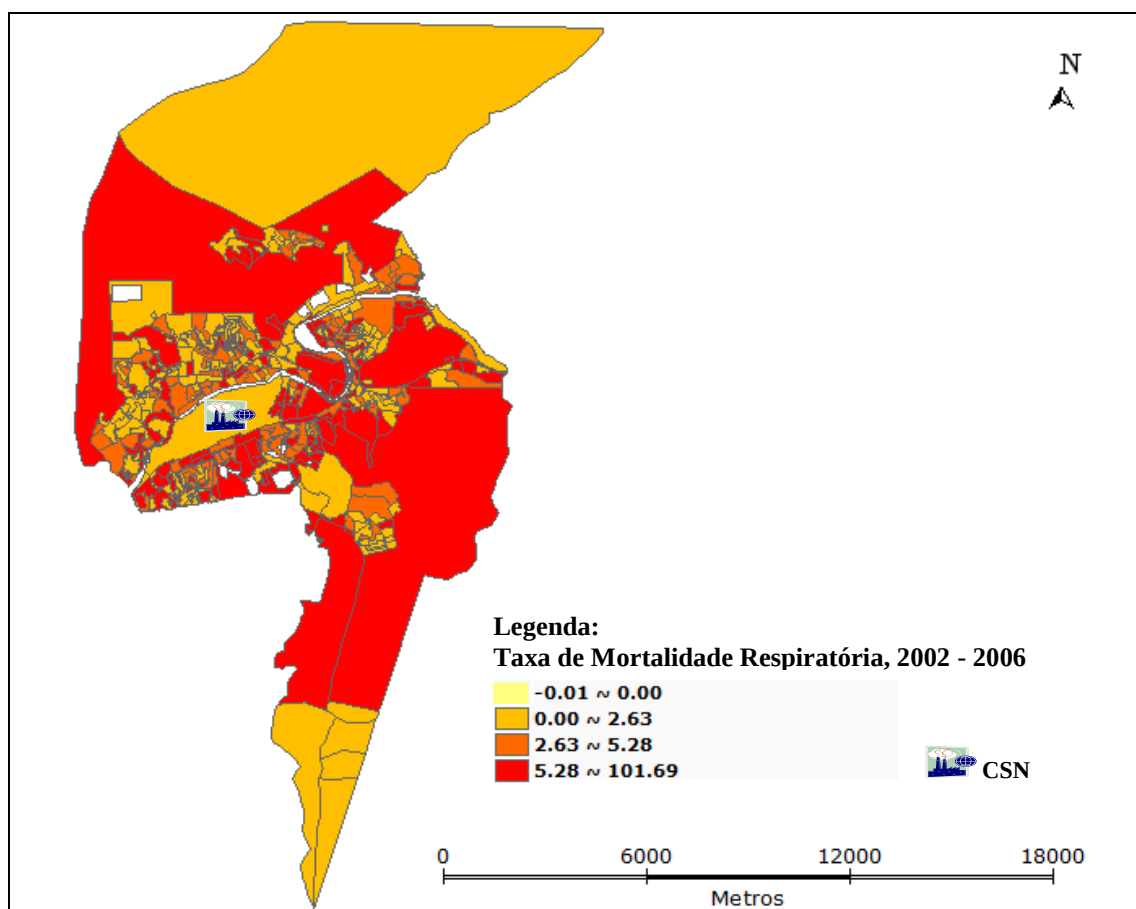


Figura 64: Distribuição espacial das taxas de mortalidade por doenças respiratórias, Volta Redonda, RJ, período de 2002 a 2006.

Na figura 65 a distribuição das taxas de mortalidade foi suavizada usando-se o método denominado de estimador bayesiano empírico, a fim de diminuir a flutuação associada às pequenas áreas. Com esse método as taxas de mortalidades referentes ao último quartil encontram-se exclusivamente ao Sul do Rio Paraíba do Sul, apresentando algumas manchas mais claras e, diminuindo ainda mais as taxas nas extremidades Norte e Sul do município.

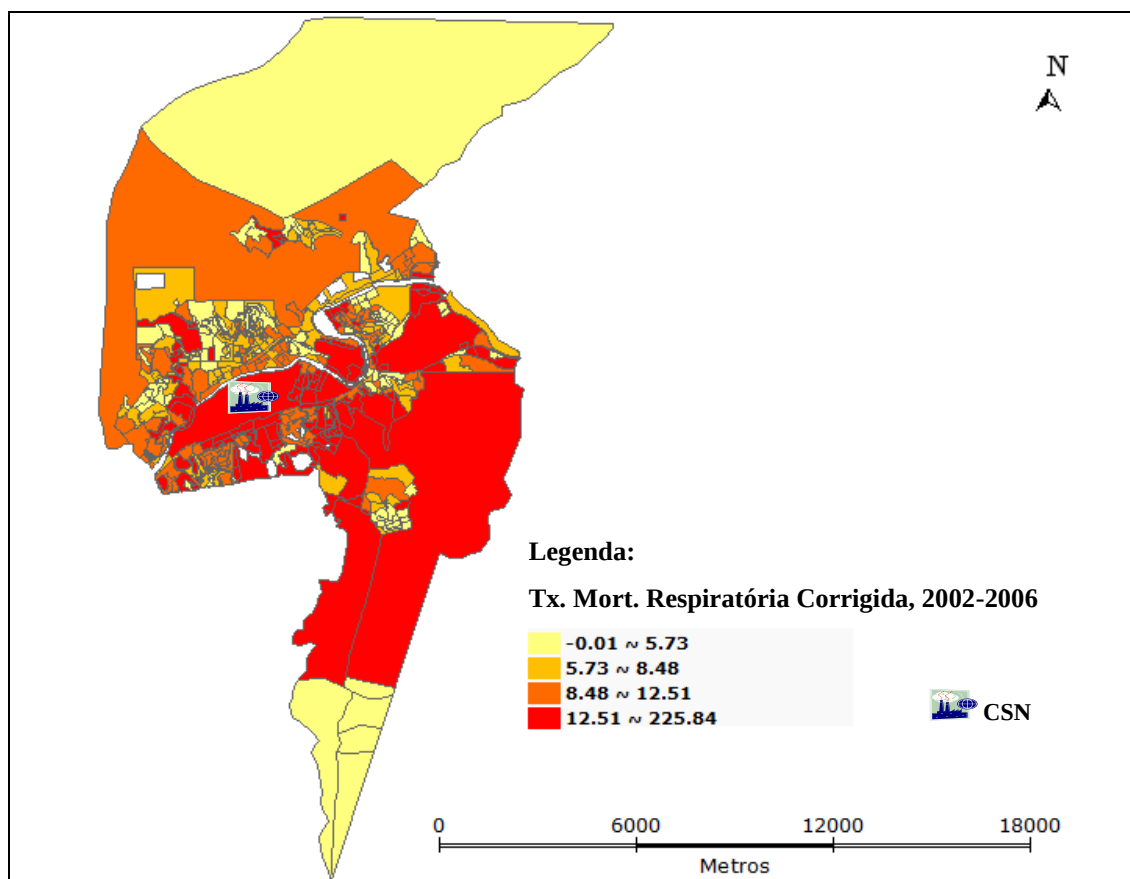


Figura 65: Distribuição espacial das taxas de mortalidade por doenças respiratórias, obtidas por método bayesiano empírico local, em Volta Redonda, RJ, para o período de 2002 a 2006.

A figura 66 mostra o mapa de Kernel apresentando a distribuição das densidades das taxas de mortalidade por doenças respiratórias em Volta Redonda. A distribuição dos casos encontram-se no entorno da CSN, diminuindo a densidade conforme se afasta para os limites do município, a maior concentração das taxas (áreas em vermelho) localizada abaixo da CSN, compreendendo parte dos territórios que compõem os bairros Eucaliptal, Conforto, Vila Santa Cecília, São Lucas, Aterrado, Bela Vista, Laranjal e uma pequena área dos bairros Rústico e Sessenta. Uma concentração menor (áreas em laranja), mas importante das taxas, estende-se do sul para o leste da CSN.

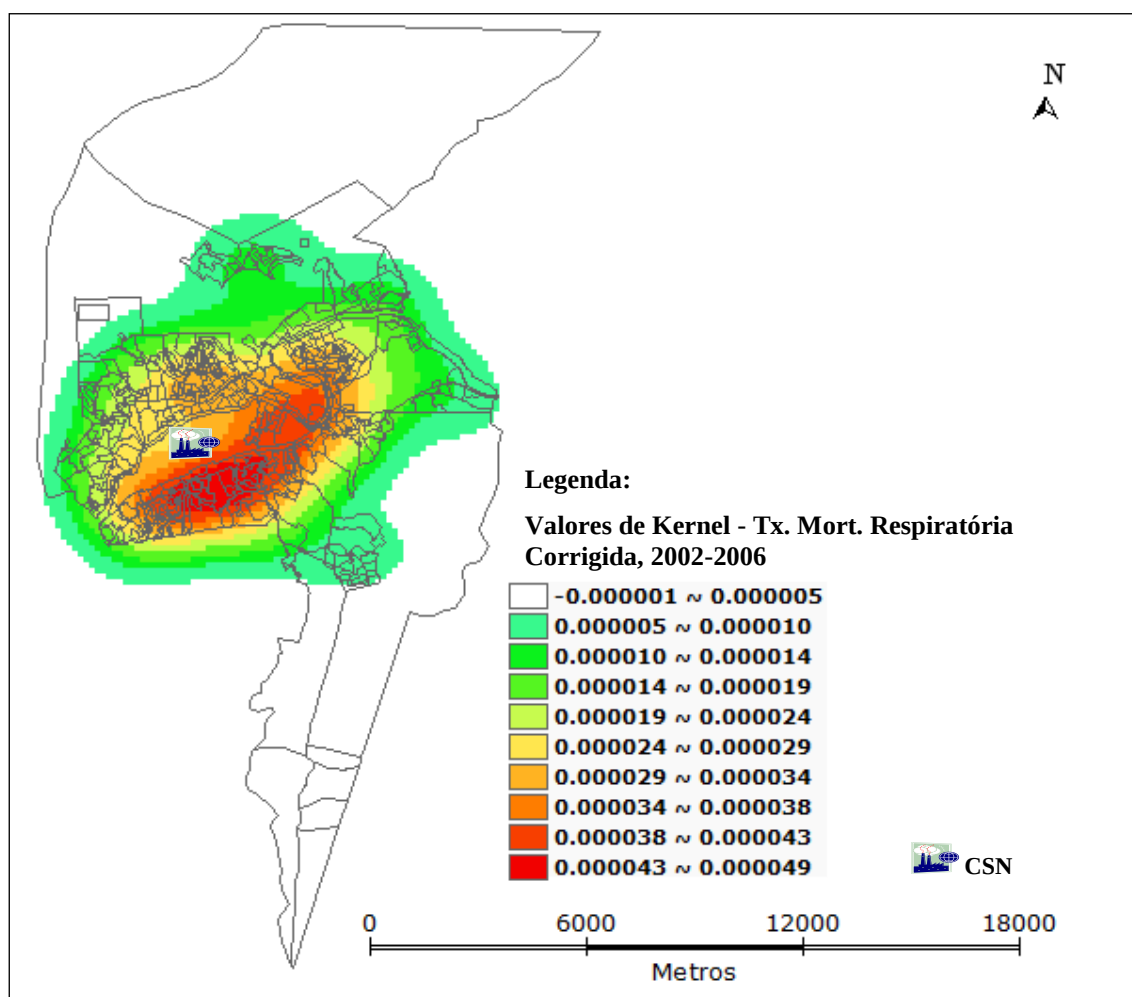


Figura 66: Superfície de densidade, segundo mapa de Kernel, das taxas de mortalidade por doenças do sistema respiratório, Volta Redonda, RJ, período de 2002 a 2006.

