



Carla Fernandes de Mello

**Estudo de Periodicidade dos Dados de
Poluição Atmosférica na Estimação de Efeitos
na Saúde no Município do Rio de Janeiro**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de
Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

Prof. Cristiano Augusto Coelho Fernandes

Rio de Janeiro
Setembro de 2007



Carla Fernandes de Mello

**Estudo de Periodicidade dos Dados de
Poluição Atmosférica na Estimação de Efeitos
na Saúde no Município do Rio de Janeiro**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Dr. Cristiano Augusto Coelho Fernandes
Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Dr. Antonio Carlos Ponce de Leon
UERJ

Dr. Eduardo Lima Campos
ENCE

Dra. Fernanda Chaves Pereira
PUC/Rio

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico

Rio de Janeiro, 05 de setembro de 2007

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Carla Fernandes de Mello

Graduada em estatística pelo Instituto de Matemática e estatística da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - IME/UERJ.

Ficha Catalográfica

Mello, Carla Fernandes de

Estudo de periodicidade dos dados de poluição atmosférica na estimação de efeitos na saúde no Município do Rio de Janeiro / Carla Fernandes de Mello ; orientador: Cristiano Augusto Coelho Fernandes. – 2007.

105 f. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Poluição atmosférica. 3. Doenças respiratórias. 4. GAM. 5. Rio de Janeiro. I. Fernandes, Cristiano Augusto Coelho. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Agradecimentos

A Deus.

Ao meu orientador, Professor Cristiano Fernandes e ao meu co-orientador, Antonio Ponce de Leon.

Ao CNPq e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos.

Aos meus pais Cristina e Luiz e à minha irmã Mariana.

Ao Washington, pela ajuda desde a graduação.

Aos professores que participaram da Comissão examinadora.

Resumo

Mello, Carla Fernandes de; Fernandes, Cristiano Augusto Coelho (Orientador). **Estudo de Periodicidade dos Dados de Poluição Atmosférica na Estimação de Efeitos na Saúde no Município do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro, 2007. 105p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta dissertação apresenta um estudo de validação das estimações dos efeitos da poluição atmosférica na saúde da população quando se utilizam dados com periodicidade de seis dias. O estudo foi realizado utilizando duas abordagens complementares. A primeira consiste em comparar os efeitos estimados a partir da análise de duas séries de morbidade diárias na cidade do Rio de Janeiro com aqueles obtidos particionando-se estas mesmas séries em seis séries distintas, cada qual com periodicidade de seis dias. As estimativas dos efeitos nas séries particionadas de seis dias variaram substancialmente em relação à série diária para contagem de internações por doenças respiratórias em crianças. Para a mesma análise feita para a série de idosos, não foram detectadas diferenças tão significativas. Para complementar esta análise, realizou-se um estudo de Monte Carlo considerando diferentes cenários quanto aos padrões de poluição do ar. Os resultados mostraram que quanto maior a quantidade de dia atípicos por mês, maior pode ser a variação entre as estimações das séries diárias e as séries com periodicidade de 6 dias. Ao fim deste trabalho são apresentados resultados utilizando dados reais com periodicidade de 6 dias. Os efeitos estimados de PM_{10} para doenças respiratórias em crianças foram de 8.1% (IC: 5.4% ; 10.8%) para o dia corrente e 7.3% (IC: 4.5% ; 10.2%) para 1 dia após a exposição à poluição do ar. Para idosos, houve um aumento estatisticamente significativo apenas para o dia corrente de 3.36% (IC: 1.19% ;5.58%).

Palavras-chave

Poluição atmosférica, doenças respiratórias, GAM, Rio de Janeiro.

Abstract

Mello, Carla Fernandes de; Fernandes, Cristiano Augusto Coelho (Advisor). **A study on the periodicity of atmospheric pollution data in the estimation of health effects in Rio de Janeiro city**. Rio de Janeiro, 2007. 105p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This dissertation presents a validation study on the analysis of the effect of atmospheric pollution on morbidity using data sampled every sixth day. This has been investigated using two complementary frameworks. We first compared such pollution effects using two morbidity daily time series in Rio de Janeiro city, which have been sampled every sixth day, thus generating, for each series, a set of six sampled series. For the daily counts of hospital events for children due to respiratory diseases the estimated pollution effect for the six sampled series was markedly different from the same effect estimated on the original daily time series, while for elderly people such difference has not been observed. The second part of our analysis was carried over using a Monte Carlo study. Finally we conclude our work presenting risk estimates using real data sampled every six days. The estimated relative risks of particulate material (PM_{10}) on respiratory diseases for inhabitants of Rio de Janeiro city were as follows. For children the risk was estimated in 8.1% (5.4%; 10.8%) for current day exposure and 7.3% (4.5%; 10.2%) for exposition lagging one day. For elderly people it was observed a significant increase on hospital attendances due to pollution on the same day of exposition. and the estimated risk was 3.36% (1.19%; 5.58%).

Keywords

Atmospheric pollution, respiratory disease, GAM, Rio de Janeiro.

Sumário

1 Introdução	12
1.1. Rede de monitoramento: FEEMA	15
1.2. Material particulado (PM ₁₀)	17
2 Metodologia	19
2.1. Área geográfica de estudo	19
2.2. Dados de morbidade	19
2.3. Dados meteorológicos e de poluição do ar	19
2.4. Estratégia de modelagem (MAG)	21
2.4.1. Modelos lineares generalizados (MLG)	23
2.4.2. Modelos aditivos generalizados (MAG)	24
2.4.2.1. Splines cúbicas	25
2.4.2.2. Loess	26
2.5. Metodologia para simulação de variáveis	26
2.5.1. Simulação	28
2.5.1.1. Simulação de Monte Carlo	29
2.5.1.2. Gerador de números aleatórios	30
2.5.1.3. Simulação de variáveis climáticas (revisão bibliográfica)	31
2.5.1.4. Simulação - precipitação de chuva	32
2.5.1.5. Simulação - temperatura e umidade	37
2.5.1.6. Simulação - PM ₁₀	40
2.5.1.7. Simulação - contagem de internações hospitalares	42
2.5.1.8. Simulação e estimação de efeitos - cenários de concentração de PM ₁₀	43
2.6. Testes de adequação das variáveis simuladas	49
2.6.1. Teste de Kolmogorov - Smirnov univariado	49
2.6.2. Teste de Jarque – Bera	50
2.6.3. Teste de Kolmogorov - Smirnov multivariado	50
3 Resultados	51
3.1. Resultados para modelos de séries diárias e séries particionadas (periodicidade de 6 dias)	51
3.1.1. Idosos com mais de 65 anos	52
3.1.2. Crianças com menos de 5 anos	56
3.2. Simulação	60
3.2.1. Simulação - precipitação de chuva	60
3.2.2. Simulação - temperatura e umidade	64
3.2.3. Simulação - material particulado (PM ₁₀)	69
3.2.4. Resultados para modelos com séries simuladas, segundo diferentes cenários de concentração de poluição do ar	72
3.3. Resultados para modelos de séries com periodicidade de 6 dias (dados FEEMA)	74
3.3.1. Idosos com mais de 65 anos	74
3.3.2. Crianças com menos de 5 anos	75

4 Conclusões	77
5 Referências Bibliográficas	80
ANEXO I	84
ANEXO II	99
ANEXO III	103
ANEXO IV	104

Lista de tabelas

Tabela 1: Listagem dos monitores e parâmetros monitorados.	17
Tabela 2: Estatísticas descritivas das séries de PM_{10} ($\mu g/m^3$)	52
Tabela 3: Estatísticas descritivas das séries de contagem de doenças do aparelho respiratório em idosos	53
Tabela 4: Efeitos estimados (%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em idosos (PM_{10} (dia corrente))	54
Tabela 5: Efeitos estimados(%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em idosos (PM_{10} (lag 1))	55
Tabela 6: Média das estimativas dos efeitos estimados (%) das séries amostradas e estimativa do efeito estimado para a série diária completa (DAR65)	56
Tabela 7: Estatísticas descritivas das séries de contagem de doenças do aparelho respiratório em crianças	57
Tabela 8: Efeitos estimados (%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em crianças (PM_{10} (dia corrente))	58
Tabela 9: Efeitos estimados (%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em crianças (PM_{10} (lag 1))	58
Tabela 10: Média das estimativas dos efeitos estimados(%) das séries amostradas e estimativa do efeito estimado para a série diária completa (DAR5)	59
Tabela 11: P-valores dos teste de Kolmogorov Smirnov para uma distribuição Gama por mês e ano	61
Tabela 12: Estimativas dos parâmetros da distribuição Gama (α, β) por mês e ano	62
Tabela 13: Coeficientes de correlação de Pearson para frequência mensal e dias chuvosos e precipitação total por mês de chuva (séries simuladas e série observada de chuva). Coeficiente de Pearson, p-valor	63
Tabela 14: Correlações de Pearson entre temperatura e umidade por mês e ano. P-valor ($\alpha = 0.05$)	65
Tabela 15: Teste de Kolmogorov-Smirnov bivariado para temperatura e umidade ($\alpha = 0.05$)	65
Tabela 16: Testes de Kolmogorov-Smirnov e Jarque Bera para temperatura ($\alpha = 0.05$)	66
Tabela 17: Testes de Kolmogorov-Smirnov e Jarque Bera para umidade ($\alpha = 0.05$)	66
Tabela 18: Coeficientes de correlação de Pearson entre médias mensais/ variâncias mensais das séries simuladas e série observada e temperatura. Coeficiente de Pearson, p-valor	67
Tabela 19: Coeficientes de correlação de Pearson entre as estimativas de fac (30 lags)/facp (10 lags) das séries simuladas e série observada de temperatura. Coeficiente de Pearson, p-valor	68
Tabela 20: Coeficientes de correlação de Pearson entre médias mensais/ variâncias mensais das séries simuladas e série observada de umidade. Coeficiente de Pearson, p-valor	68