5.5.2 – Análise Espacial do total de óbitos por doenças do sistema cardiovascular

A figura 67 representa o mapa do Município de Volta Redonda, com o padrão das taxas de mortalidade por doenças cardiovasculares, calculadas para os setores censitários. Comparando-se ao mapa da distribuição das taxas de mortalidade por doenças respiratórias, pode-se observar neste mapa uma distribuição mais ao Norte e ao Sul da CSN do quarto quartil das taxas de mortalidade, predominando os valores referentes ao segundo e terceiro quartis ao redor da siderúrgica e, concentrando-se mais nas extremidades Norte e Sul do município as taxas referentes ao primeiro quartil.

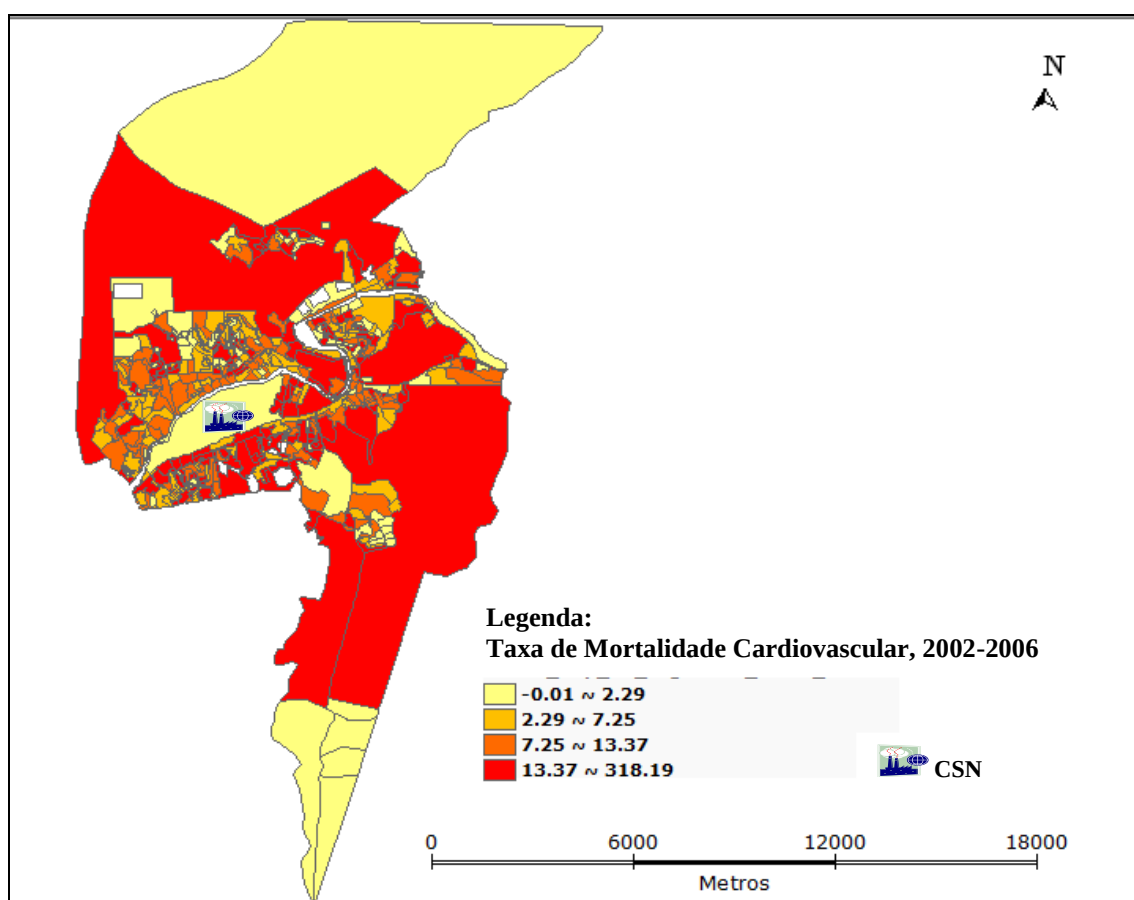


Figura 67: Distribuição espacial das taxas de mortalidade por doenças cardiovasculares, Volta Redonda, RJ, período de 2002 a 2006.

Na figura 68, a fim de diminuir a flutuação associada às pequenas áreas, a distribuição das taxas de mortalidade por doenças cardiovasculares foi suavizada usando-se o método do estimador bayesiano empírico. Com esse método pode-se observar que não existem diferenças importantes entre o mapa de distribuição das taxas de mortalidade antes e depois da correção pelo método bayesiano, exceto pela porção no extremo norte do mapa. As taxas de mortalidades referentes ao último quartil encontram-se ao Sul e Norte do Rio Paraíba do Sul, apresentando manchas mais claras acima da CSN em comparação a porção ao Sul da siderúrgica, as extremidades Norte e Sul do município apresentação as maiores áreas com as menores taxas de mortalidade cardiovascular no extremo sul.

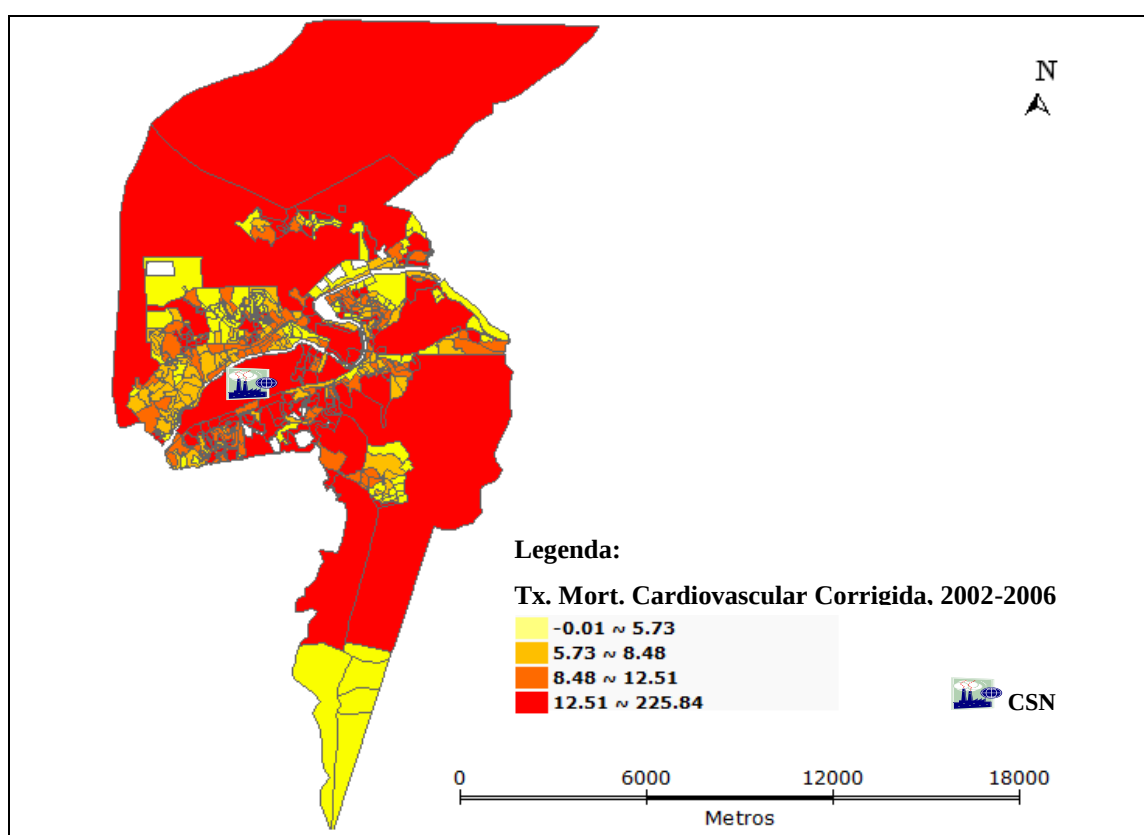


Figura 68: Distribuição espacial das taxas de mortalidade por doenças cardiovasculares, obtidas por método bayesiano empírico local, em Volta Redonda, RJ, para o período de 2002 a 2006.

A figura 69 mostra o mapa de Kernel apresentando a distribuição das densidades das taxas de mortalidade por doenças do sistema cardiovascular em Volta Redonda, entre 2002 e 2006. A distribuição das taxas dar-se pelo entorno da CSN, com diminuição da densidade conforme se afasta da siderúrgica. Diferente do mapa de distribuição da densidade das taxas de mortalidade por doenças respiratórias (Figura 66) há uma mancha deslocada de menor densidade ao sul do município. A maior concentração das taxas (áreas em vermelho) localiza-se logo abaixo da siderúrgica (ao sul), compreendendo parte dos territórios que compõem os bairros de Eucaliptal, São Lucas, Bela Vista, Vila Santa Cecília, Conforto, Laranjal e uma área menor dos bairros Rústico e Sessenta. Como também ao leste da CSN, em parte dos bairros São José, Aterrado e Aero Clube.

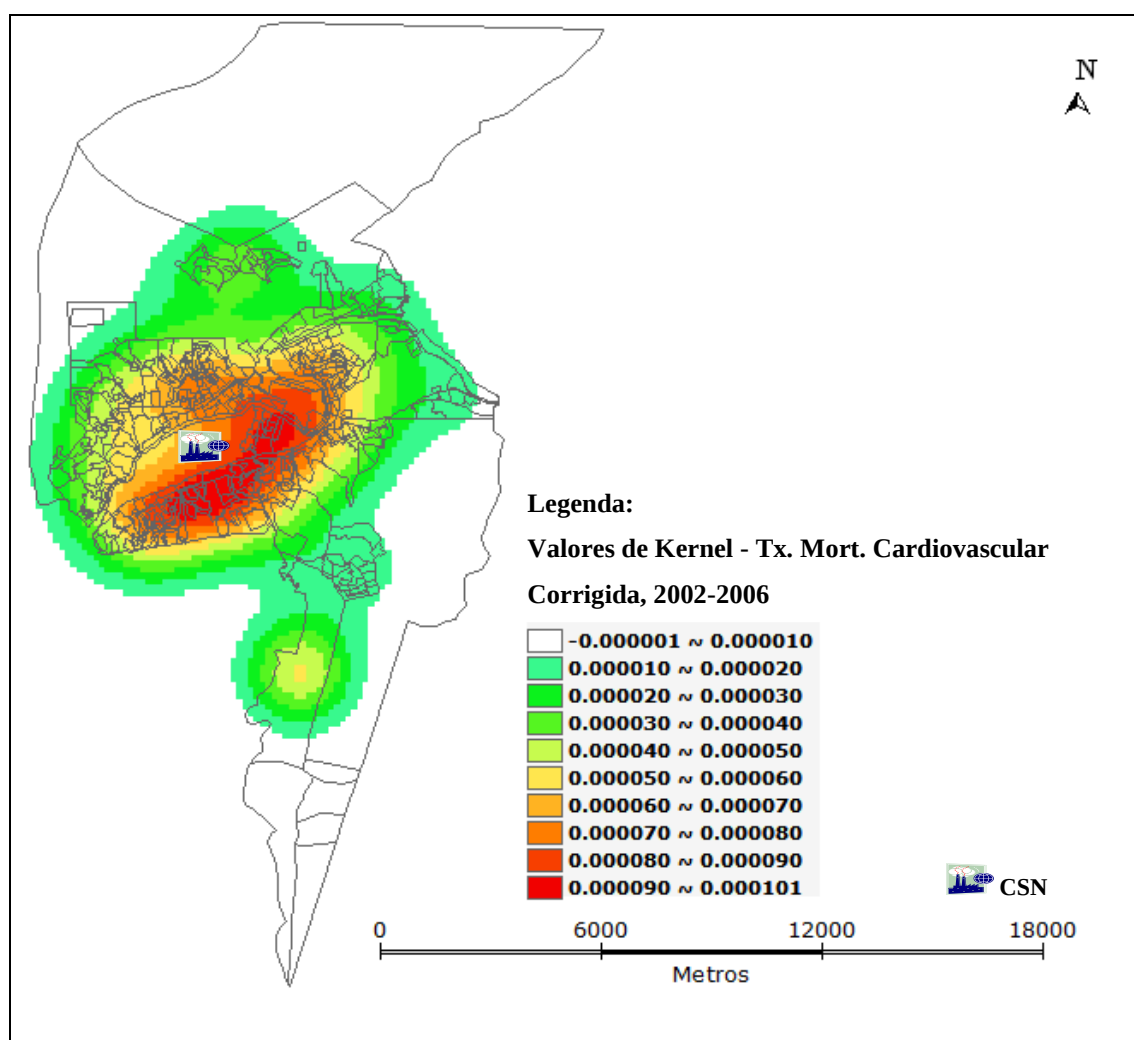


Figura 69: Superfície de densidade, segundo mapa de Kernel, das taxas de mortalidade por doenças do sistema cardiovascular, Volta Redonda, RJ, período de 2002 a 2006.

VI - DISCUSSÃO

Nos últimos anos cresce o número de estudos experimentais e epidemiológicos que investigam a associação da poluição atmosférica com os mais variados desfechos de saúde. Estes incluem estudos referentes aos efeitos na mortalidade geral ou por causas específicas como doenças cardiovasculares e respiratórias^{12, 15, 17, 19, 20, 21, 27, 64, 66, 76, 77, 78, 79}, bem como atendimentos e internações hospitalares^{67, 80, 81}.

Um modelo de estudo bastante empregado na investigação de associação entre poluição e efeitos à saúde humana é a análise de séries temporais. Segundo Castro e colaboradores³, uma das grandes vantagens da análise de séries temporais é que fatores como condição socioeconômica, ocupação ou tabagismo não são capazes de confundir a relação entre a poluição atmosférica e os efeitos na saúde, uma vez que estes fatores não apresentam variações diárias significativas. Por outro lado, fatores que apresentam tal variação e estão correlacionados com a poluição são potenciais variáveis de confusão e devem ser ajustados na análise. Entre estes fatores que sofreram ajuste neste trabalho estão as variáveis meteorológicas (temperatura e umidade) e fatores cronológicos como os dias da semana (variável para o ajuste do efeito calendário), o número total de dias transcorridos no período do estudo (variável para o ajuste de sazonalidade de longa duração) e feriados.

Os resultados da associação entre a mortalidade por doenças respiratórias e os poluentes atmosféricos, considerando o sexo como fator de susceptibilidade, possivelmente não sofreram influência em decorrência de diferenças, por serem pequenas, na proporção de mulheres na amostra de Volta Redonda ou nos percentuais de óbitos. Dessa forma, os fatores extrínsecos que poderiam interferir nos resultados observados e que não foram possíveis de determinar, através da metodologia adotada, são: a prevalência de algum determinado agravo respiratório que justifique a maior magnitude de efeito ao PM₁₀ e a ausência de efeito significativo aos demais poluentes observado nas mulheres, bem como uma resposta fisiológica mais rápida à exposição em relação à manifestação do desfecho nos homens, uma diferente distribuição espacial dessas mulheres ao longo do dia em relação aos homens, que as expusessem a maior parte do tempo a influência da pluma de contaminação, ou ainda, aspectos ligados a diferenças no estilo de vida.

A utilização de MAG permitiu que os fatores de confusão (tendência, sazonalidade, ciclo, temperatura, umidade, feriados e efeito calendário), que poderiam interferir na análise dos dados, fossem controlados com maior eficácia. A seleção do MAG como ferramenta de análise neste estudo fez-se pelo fato de esse modelo permitir que se ajustassem funções não paramétricas para variáveis que apresentam esse comportamento, minimizando possíveis erros nas estimativas de efeito e seus respectivos erros-padrão. Utilizou-se a regressão de Poisson, por permitir que fossem analisados os dados de contagem, número diário de óbitos e de internações por doenças do sistema respiratório e cardiovascular.

Observando a literatura referenciada neste estudo, nas últimas duas décadas, estudos de séries temporais têm sido conduzidos a fim de avaliar o efeito de curto prazo da poluição do ar na saúde das populações. Em estudos epidemiológicos para avaliar esses efeitos, a existência de dados faltantes nas séries ambientais é geralmente um fator complicador e, às vezes, limitador. Mesmo quando os dados são provenientes de grandes redes de monitoramento da qualidade do ar com controle de qualidade adequado, não é incomum ocorrerem dados faltantes. A medida de exposição de uma população é geralmente definida como a média das concentrações do poluente atmosférico medidas em várias estações em um dado dia. E, como sugere Junger ⁷⁰, mesmo com pequenas quantidades de dados faltantes, pode-se observar viés na medida de associação e superestimação da precisão. O autor mostra que com 5% de dados faltantes em relação a análise com unidades completas, o banco produz boas estimativas, não importando o mecanismo dos dados faltantes. Neste caso, a quantidade de dados faltantes é muito pequena para comprometer a eficiência estatística. Mesmo com essa quantidade de dados faltantes, o autor sugere que a imputação pela média ou mediana deve ser evitada.

Junger ⁷⁰ ainda discute que a validade da análise com unidades completas começa a degenerar para proporções de valores faltantes acima de 10%. O uso dos métodos multivariados é recomendado para proporções maiores de dados faltantes ou para reconstruir a distribuição dos dados e diminuir o impacto da informação perdida sobre a precisão dos estimadores.

Os procedimentos de imputação realizados neste estudo foram analisados e sugeridos em Junger ⁷⁰ por apresentarem boa acurácia para os padrões de dados faltantes com lacunas de comprimentos variados, em um mesmo dia ou em vários dias contíguos. Segundo o autor a imputação via o algoritmo EM para a distribuição normal multivariada sem ajuste temporal apresentou boas estimativas em todas as

configurações de ausências de dados avaliadas. Como as concentrações dos poluentes e dos dados climáticos, das três estações existentes em Volta Redonda, são fortemente correlacionadas entre si, proporcionou a boa acurácia deste método. Nesta aplicação, uma contribuição importante do ajuste do componente temporal foi no aumento da precisão das estimativas. As medidas de associação estimadas com os dados imputados pelo método com contribuição temporal apresentaram menor dispersão; os percentuais de dados faltosos após a imputação ficaram entre 1,04% (PM₁₀) e 3,45% (U.R.) (Tabela 5). Contudo, vale ressaltar que este trabalho trata-se de um estudo ecológico, logo uma associação observada no nível agregado não necessariamente significa que essa associação exista no nível individual.

A análise da distribuição temporal dos dados, após a imputação pelo algoritmo EM, demonstrou uma sazonalidade marcada para os níveis de PM₁₀ e SO₂, com elevação no período de inverno e declínio no verão (Figura 9 e 10). Esse fato pode ser explicado pelas características do clima mesotérmico no município de Volta Redonda, com verões quentes e chuvosos e invernos secos, sendo janeiro e fevereiro os meses com maior incidência de chuvas. No município, predominam os ventos em sentido noroeste, porém a sua localização, em fundo de vale, faz com que, na maior parte do tempo, exista calmaria, isso dificulta a dispersão dos gases e partículas. Esse processo é intensificado devido ao fenômeno de inversão térmica, comum de ocorrer no inverno, quando a camada de poluição que permanece sobre a cidade, formando uma barreira à penetração dos raios solares, diminui a insolação e impede a liberação do calor e das novas cargas de poluentes lançados ⁶⁸.

Os achados do estudo sugerem uma associação direta entre as variações diárias dos níveis de PM₁₀ (em ambos os sexos) e SO₂ (nos homens) e os óbitos por doenças do sistema respiratório, com magnitude do risco apresentando-se mais elevada entre os idosos (Figuras 16, 17, 20, 28, 29 e 32 e Tabelas 9, 10, 12, 18, 19 e 21); pode-se observar, também nesta faixa etária masculina, associação positiva com os níveis diários de O₃ (Figura 30 e Tabela 20). Esses resultados são corroborados por outros estudos epidemiológicos que sugerem que os aumentos da mortalidade associados à poluição do ar são maiores entre os idosos, assim como apontam um aumento da prevalência de doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) e outras doenças das vias respiratórias nesse grupo populacional o que também poderia ser um determinante de susceptibilidade ^{21, 33, 82}. A mesma diferença na magnitude de efeito, em relação aos

idosos, foi visualizada nos óbitos por doenças do sistema cardiovascular para um aumento diário de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} (Figuras 36 e 40 e Tabelas 24 e 27).

Mudanças fisiológicas associadas ao envelhecimento explicam a maior suscetibilidade dos idosos aos efeitos dos poluentes atmosféricos, sobretudo ao material particulado (PM). Todos os componentes do sistema respiratório costumam ser afetados pelo envelhecimento, entre eles a espirometria, a capacidade de difusão do oxigênio, a elasticidade pulmonar, a capacidade de expansão da parede torácica, a força inspiratória muscular, a captação máxima de oxigênio e o débito cardíaco máximo³³. Além disso, os idosos são mais suscetíveis às infecções respiratórias, em parte por causa de um declínio, relacionado com a idade, da resposta imunológica específica, da função ciliar e do reflexo de tosse^{19, 20, 33}.