Tabela 21: Coeficientes de correlação de Pearson entre as estimativas de fac (14 lags)/facp (22 lags) das séries simuladas e série observada de umidade. Coeficiente de Pearson, p-valor	69
Tabela 22: Teste de Kolmogorov-Smirnov e Jarque Bera para poluição do ar ($\alpha = 0.05$)	70
Tabela 23: Teste de Kolmogorov-Smirnov multivariado para poluição do ar, umidade e temperatura ($\alpha = 0.05$)	70
Tabela 24: Coeficientes de correlação de Pearson entre médias mensais/variâncias mensais das séries simuladas e série observada de material particulado. Coeficiente de Pearson, p-valor	71
Tabela 25: : Coeficientes de correlação de Pearson entre as estimativas de fac/facp (5 lags) das séries simuladas e série observada de material particulado. Coeficiente de Pearson, p-valor	71
Tabela 26: Efeitos estimados (%) para doenças do aparelho respiratório em crianças (PM ₁₀ - dados simulados com aumento de 25%, 100% e 200% de dias atípicos de material particulado por mês - série diária e séries com periodicidade de 6 dias)	73
Tabela 27: Efeitos estimados, aumentos percentuais (%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em idosos na cidade do Rio de Janeiro.	75
Tabela 28: Efeitos estimados, aumentos percentuais (%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em crianças na cidade do Rio de Janeiro.	76

Lista de figuras

Figura 1: Distribuição espacial da Rede de monitoramento da qualidade do ar na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro. Fonte: FEEMA	16
Figura 2: O método da transformada inversa	30
Figura 3: Algoritmo para definição de dias não chuvosos e chuvosos	34
Figura 4: Diagrama com as etapas da simulação das séries diárias de temperatura e umidade	40
Figura 5: Diagrama com as etapas da simulação da série de material particulado	41
Figura 6: Diagramas com as etapas da simulação da série diária de contagem de internações hospitalares de crianças.	43
Figura 7: Diagramas com as etapas da simulação dos cenários de concentração de poluição do ar	47
Figura 8: Diagramas com as etapas da simulação das séries diárias de chuva, temperatura, umidade, material particulado e contagem de internações hospitalares	48
Figura 9: Efeitos estimados(%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em idosos (PM_{10} (dia corrente))	54
Figura 10: Efeitos estimados(%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em idosos (PM_{10} (lag 1))	55
Figura 11: Efeitos estimados(%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em crianças (PM_{10} (dia corrente))	58
Figura 12: Efeitos estimados(%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em crianças (PM_{10} (lag 1))	59
Figura 13: Gráficos da série real e de 1 série simulada de chuva	63
Figura 14: Gráficos das séries observada e simulada de temperatura máxima diária	67
Figura 15: Gráficos das séries observada e simulada de umidade relativa do ar	68
Figura 16: Gráficos das séries observada e de uma série simulada de PM_{10}	71
Figura 16: Média dos efeitos estimados nas 100 séries simuladas por cenário de concentração de poluição do ar (séries particionadas e séries completa)	73
Figura 18: Efeitos estimados(%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em idosos na cidade do Rio de Janeiro.	75
Figura 19: Efeitos estimados, aumentos percentuais (%) e intervalos de confiança de 95% para doenças do aparelho respiratório em crianças na cidade do Rio de Janeiro.	76