A maior susceptibilidade dos idosos ao material particulado pode também ser devida à exposição a agentes ambientais nocivos à saúde ao longo da vida e a infecções respiratórias prévias, como observado por Meyer e colaboradores⁸³ em estudo com voluntários saudáveis e não-fumantes entre 65 e 78 anos. Os autores observaram aumento dos neutrófilos, imunoglobulinas (IgG, IgA e IgM) e interleucina-6 (IL-6) em fluido de lavagem bronco-alveolar, ao comparar com amostras coletadas em indivíduos de 20 a 36 anos. Pode-se presumir, para o grupo etário ≥ 65 anos, uma alta prevalência de doenças respiratórias crônicas. Isso poderia explicar o padrão de "colheita" (*harvesting*) observado com o aumento nos óbitos por essa causa, já que, nesse caso, a exposição a poluentes atmosféricos estaria afetando principalmente um subgrupo mais susceptível e/ou vulnerável da população, nos dias subsequentes após a exposição a maiores níveis do poluente. Vale notar que diante da ocorrência do fenômeno de colheita podem ocorrer efeitos negativos (ou protetores) dos poluentes já após poucos dias de defasagem. Porém se para os níveis de poluição existentes o tamanho do grupo susceptível não sofrer grandes alterações ao longo do tempo, o fenômeno de colheita não terá grande impacto na diminuição do número de susceptíveis e, portanto será possível ainda observar efeitos de poluentes após alguns dias de exposição.

Diferenças quanto à magnitude de efeito, moduladas pela idade, também foram observadas nas internações. A associação entre o aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} e a elevação do risco de internação por doenças respiratórias foi de 2,67% para o total da população para 4,15% entre a população idosa. Entre as crianças, o risco foi ainda maior, sendo estimado em 5,22%. Apesar deste desfecho não ter sido estratificado por

sexo há evidências que sugerem um aumento no risco de internações por esse fator em crianças. Segundo Macedo e colaboradores ⁸⁴, ao avaliar em um estudo caso-controle fatores de risco para internação por doenças respiratória em crianças de até um ano de idade na cidade de Pelotas, RS, encontraram um aumento de chance de internação (OR = 1,5; IC 95%: 1,10 - 2,20; p-valor = 0,01) entre as crianças do sexo masculino, onde fatores relacionados ao menor calibre da via aérea entre os meninos são os prováveis responsáveis por esse fenômeno.

Macedo e colaboradores ⁸⁴ ainda ressaltam a importância dos aspectos sociais e fatores comportamentais da família, assim como morbidade respiratória anterior da criança como fatores de risco para hospitalização por doença respiratória aguda. A susceptibilidade maior de crianças à poluição atmosférica está ligada também ao fato da sua imaturidade imunológica, do calibre reduzido da via aérea e dos seus pulmões não estarem totalmente desenvolvidos, favorecendo a evolução do quadro respiratório leve ou moderado para formas graves, com disfunção respiratória significativa; desta forma, quando expostos, desenvolvem uma resposta diferente da observada em adultos ^{47, 84}.

Ainda com relação às internações, pode-se observar uma associação positiva e significativa entre as doenças cardiovasculares em idosos e o PM₁₀. Contudo, a ausência de associação significativa não exclui a possibilidade de ela haver. Atkinson e colaboradores ⁸⁵ encontraram em Londres uma associação entre PM₁₀ e o aumento nas mortes cardiovasculares e admissões respectivamente de 2,2% (IC 95% = 0,6 - 3,8%) e 0,6% (IC 95% = -0,4 - 1,7%). Braniš e colaboradores ⁸⁶ ao estudar a associação entre PM_{2,5} e morbimortalidade em Praga, na República Tcheca, encontraram um aumento do risco para as internações cardiovasculares (RR = 1,164, IC 95%: 1,052-1,287) e para admissões por doenças respiratórias (RR = 1,334, IC 95%: 1,126-1,579) para uma média de 7 dias. Os autores não encontraram associação com os dados de mortalidade.

Visto a constatação de associação nos óbitos cardiovasculares, a ausência de associação estatisticamente significativa, no caso das internações, pode esta relacionada a inconsistências do banco, ligadas a problemas do sistema de informação ao qual pertence. As Autorizações de Internação Hospitalar (AIH) muitas vezes podem apresentar problemas ligados a erros de digitação e alteração do CID, o primeiro relacionado a alta rotatividade dos profissionais que lançam esses dados no sistema e/ou carência de capacitações adequadas, o segundo devido a necessidade de aumento no repasse financeiro da União ao município que prestou o serviço. Além disso, as

internações muitas vezes podem ser agendadas ou dependem da disponibilidade de leitos na rede, levando a um erro de difícil ajuste na análise.

No presente estudo, foram observadas diferenças entre a magnitude de efeito entre idosos e o conjunto da população, mas também entre os sexos. Como já mencionado, embora a maioria dos estudos epidemiológicos sobre esse tema não tenha sido realizada especificamente com esse propósito, alguns trabalhos relatam não ter observado diferenças de efeito entre os sexos, enquanto outros sugerem que a exposição à poluição atmosférica pode afetar homens e mulheres de formas diferentes.

Pope e colaboradores⁷⁶ encontraram em cidades americanas mais poluídas um nível ligeiramente superior, embora não estatisticamente significativo, do risco de mortalidade por doença cardiopulmonar em mulheres não fumantes em relação a homens não fumantes, em comparação com as cidades menos poluídas (RR = 1,57 no sexo feminino e RR = 1,24 no sexo masculino). Frampton e colaboradores⁷⁹ examinaram os efeitos respiratórios da exposição a partículas ultrafinas de carbono em homens e mulheres saudáveis e asmáticos. Embora alguns desfechos mensurados tenham mostrado pequenas diferenças entre os sexos, como a redução de monócitos no sangue e a ativação de linfócitos T em mulheres saudáveis, os resultados globais não foram encorajadores para concluir que existam diferenças de susceptibilidade entre homens e mulheres.

Diferenças mensuráveis nas respostas imunes e inflamatórias entre os sexos poderiam também explicar a maior susceptibilidade feminina, como, por exemplo, mulheres têm uma razão de linfócitos TCD4⁺:TCD8⁺ no sangue mais alta que os homens e os monócitos do sangue periférico produzem mais prostaglandina E₂ (PGE₂) e menos fator de necrose tumoral α (TNF- α), quando estimulados^{87, 88}.

Os resultados da distribuição espacial dos óbitos por doenças respiratórias e cardiovasculares, para o período de estudo, apresentaram uma distribuição dos casos em todo o município, com maiores taxas de óbitos por doenças respiratórias nos setores censitários ao Sul da CSN. As áreas de maior intensidade de casos também foram observadas ao Sul da siderúrgica, mas precisamente nos setores que compõem os bairros Eucaliptal, Conforto, Vila Santa Cecília, São Lucas, Aterrado, Bela Vista, Laranjal e uma pequena área dos bairros Rústico e Sessenta - no caso dos óbitos por doenças respiratórias (Figura 66) e Eucaliptal, São Lucas, Bela Vista, Vila Santa Cecília, Conforto,

Laranjal e uma área menor dos bairros Rústico e Sessenta - no caso dos óbitos por doenças cardiovasculares (Figura 69).

Esses resultados não eram esperados, visto ser a cidade sede de um pólo siderúrgico, onde a CSN lidera como a maior companhia desse ramo da América Latina e uma das mais produtivas do mundo, estar localizada no centro do município, e os ventos predominarem em sentido noroeste. Dessa forma, era esperada uma maior ocorrência ao norte e/ou noroeste da CSN. Contudo, vale ressaltar que Volta Redonda está localizada em um fundo de Vale, apresentando calmaria dos ventos a maior parte do tempo. Neste sentido, entende-se que exista uma dificuldade de dispersão dos poluentes, deixando-os com maior concentração próximos as suas fontes de emissão, sobretudo as mais baixas. Sendo esse cenário o correto e a CSN a principal fonte de emissão dos mesmos, poderíamos observá-lo na figura 69, onde as áreas com maior intensidade de casos ocorrem em uma área maior no entorno dessa siderúrgica.

Em outro cenário possível, podemos pensar que existe outra fonte de emissão de PM₁₀ e SO₂ (O₃ é um poluente secundário) que está afetando a mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares no município. Neste caso, a área de maior concentração de casos de óbitos por doenças respiratórias ocorre próximo aos setores censitários que compõe o bairro de Vila Santa Cecília, território este central ao sul da CSN e de também intercessão aos desfechos cardiovasculares. O bairro de Vila Santa Cecília caracteriza-se por ser composto por altitude menor em relação ao seu entorno, uma área comercial moderna com alto volume diário de tráfego veicular – Avenida dos Trabalhadores, Rodovia Lúcio Meira e Rodovia dos Metalúrgicos, além de situar-se próximo a CSN, essas característica poderiam explicar esse outro cenário, bem como uma dispersão dos poluentes nos setores próximos a ele, tais como os que compõem os bairros Eucaliptal, Conforto, Aterrado, Bela vista Laranjal e pequena parte dos bairros Rústico e Sessenta.

Peiter e Tobar⁸⁹ realizaram em Volta Redondo um estudo para a identificação dos espaços críticos relacionando os diferentes níveis de poluição com os níveis de condições materiais de vida, ou seja, os bairros com piores condições de vida e níveis de poluição elevados. Foram identificadas como espaços críticos (com condições materiais de vida desfavoráveis ou muito desfavoráveis e nível de poluição elevado e muito elevado) as áreas situadas ao Norte e Noroeste da CSN, onde viviam cerca de 32,73% da população total de Volta Redonda no período estudado, enquanto nas áreas

privilegiadas, localizadas ao Sul e Sudeste do município (com condições materiais de vida favoráveis ou muito favoráveis e nível de poluição pouco elevado) viviam o equivalente a 26,95% da população.

Peiter e Tobar⁸⁹ ressaltaram que os bairros de Jardim Padre Józimo Tavares e Santa Rita do Zarur, localizados na área mais afetada (Norte e Noroeste), são os que apresentam maior percentual de idosos (pessoas com mais de 65 anos de idade) e crianças (pessoas na faixa entre zero e cinco anos de idade), que somados representam respectivamente 16,90% e 15,69% do total das suas populações. Os demais bairros da área crítica também apresentam elevados percentuais de suas populações nestas faixas de idade, como Retiro, Vila Brasília, Belmonte e Belo Horizonte, em torno de 14% da população total.

Os bairros situados à leste da cidade, como Vila Rica, Três Poços, Candelária e Pinto da Serra, foram considerados críticos por apresentarem níveis de condições materiais de vida muito desfavoráveis, apesar de estarem situados em área pouco afetada pelos poluentes emitidos pela CSN e apresentarem uma pequena população (8,55%).

As diferenças encontradas entre as áreas de maior ocorrência dos desfechos estudados neste trabalho com as consideradas mais críticas por Peiter e Tobar⁸⁹ provavelmente não estão relacionada com a distribuição populacional, pois as taxas de mortalidade foram calculadas para cada setor censitário do município, este por padronização do IBGE possui aproximadamente o mesmo número de habitantes. Contudo, podem estar relacionadas aos períodos estudados, onde o aumento do tráfego veicular em Volta Redonda, associado a um maior controle de emissões por parte da CSN e pela ausência de dados reais de emissão decorrentes do não fornecimento pela siderúrgica ao trabalho referido. Desta forma, os autores fizeram uso de uma estimativa de emissões com base em dados coletados na literatura; considerou-se, assim, que, para cada tonelada de aço produzida, eram consumidos cerca de 1.650 kg de carvão mineral. Estimou-se que o carvão utilizado possuía uma taxa de 16% de cinzas e 1,5% de enxofre, chegando-se a uma taxa de emissão para a atmosfera de 3.626g por segundo de cinzas e 340g por segundo de enxofre.

Cabe ressaltar que, segundo os autores, essa opção metodológica não inviabilizou a aplicação dos referidos modelos, na medida em que o objetivo do trabalho

restringiu-se à identificação da situação relativa dos bairros da cidade em relação à dispersão de poluentes, identificando aqueles relativamente mais poluídos de acordo com cenários meteorológicos típicos da região. Este procedimento culminou com o desenho das isolinhas de concentração de SO₂ (média de 24 horas) sobre o mapa da cidade.

Caberia ainda mencionar outra limitação do estudo de Peiter e Tobar ⁸⁹, como a falta de dados meteorológicos regulares e específicos para a área de Volta Redonda implicando na agregação de possíveis imprecisões no modelo aplicado.

Até o presente momento, diferentemente da idade, não existem evidências suficientes para se confirmar ou se afastar a possibilidade de que o sexo possa estar relacionado à magnitude do risco para saúde pela exposição à poluição atmosférica. Como visto, diferenças fisiológicas entre os homens e mulheres sugerem um possível diferencial de resposta a determinados níveis e, sobretudo a diferentes composições químicas de poluentes atmosféricos. O presente estudo mostrou padrões distintos quanto a tendência, magnitude de efeito e tempo de defasagem à exposição segundo sexo. Esses resultados reforçam a necessidade de estudos adicionais, centrando-se na modificação de efeito da poluição atmosférica sobre a saúde humana, considerando-se o sexo como um provável fator de susceptibilidade para a ocorrência de óbito subsequente a exposição a poluentes atmosféricos, sobretudo em maiores de 65 anos.

A distribuição e análise espacial dos efeitos a saúde mostrou que essas informações devem compor os modelos para a avaliação do risco da associação entre poluentes atmosféricos e os efeitos na saúde da população, sendo também considerados para tal a estratificação por faixa etária e por sexo, levando assim mais elementos para melhor compreender como, onde, quando e em quem há maior susceptibilidade e vulnerabilidade, com o intuito de subsidiar o gerenciamento das ações de vigilância e assistência à saúde.

VII – CONCLUSÃO

Em Volta Redonda, as maiores concentrações de poluentes, exceto O_3 , de óbitos e de internações ocorreram nos meses de inverno. Com exceção do total de internações por doenças do sistema cardiovascular, o estudo constatou associação entre emissões diárias de um ou mais poluente atmosférico.

O PM_{10} apresentou-se associado a quase todos os desfechos de interesse, mesmo com níveis de emissões respectivamente dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA; o SO_2 apresentou os maiores percentuais de risco, enquanto que o O_3 somente mostrou-se significativamente associado ao aumento de risco em homens idosos, cujo desfecho estudado foi óbito por doenças respiratórias.

Nos desfechos onde ocorram estratificações por sexo, o estudo mostrou que a magnitude da associação observada foi maior nas mulheres, sobretudo entre os idosos, apresentando efeito sobre o desfecho mais tardio nos homens que nas mulheres.

Não houve casos suficientes para avaliar a magnitude do efeito para os óbitos respiratórios em crianças, contudo, sobre as internações, o risco é maior nessa faixa etária, seguido pelos idosos e pelo total da população.

O estudo evidenciou que o risco de ocorrência de óbitos por exposição ao PM_{10} tende a elevar-se nos homens à medida que aumenta o tempo após a exposição, enquanto um padrão inverso foi observado em mulheres da mesma faixa etária.

O território composto pela intercessão das áreas com maior risco para óbitos por doenças respiratórias e cardiovasculares encontra-se ao Sul da CSN, localizado nos bairros Eucaliptal, São Lucas, Bela Vista, Conforto, Vila Santa Cecília, Aterrado, Laranjal, Rústico e Sessenta.

VIII - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Hales S, Howden-Chapman P. Effects of air pollution on health. *BMJ* 2007; 335(7615): 314-5.
- 2 Golub A, Strukova E. Evaluation and identification of priority air pollutants for environmental management on the basis of risk analysis in Russia. *J Toxicol Environ Health A* 2008; 71(1): 86-91.
- 3 Castro HA, Gouveia N, Escamilla-Cejudo JA. Questões metodológicas para a investigação dos efeitos da poluição do ar na saúde. *Rev Bras Epidemiol* 2003; 6(2): 135-149.
- 4 Yoo SH, Kwak SJ, et al. Using a choice experiment to measure the environmental costs of air pollution impacts in Seoul. *J Environ Manage* 2008; 86(1): 308-18.
- 5 Freitas CM, Porto MFS, Gomez CM. Acidentes químicos ampliados: um desafio para a saúde pública. *Rev Saúde Pública* 1995; 29(6): 503-514.
- 6 Gouveia N, Fletcher T. Respiratory diseases in children and outdoor air pollution in São Paulo, Brazil: a time series analysis. *Occup Environ Med* 2000; 57:477-83.
- 7 Gouveia N, Fletcher T. Time series analysis of air pollution and mortality: effects by cause, age and socioeconomic status. *J Epidemiol Community Health* 2000; 54:750-5.
- 8 Conceição GM, Miraglia SG, Kishi HS, Saldiva PH, Singer JM. Air pollution and child mortality: a time-series study in Sao Paulo, Brazil. *Environ Health Perspect* 2001; 109 Suppl 3:347-50.
- 9 Stieb DM, Judek S, Burnett RT. Meta-analysis of time-series studies of air pollution and mortality: effects of gases and particles and the influence of cause of death, age, and season. *J Air Waste Manage Assoc* 2002; 52:470-84.
- 10 Daumas RP, Mendonço GAS, Ponce de Leon A. Poluição do ar e mortalidade em idosos no município do Rio de Janeiro: Análise de série Temporal. *Cad Saúde Pública* 2004; 20(1): 311-319.

- 11 Freitas C, Bremner SA, Gouveia N, Pereira LAA, Saldiva PHN. Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997. *Rev Saúde Pública* 2004; 38(6): 751-7.
- 12 Junger WL, De Leon AP, Mendonça AGS. Associação entre mortalidade diária por câncer de pulmão e poluição do ar no município do Rio de Janeiro: um estudo ecológico de séries temporais. *Revista Brasileira de Cancerologia* 2005; 51(2): 111-115.
- 13 Cendon S, Pereira LAA, Braga ALF, Conceição GMS, Junior AC, Romaldini H, Lopes AC, Saldiva PHN. Air pollution effects on myocardial infarction. *Rev Saúde Pública* 2006;40(3):414-9.
- 14 Woodruff TJ, Darrow LA, et al. Air pollution and postneonatal infant mortality in the United States, 1999-2002. *Environ Health Perspect* 2008; 116(1): 110-5.
- 15 Wong CM, Vichit-Vadakan N, Vajanapoom N, Ostro B, Thach TQ, Chau PY, Chan EK, Chung RY, Ou CQ, Yang L, Peiris JS, Thomas GN, Lam TH, Wong TW, Hedley AJ, Kan H, Chen B, Zhao N, London SJ, Song G, Chen G, Zhang Y, Jiang L, Qian Z, He Q, Lin HM, Kong L, Zhou D, Liang S, Zhu Z, Liao D, Liu W, Bentley CM, Dan J, Wang B, Yang N, Xu S, Gong J, Wei H, Sun H, Qin Z. Part 5. Public health and air pollution in Asia (PAPA): a combined analysis of four studies of air pollution and mortality. *Res Rep Health Eff Inst.* 2010; Nov;(154):377-418.
- 16 Braga ALF, Conceição GMS, Pereira LA, Kishi H, Pereira J, Andrade M. Air pollution and pediatric hospital admissions in São Paulo, Brazil. *Journal of Environmental Medicine* 1999; 1:95-102.
- 17 Braga ALF, Saldiva PH, Pereira LA, Menezes JJ, Conceição GM, Lin CA, et al. Health effects of air pollution exposure on children and adolescents in São Paulo, Brazil. *Pediatr Pulmonol* 2001; 31:106-13.
- 18 Brilhante OM, Tambellini AM. Particulate suspended matters and cases of respiratory disease in Rio de Janeiro city (Brazil). *Int J Environ Health Res* 2002; 12:169-74.
- 19 Martins LC, Latorre MR, Saldiva PH, Braga ALF. Air pollution and emergency room visits due to chronic lower respiratory diseases in the elderly: an ecological time-series study in Sao Paulo, Brazil. *J Occup Environ Med* 2002; 44:622-7.

- 20 Martins LC, Latorre MR, Cardoso MR, Gonçalves FL, Saldiva PH, Braga AL. Air pollution and emergency room visits due to pneumonia and influenza in Sao Paulo, Brazil. *Rev Saúde Pública* 2002; 36: 88-94.
- 21 Lin CA, Pereira LA, Conceição GMS, Kishi HS, Milani R, Braga ALF, et al. Association between air pollution and ischemic cardiovascular emergency room visits. *Environ Res* 2003; 92: 57-63.
- 22 Tan J, Zheng Y, Song G, Kalkstein LS, Kalkstein AJ, Tang X. Heat wave impacts on mortality in Shanghai, 1998 and 2003. *Int J Biometeorol* 2007; 51(3): 193-200.
- 23 Bell ML, Levy JK, et al. The effect of sandstorms and air pollution on cause-specific hospital admissions in Taipei, Taiwan. *Occup Environ Med* 2008; 65(2): 104-11.
- 24 Riedl MA. The effect of air pollution on asthma and allergy. *Curr Allergy Asthma Rep* 2008; 8(2): 139-46.
- 25 Nascimento LFC, Módolo MCC, Carvalho JA. Atmospheric pollution effects on childhood health: an environmental study in the Paraíba Valley. *Rev. Bras. Saúde Matern. Infant.* 2004; 4 (4): 367-374.
- 26 Moraes AC, Ignotti E, Netto PA, Jacobson LS, Castro H, Hacon SS. Wheezing in children and adolescents living next to a petrochemical plant in Rio Grande do Norte, Brazil. *J Pediatr (Rio J)* 2010; 86(4):337-344.
- 27 Bakonyi SMC, Danni-Oliveira IM, Lourdes Conceição Martins LC, Braga ALF. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. *Rev Saúde Pública* 2004; 38(5): 695-700.
- 28 Ward DJ, Ayres JG. Particulate air pollution and panel studies in children: a systematic review. *Occup Environ Med.* 2004; 61: 02-13.
- 29 Ritz B, Yu F, Fruin S, Chapa G, Shaw GM, Harris JA. Ambient air pollution and risk of birth defects in Southern California. *Am J Epidemiol* 2002; 155:17-25.
- 30 Gouveia N, Bremner SA, Novaes HM. Association between ambient air pollution and birth weight in São Paulo, Brazil. *J Epidemiol Community Health* 2004; 58:11-7.

- 31 Seo JH, Há EH, Kim OJ, Kim BM, Park HS, Lêem JH, Hong YC, Kim YJ. Environmental health surveillance of low birth weight in Seoul using monitoring and birth data. *J Prev Med Public Health*. 2007; 40(5):363-70.
- 32 Filleul L, Rondeau V, Vandentorren S, Lê Moual N, Cantagrel A, Annesi-Maesano I, Charpin D, Declercq C, Neukirch F, Paris C, Vervloet D, Brochard P, Tessier JF, KauffmannF, Baldi I. Twenty five year mortality and air pollution: results from the French PAARC survey. *Occup Environ Med*. 2005; 62: 453-460.
- 33 WHO. *Air Quality Guidelines – Global Update 2005*. Germany 2006: 496p.
- 34 Jacobson MZ. Effects of ethanol (E85) versus gasoline vehicles on cancer and mortality in the United States. *Environ Sci Technol* 2007; 41(11): 4150-7.
- 35 Moreno T, Querol X, et al. Airborne particulate matter and premature deaths in urban Europe: the new WHO guidelines and the challenge ahead as illustrated by Spain. *Eur J Epidemiol* 2007; 22(1): 1-5.
- 36 Ostro, B, Feng WY, et al. The effects of components of fine particulate air pollution on mortality in California: results from CALFINE. *Environ Health Perspect* 2007; 115(1): 13-9.
- 37 Bell ML, Dominici F. Effect modification by community characteristics on the short-term effects of ozone exposure and mortality in 98 US communities. *Am J Epidemiol* 2008; 167(8): 986-97.
- 38 Dockery DW, Pope CA,. Acute Respiratory Effects of Particulate Air Pollution. *Ann Rev of Public Health* 1994; 15: 107-132.
- 39 Stone V. Environmental air pollution. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;162:S47.
- 40 American Thoracic Society. Committee of the environmental and occupational health Assembly of the American Thoracic Society. Health effects of outdoor air pollution. Part 1. *Am J Respir Crit Care Med* 1996; 153: 3.
- 41 American Thoracic Society. Committee of the environmental and occupational health Assembly of the American Thoracic Society. Health effects of outdoor air pollution. Part 2. *Am J Respir Crit Care Med* 1996; 153: 477.

- 42 Koenig JQ, Pierson WE, Hoike M, Frank NR. Effects of SO₂ plus NaCl aerosol combined with moderate exercise on pulmonary function in asthmatic adolescents. *Environ Res* 1981; 25: 340-8.
- 43 Mohsenin V, Gee BL. Acute effect on nitrogen dioxide exposure on the functional activity of alpha-1-protease inhibitor in bronchoalveolar lavage fluid on normal subjects. *Am Rev Respir Dis* 1987; 136: 646- 50.
- 44 Gomes MJM. Ambiente e pulmão. *Pneumol* 2002; 28(5): 261-9.
- 45 Romieu I, Menezes F, Ruiz S, Sienra JJ, Huerta J, White MC, et al. Effects of air pollution on the respiratory health of asthmatic children living in Mexico City. *Am J Respir Crit Care Med* 1996; 154: 300-7.
- 46 Díez FB, Tenías & Pérez-Hoyos S. Efectos de La contaminación atmosférica sobre La salud: uma introducción. *Rev Esp Salud Pública* 1999; 73: 109-121.
- 47 Schwartz J. Air pollution and daily mortality: a review and meta analysis. *Environ Res* 1994; 64:36-52.
- 48 World Health Organization Regional Office for Europe. Air Quality Guidelines for Europe: Copenhagen. World Health Organization Regional Publications, European series 1987; n° 23.
- 49 Katsouyanni K. APHEA Project Coordinator. The APHEA Project. Short term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiological time series data. *J Epidemiol Comm Health* 1996; 50(Suppl 1): S2-S80.
- 50 Report of a WHO Working Group Bilthoven 2001. Quantification of the Health Effects of Exposure to Air Pollution, Netherlands 20-22 November 2000.
- 51 Report on a WHO/HEI Workshop Bonn 2003. Exposure assessment in studies on the chronic effects of long-term exposure to air pollution. Germany 4-5 February 2002.
- 52 Bickerstaff K. Risk perception research: socio-cultural perspectives on the public experience of air pollution. *Environment International* 2004; 30: 827-840.
- 53 Chen, Y, Craig L, et al. Air quality risk assessment and management. *J Toxicol Environ Health A* 2008; 71(1): 24-39.

- 54 Arbex MA, Cançado JED, Pereira LAA, Braga ALF, Saldiva PHN. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. *J Bras Pneumol* 2004; 30(2): 158-175.
- 55 Cohen AJ, Anderson HR, Ostra B, Pandey KD, Krzyzanowski M, Künzli N, Gutschmidt K, Pope A, Romieu I, Samet JM, Smith K. The global burden of disease due to outdoor air pollution. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 2005; 68:1-7.
- 56 Martins LC, Pereira LAA, Lin CA, Santos UP, Prioli G, Olinda CL, Saldiva PHN, BRAGA ALF. The effects of air pollution on cardiovascular diseases: lag structures. *Rev Saúde Pública* 2006;40(4):677-83.
- 57 Casas SB, Peña-Cortés F, Bustingorry SO. Efectos de la contaminación atmosférica por material particulado em lãs enfermedades respiratórias agudas em menores de 5 años. *Ciência y Enfermería* 2004; 10(2): 21-29.
- 58 Lopes FS e 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. *Rev Bras Epidemiol* 2006; 9(2): 215-25.
- 59 Poulou T, Kanaroglou PS, et al. Assessing the health impacts of air pollution: a re-analysis of the Hamilton children's cohort data using a spatial analytic approach. *Int J Environ Health Res* 2008; 18(1): 17-35.
- 60 Forastiere, F., M. Stafoggia, et al. Socioeconomic status, particulate air pollution, and daily mortality: differential exposure or differential susceptibility. *Am J Ind Med* 2007; 50(3): 208-16.
- 61 Laurent O, Bard D, et al. Effect of socioeconomic status on the relationship between atmospheric pollution and mortality. *J Epidemiol Community Health* 2007; 61(8): 665-75.
- 62 Naess O, Piro FN, et al. Air pollution, social deprivation, and mortality: a multilevel cohort study. *Epidemiology* 2007; 18(6): 686-94.
- 63 Premji S, Bertrand F, et al. Socio-economic correlates of municipal-level pollution emissions on Montreal Island. *Can J Public Health* 2007; 98(2): 138-42.

- 64 Saldiva PHN, Lichtenfels AJFC, Paiva PSO, Barone IA, Martins MA, Massad E, Pereira JCR, Xavier V, Singer JM, Böhn GM. Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in São Paulo: a preliminary report. *Environmental Research* 1994; 65:218-225.
- 65 Nascimento LFC, Pereira LAA, Braga ALF, Módolo MCC, Carvalho JÁ. Efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil em São José dos Campos, SP. *Rev. Saúde Pública* 2006; 40(1): 77-82.
- 66 Castro HA, Cunha MF, Mendonça GAC, Junguer WL, Cubha-Cruz J, Leon AP. Efeitos da poluição do ar na função respiratória de escolares, Rio de Janeiro, RJ. *Rev. Saúde Pública* 2009; 43(1): 26-34.
- 67 Mascarenhas MDM, Vieira LC, Tatiana Miranda Lanzieri TM, Leal APPRIII; Duarte AF, Hatch DL. Poluição atmosférica devida à queima de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doença respiratória em Rio Branco, Brasil - Setembro, 2005. *J Bras Pneumol.* 2008; 34(1):42-6.
- 68 PortalVR. Cidade. <http://www.voltaredonda.rj.gov.br/cidade/index.php>. (Acessado em 12 de maio de 2010).
- 69 Borja-Aburto VH. Estudios Ecológicos. *Salud Pública de México* 2000; 42: 533-538.
- 70 Junger WL. Análise, imputação de dados e interfaces computacionais em estudos de séries temporais epidemiológicas [Tese]. [Rio de Janeiro]: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Medicina Social 2008; 178p.
- 71 Hastie TJ, Tibshirani RJ. *Generalized Additive Models*, New York: Chapman and Hall; 1990.
- 72 Conceição GMS, Saldiva PHN, Singer JM. Modelos MLG e MAG para análise da associação entre poluição atmosférica e marcadores de morbi-mortalidade: uma introdução baseada em dados da cidade de São Paulo. *Rev. Bras. Epidemiol* 2001; 4(3): 206-219.
- 73 Braga ALF, Zanobetti A, Schwartz J. The lag structure between particulate air pollution and respiratory and cardiovascular deaths in 10 US cities. *J Occup Environ Méd* 2001; 43(11): 927-933.

- 74 Akaike H. Information theory as an extension of the maximum likelihood principle. In BN Petrov and F Csaki, editors. Second International Symposium on Information Theory. Budapest 1973; 267-281.
- 75 R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org> (acessado em 10/Jan/2010).
- 76 Pope CA, Thun MJ, Namboodiri MM. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of US adults. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;151: 669-74.
- 77 Pope CA III; Burnett R; Thun MJ; Calle EE; Krewski D; Ito K; Thurston GD.. Lung cancer, cardiopulmonary mortality and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 2002; 287(9): 1132-1141.
- 78 De Leon SM, Thurston GD, Ito K. Contribution of respiratory disease to nonrespiratory mortality associations with air pollution. *Am J Respir Care Med* 2003; 167: 1117-1123.
- 79 Frampton MW, Utell MJ, Zareba W, Oberdörster G, Cox C, Huang LS, Morrow PE, Lee FE, Chalupa D, Frasier LM, Speers DM, Stewart J. Effects of exposure to ultrafine carbon particles in healthy subjects and subjects with asthma. Boston, MA, Health Effects Institute; 2004.
- 80 Pereira-Filho MA, Pereira LA, Arbex FF, Arbex M, Conceição GM, Santos UP, Lopes AC, Saldiva PH, Braga AL, Cendon S. Effect of air pollution on diabetes and cardiovascular diseases in São Paulo, Brazil. *Braz J Med Biol Res* 2008; 41(6):526-32.
- 81 Nogueira JB. Poluição Atmosférica e Doenças Cardiovasculares. *Rev Port Cardiol* 2009; 28 (6): 715-733
- 82 Frank R, Tankersley C. Air pollution and daily mortality: a hypothesis concerning the role of impaired homeostasis. *Environ health Perspect* 2002; 110(1): 61-65.
- 83 Meyer KC, Ershler W, Rosenthal NS, Lu XG, Peterson K. Immune dysregulation in the aging human lung. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 1996; 153: 1072-1079.

- 84 Macedo SEC, Menezes AMB, Albernaz E, Post P, Knorst M. Fatores de risco para internação por doença respiratória aguda em crianças até um ano de idade. *Rev Saúde Pública* 2007; 41(3):351-8.
- 85 Atkinson RW, Fuller GW, Anderson HR, Harrison RM, Armstrong B. Urban ambient particle metrics and health: a time-series analysis. *Epidemiology* 2010; 21(4): 501-11.
- 86 Braniš M, Vyškovská J, Malý M, Hovorka J. Association of size-resolved number concentrations of particulate matter with cardiovascular and respiratory hospital admissions and mortality in Prague, Czech Republic. *Inhal Toxicol.* 2010;22 (2):21-8.
- 87 Leslie CA, Dubey DP. Increased PGE₂ from human monocytes isolated in the luteal phase of the menstrual cycle. Implications for immunity? *Prostaglandins* 1994; 47:41–54.
- 88 Schwarz E, Schäfer C, Bode JC, Bode C. Influence of the menstrual cycle on the LPS-induced cytokine response of monocytes. *Cytokine* 2000; 12:413–416.
- 89 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. *Cad Saúde Pública* 1998; 14(3): 473-485.

IX – ANEXO

9.1 - Tabelas da análise de séries temporais

Tabela 6: Aumento percentual do total dos óbitos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	-0,51	-6,205	5,526	0,864
Defasagem de 1 dia	3,35	-2,216	9,224	0,244
Defasagem de 2 dias	2,58	-2,739	8,183	0,349
Defasagem de 3 dias	0,65	-4,552	6,133	0,811
Defasagem de 4 dias	1,68	-3,523	7,171	0,534
Defasagem de 5 dias	0,74	-4,472	6,235	0,786

Tabela 7: Aumento percentual do total dos óbitos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	-2,95	-14,698	10,418	0,649
Defasagem de 1 dia	0,64	-11,552	14,522	0,922
Defasagem de 2 dias	4,62	-7,748	18,646	0,482
Defasagem de 3 dias	-11,43	-22,611	1,3641	0,078
Defasagem de 4 dias	-3,69	-15,446	9,692	0,571
Defasagem de 5 dias	-7,69	-19,102	5,333	0,235

Tabela 8: Aumento percentual do total dos óbitos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	0,79	-2,616	4,323	0,653
Defasagem de 1 dia	2,40	-1,044	5,963	0,174
Defasagem de 2 dias	2,68	-0,633	6,099	0,114
Defasagem de 3 dias	-0,08	-3,223	3,155	0,958
Defasagem de 4 dias	-0,43	-3,512	2,740	0,786
Defasagem de 5 dias	1,42	-1,639	4,577	0,367

Tabela 9: Aumento percentual do total dos óbitos de homens por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	-0,10	-8,18	8,68	0,98
Defasagem de 1 dia	-2,29	-9,93	5,99	0,58
Defasagem de 2 dias	-3,44	-10,72	4,43	0,38
Defasagem de 3 dias	-7,08	-14,13	0,56	0,07
Defasagem de 4 dias	-2,13	-9,31	5,62	0,58
Defasagem de 5 dias	-0,87	-8,18	6,94	0,82
Defasagem de 6 dias	2,58	-4,79	10,51	0,50
Defasagem de 7 dias	-0,18	-7,48	7,69	0,96
Defasagem de 8 dias	5,85	-1,55	13,80	0,12
Defasagem de 9 dias	8,25	0,86	16,18	0,03
Defasagem de 10 dias	3,90	-3,42	11,79	0,30

Tabela 10: Aumento percentual do total dos óbitos de homens por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	3,17	-13,194	22,617	0,723
Defasagem de 1 dia	6,67	-10,111	26,580	0,460
Defasagem de 2 dias	12,22	-4,992	32,527	0,175
Defasagem de 3 dias	-8,63	-23,827	9,618	0,332
Defasagem de 4 dias	4,03	-12,470	23,637	0,654
Defasagem de 5 dias	-2,74	-18,554	16,150	0,759
Defasagem de 6 dias	3,02	-13,259	22,357	0,734
Defasagem de 7 dias	5,64	-10,792	25,099	0,525
Defasagem de 8 dias	11,53	-5,423	31,534	0,194
Defasagem de 9 dias	15,99	-1,126	36,063	0,069
Defasagem de 10 dias	20,53	2,974	41,090	0,020

Tabela 11: Aumento percentual do total dos óbitos de homens por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	1,36	-3,349	6,292	0,578
Defasagem de 1 dia	2,38	-2,352	7,337	0,330
Defasagem de 2 dias	2,10	-2,445	6,857	0,371
Defasagem de 3 dias	-2,61	-6,875	1,839	0,245
Defasagem de 4 dias	-0,60	-4,825	3,810	0,785
Defasagem de 5 dias	1,76	-2,463	6,172	0,419
Defasagem de 6 dias	3,02	-1,193	7,405	0,163
Defasagem de 7 dias	1,62	-2,542	5,955	0,452
Defasagem de 8 dias	3,59	-0,591	7,939	0,093
Defasagem de 9 dias	3,64	-0,543	7,991	0,089
Defasagem de 10 dias	0,91	-3,259	5,266	0,673

Tabela 12: Aumento percentual do total dos óbitos de mulheres por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	-0,87	-8,867	7,833	0,839
Defasagem de 1 dia	9,49	1,455	18,152	0,020
Defasagem de 2 dias	8,30	0,650	16,528	0,033
Defasagem de 3 dias	8,62	1,115	16,686	0,024
Defasagem de 4 dias	5,68	-1,765	13,699	0,138
Defasagem de 5 dias	2,58	-4,839	10,570	0,506
Defasagem de 6 dias	2,10	-5,318	10,094	0,589
Defasagem de 7 dias	5,60	-1,869	13,649	0,145
Defasagem de 8 dias	1,92	-5,492	9,904	0,622
Defasagem de 9 dias	0,26	-7,102	8,206	0,947
Defasagem de 10 dias	0,73	-6,705	8,750	0,853

Tabela 13: Aumento percentual do total dos óbitos de mulheres por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	-10,17	-26,047	9,103	0,279
Defasagem de 1 dia	-7,83	-24,259	12,164	0,416
Defasagem de 2 dias	-4,72	-21,355	15,441	0,622
Defasagem de 3 dias	-14,84	-30,358	4,141	0,118
Defasagem de 4 dias	-12,33	-28,038	6,817	0,192
Defasagem de 5 dias	-13,00	-28,575	5,978	0,167
Defasagem de 6 dias	1,95	-15,233	22,610	0,838
Defasagem de 7 dias	-4,545	-20,858	15,131	0,627
Defasagem de 8 dias	-15,24	-30,412	3,247	0,100
Defasagem de 9 dias	-9,11	-24,918	10,028	0,327
Defasagem de 10 dias	-5,51	-21,795	14,170	0,557

Tabela 14: Aumento percentual do total dos óbitos de mulheres por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	-0,04	-4,923	5,083	0,986
Defasagem de 1 dia	2,44	-2,515	7,650	0,340
Defasagem de 2 dias	3,26	-1,498	8,244	0,183
Defasagem de 3 dias	2,58	-1,975	7,351	0,271
Defasagem de 4 dias	-0,49	-4,903	4,125	0,831
Defasagem de 5 dias	0,76	-3,600	5,329	0,736
Defasagem de 6 dias	0,81	-3,534	5,359	0,718
Defasagem de 7 dias	0,95	-3,353	5,448	0,670
Defasagem de 8 dias	0,49	-3,834	5,001	0,829
Defasagem de 9 dias	0,85	-3,469	5,374	0,703
Defasagem de 10 dias	-2,47	-6,784	2,047	0,279

Tabela 15: Aumento percentual do total dos óbitos de idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	-1,73	-9,920	7,209	0,695
Defasagem de 1 dia	4,56	-3,797	13,612	0,295
Defasagem de 2 dias	3,68	-4,305	12,312	0,377
Defasagem de 3 dias	1,50	-6,301	9,930	0,716
Defasagem de 4 dias	6,79	-1,284	15,511	0,101
Defasagem de 5 dias	4,88	-3,100	13,513	0,238

Tabela 16: Aumento percentual do total dos óbitos de idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	-9,72	-26,175	10,390	0,319
Defasagem de 1 dia	-6,14	-22,963	14,354	0,529
Defasagem de 2 dias	3,52	-14,034	24,651	0,715
Defasagem de 3 dias	-17,81	-32,889	0,658	0,058
Defasagem de 4 dias	4,14	-13,769	25,776	0,673
Defasagem de 5 dias	-4,23	-21,320	16,571	0,666

Tabela 17: Aumento percentual do total dos óbitos de idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	1,30	-3,602	6,444	0,610
Defasagem de 1 dia	1,09	-3,854	6,284	0,672
Defasagem de 2 dias	-0,87	-5,558	4,056	0,724
Defasagem de 3 dias	-1,36	-5,853	3,338	0,563
Defasagem de 4 dias	-2,72	-7,132	1,894	0,243
Defasagem de 5 dias	1,21	-3,308	5,943	0,605

Tabela 18: Aumento percentual do total dos óbitos de homens idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	-1,49	-10,653	8,617	0,763
Defasagem de 1 dia	-3,07	-11,795	6,506	0,516
Defasagem de 2 dias	-1,45	-9,887	7,772	0,749
Defasagem de 3 dias	-5,70	-13,902	3,279	0,206
Defasagem de 4 dias	-0,58	-8,956	8,571	0,897
Defasagem de 5 dias	-1,08	-9,480	8,102	0,811
Defasagem de 6 dias	1,41	-7,033	10,616	0,752
Defasagem de 7 dias	-2,09	-10,389	6,968	0,639
Defasagem de 8 dias	6,25	-2,195	15,428	0,151
Defasagem de 9 dias	9,53	1,096	18,673	0,026
Defasagem de 10 dias	9,06	0,564	18,279	0,036

Tabela 19: Aumento percentual do total dos óbitos de homens idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	-4,17	-22,477	18,464	0,694
Defasagem de 1 dia	0,09	-18,628	23,100	0,994
Defasagem de 2 dias	6,53	-12,817	30,150	0,536
Defasagem de 3 dias	-12,79	-29,946	8,585	0,221
Defasagem de 4 dias	10,40	-9,679	34,951	0,334
Defasagem de 5 dias	-4,42	-22,728	18,235	0,677
Defasagem de 6 dias	2,98	-16,224	26,595	0,780
Defasagem de 7 dias	-2,66	-21,042	19,989	0,800
Defasagem de 8 dias	7,11	-12,245	30,739	0,499
Defasagem de 9 dias	17,30	-2,887	41,680	0,098
Defasagem de 10 dias	22,84	1,970	47,974	0,030

Tabela 20: Aumento percentual do total dos óbitos de homens idosos por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	4,17	-1,449	10,104	0,149
Defasagem de 1 dia	2,05	-3,486	7,895	0,476
Defasagem de 2 dias	2,37	-2,954	7,984	0,390
Defasagem de 3 dias	-2,31	-7,338	3,002	0,388
Defasagem de 4 dias	0,50	-4,514	5,762	0,850
Defasagem de 5 dias	3,18	-1,848	8,453	0,220
Defasagem de 6 dias	2,88	-2,057	8,058	0,258
Defasagem de 7 dias	0,42	-4,447	5,526	0,870
Defasagem de 8 dias	3,74	-1,169	8,891	0,138
Defasagem de 9 dias	6,21	1,250	11,405	0,013
Defasagem de 10 dias	2,10	-2,789	7,239	0,406

Tabela 21: Aumento percentual do total dos óbitos de mulheres idosas por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de Material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	0,60	-8,358	10,440	0,899
Defasagem de 1 dia	9,74	0,796	19,469	0,032
Defasagem de 2 dias	7,35	-1,187	16,627	0,093
Defasagem de 3 dias	9,91	1,481	19,038	0,020
Defasagem de 4 dias	8,39	0,019	17,469	0,049
Defasagem de 5 dias	5,40	-2,943	14,472	0,211

Tabela 22: Aumento percentual do total dos óbitos de mulheres idosas por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	-7,49	-25,650	15,111	0,485
Defasagem de 1 dia	-2,03	-21,302	21,963	0,854
Defasagem de 2 dias	1,49	-17,972	25,562	0,892
Defasagem de 3 dias	-10,11	-28,256	12,632	0,354
Defasagem de 4 dias	-8,84	-27,011	13,859	0,415
Defasagem de 5 dias	-8,96	-27,062	13,632	0,406

Tabela 23: Aumento percentual do total dos óbitos de mulheres idosas por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	0,79	-4,748	6,656	0,784
Defasagem de 1 dia	1,42	-4,167	7,328	0,626
Defasagem de 2 dias	1,31	-4,036	6,961	0,637
Defasagem de 3 dias	3,49	-1,690	8,946	0,190
Defasagem de 4 dias	1,92	-3,100	7,211	0,460
Defasagem de 5 dias	1,99	-2,933	7,158	0,435

Tabela 24: Aumento percentual do total dos óbitos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	1,12	-2,604	4,991	0,560
Defasagem de 1 dia	1,01	-2,582	4,735	0,586
Defasagem de 2 dias	3,67	0,203	7,263	0,038
Defasagem de 3 dias	2,04	-1,355	5,552	0,242
Defasagem de 4 dias	1,10	-2,286	4,606	0,529
Defasagem de 5 dias	0,61	-2,765	4,094	0,728

Tabela 25: Aumento percentual do total dos óbitos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre particulado (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	-0,29	-8,055	8,131	0,944
Defasagem de 1 dia	-3,75	-11,400	4,567	0,366
Defasagem de 2 dias	1,34	-6,609	9,971	0,749
Defasagem de 3 dias	1,46	-6,533	10,132	0,729
Defasagem de 4 dias	-2,89	-10,665	5,555	0,490
Defasagem de 5 dias	0,54	-7,312	9,069	0,896

Tabela 26: Aumento percentual do total dos óbitos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	-1,08	-3,265	1,160	0,343
Defasagem de 1 dia	0,14	-2,073	2,396	0,904
Defasagem de 2 dias	0,62	-1,492	2,781	0,567
Defasagem de 3 dias	0,50	-1,519	2,566	0,629
Defasagem de 4 dias	0,60	-1,385	2,620	0,557
Defasagem de 5 dias	1,25	-0,715	3,247	0,214

Tabela 27: Aumento percentual dos óbitos de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	2,18	-2,516	7,102	0,369
Defasagem de 1 dia	2,76	-1,774	7,514	0,237
Defasagem de 2 dias	5,23	0,847	9,811	0,019
Defasagem de 3 dias	2,50	-1,772	6,968	0,255
Defasagem de 4 dias	2,15	-2,124	6,622	0,329
Defasagem de 5 dias	0,27	-3,973	4,709	0,901

Tabela 28: Aumento percentual dos óbitos de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre particulado (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	-3,78	-13,326	6,813	0,469
Defasagem de 1 dia	-4,61	-14,160	5,997	0,380
Defasagem de 2 dias	2,10	-7,913	13,197	0,693
Defasagem de 3 dias	0,77	-9,200	11,833	0,885
Defasagem de 4 dias	-3,96	-13,586	6,744	0,454
Defasagem de 5 dias	-1,63	-11,302	9,099	0,756

Tabela 29: Aumento percentual dos óbitos de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	-0,96	-3,723	1,876	0,502
Defasagem de 1 dia	-0,15	-2,936	2,725	0,919
Defasagem de 2 dias	2,13	-0,558	4,900	0,121
Defasagem de 3 dias	0,46	-2,084	3,071	0,726
Defasagem de 4 dias	-0,31	-2,813	2,264	0,813
Defasagem de 5 dias	0,92	-1,566	3,470	0,472

Tabela 30: Aumento percentual do total das internações por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	1,87	-0,446	4,246	0,114
Defasagem de 1 dia	1,68	-0,597	4,001	0,150
Defasagem de 2 dias	2,67	0,397	4,998	0,021
Defasagem de 3 dias	1,96	-0,316	4,296	0,092
Defasagem de 4 dias	1,34	-0,916	3,642	0,247
Defasagem de 5 dias	0,21	-1,958	2,426	0,851

Tabela 31: Aumento percentual do total das internações por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	5,89	0,115	11,998	0,045
Defasagem de 1 dia	4,60	-1,143	10,687	0,118
Defasagem de 2 dias	6,59	0,760	12,761	0,026
Defasagem de 3 dias	-1,77	-7,259	4,032	0,541
Defasagem de 4 dias	2,08	-3,592	8,083	0,480
Defasagem de 5 dias	0,21	-5,274	6,012	0,942

Tabela 32: Aumento percentual do total das internações por doenças do sistema respiratório, relativos a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	-0,74	-2,139	0,687	0,309
Defasagem de 1 dia	0,38	-1,049	1,836	0,602
Defasagem de 2 dias	-0,09	-1,489	1,330	0,901
Defasagem de 3 dias	-0,27	-1,624	1,093	0,692
Defasagem de 4 dias	-0,75	-2,089	0,616	0,282
Defasagem de 5 dias	0,15	-1,186	1,514	0,822

Tabela 33: Aumento percentual das internações de idosos por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	1,19	-2,888	5,437	0,573
Defasagem de 1 dia	0,53	-3,443	4,669	0,797
Defasagem de 2 dias	4,15	0,168	8,289	0,041
Defasagem de 3 dias	0,94	-2,962	5,000	0,642
Defasagem de 4 dias	0,07	-3,775	4,066	0,973
Defasagem de 5 dias	-1,75	-5,498	2,149	0,374

Tabela 34: Aumento percentual das internações de idosos por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	1,42	-8,000	11,804	0,777
Defasagem de 1 dia	2,33	-7,192	12,823	0,644
Defasagem de 2 dias	6,94	-2,962	17,861	0,176
Defasagem de 3 dias	-5,82	-14,882	4,197	0,245
Defasagem de 4 dias	-4,16	-13,320	5,964	0,407
Defasagem de 5 dias	-1,77	-10,975	8,396	0,723

Tabela 35: Aumento percentual das internações de idosos por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	-0,47	-2,932	2,061	0,714
Defasagem de 1 dia	-0,91	-3,410	1,648	0,481
Defasagem de 2 dias	0,05	-2,436	2,591	0,971
Defasagem de 3 dias	-0,44	-2,824	2,010	0,724
Defasagem de 4 dias	-0,61	-2,981	1,818	0,619
Defasagem de 5 dias	-0,95	-3,297	1,448	0,433

Tabela 36: Aumento percentual das internações de crianças por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	0,77	-4,372	6,196	0,773
Defasagem de 1 dia	2,14	-2,919	7,470	0,413
Defasagem de 2 dias	5,22	0,142	10,560	0,044
Defasagem de 3 dias	1,48	-3,529	6,748	0,570
Defasagem de 4 dias	0,16	-4,807	5,390	0,950
Defasagem de 5 dias	-1,05	-5,865	4,006	0,677

Tabela 37: Aumento percentual das internações de crianças por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre particulado (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	1,06	-11,571	15,495	0,877
Defasagem de 1 dia	0,22	-12,373	14,628	0,974
Defasagem de 2 dias	7,65	-5,507	22,647	0,268
Defasagem de 3 dias	0,87	-11,746	15,298	0,899
Defasagem de 4 dias	1,51	-11,246	16,109	0,826
Defasagem de 5 dias	5,62	-7,345	20,392	0,413

Tabela 38: Aumento percentual das internações de crianças por doenças do sistema respiratório, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	-2,52	-5,808	0,887	0,145
Defasagem de 1 dia	1,78	-1,635	5,323	0,310
Defasagem de 2 dias	1,57	-1,777	5,036	0,362
Defasagem de 3 dias	1,58	-1,653	4,912	0,343
Defasagem de 4 dias	-1,30	-4,466	1,972	0,432
Defasagem de 5 dias	-0,54	-3,719	2,741	0,743

Tabela 39: Aumento percentual do total de internações por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	0,75	-1,871	3,446	0,578
Defasagem de 1 dia	0,21	-2,403	2,886	0,878
Defasagem de 2 dias	-0,67	-3,213	1,948	0,614
Defasagem de 3 dias	0,61	-1,928	3,214	0,641
Defasagem de 4 dias	-1,73	-4,146	0,756	0,171
Defasagem de 5 dias	-1,27	-3,686	1,203	0,311

Tabela 40: Aumento percentual do total de internações por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre particulado (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	-0,66	-6,232	5,246	0,823
Defasagem de 1 dia	-4,63	-10,002	1,061	0,109
Defasagem de 2 dias	-0,95	-6,535	4,969	0,747
Defasagem de 3 dias	1,50	-4,200	7,550	0,613
Defasagem de 4 dias	-1,94	-7,528	3,993	0,514
Defasagem de 5 dias	-2,93	-8,467	2,941	0,321

Tabela 41: Aumento percentual do total de internações por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	-0,71	-2,206	0,811	0,358
Defasagem de 1 dia	0,76	-0,779	2,321	0,335
Defasagem de 2 dias	-0,66	-2,127	0,838	0,388
Defasagem de 3 dias	0,33	-1,115	1,796	0,656
Defasagem de 4 dias	-1,21	-2,630	0,227	0,098
Defasagem de 5 dias	-1,06	-2,478	0,378	0,148

Tabela 42: Aumento percentual de internações de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de material particulado (PM_{10}), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	2,70	-0,810	6,343	0,133
Defasagem de 1 dia	1,33	-2,091	4,872	0,451
Defasagem de 2 dias	0,67	-2,706	4,169	0,700
Defasagem de 3 dias	3,84	0,401	7,401	0,028
Defasagem de 4 dias	0,06	3,269	3,513	0,970
Defasagem de 5 dias	-1,68	-4,878	1,632	0,317

Tabela 43: Aumento percentual de internações de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de dióxido de enxofre particulado (SO_2), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	-6,11	-13,293	1,669	0,126
Defasagem de 1 dia	-0,23	-7,711	7,854	0,954
Defasagem de 2 dias	2,14	-5,546	10,449	0,596
Defasagem de 3 dias	5,05	-2,790	13,517	0,213
Defasagem de 4 dias	0,45	-7,136	8,668	0,910
Defasagem de 5 dias	5,80	-1,851	14,048	0,141

Tabela 44: Aumento percentual de internações de idosos por doenças do sistema cardiovascular, relativo a um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de ozônio (O_3), em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, 2002 a 2006.

Medida de exposição	% RR	IC (95%)		p-value
Dia corrente	0,81	-1,295	2,970	0,452
Defasagem de 1 dia	-0,49	-2,610	1,675	0,654
Defasagem de 2 dias	-0,68	-2,761	1,452	0,530
Defasagem de 3 dias	0,89	-1,153	2,972	0,396
Defasagem de 4 dias	-0,27	-2,300	1,799	0,795
Defasagem de 5 dias	-2,03	-4,015	-0,004	0,051