

Introdução

A qualidade do ar no município do Rio de Janeiro depende fortemente do nível de atividade industrial e do tráfego de caminhões e de outros veículos. Por outro lado, a acidentada topografia da cidade e a presença do mar e da Baía de Guanabara produzem um fluxo de ar complexo e heterogêneo em relação à distribuição e dispersão dos poluentes.

Estudos^{15,28,38,43-47,49-51} têm mostrado várias evidências que sugerem a associação da exposição à poluição do ar na saúde, tanto na morbidade, como na mortalidade por causas específicas, principalmente por causas respiratórias em crianças e idosos.

Devido à dinâmica da mistura de poluentes, aos padrões de dispersão da poluição em diferentes partes da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, à construção de novas áreas residenciais, bem como às mudanças nos meios de transporte, nos tipos de combustíveis e devido também ao surgimento de novas indústrias, é importante que estudos como estes sejam freqüentemente realizados.

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro conta com duas Redes de monitoramento da poluição do ar: a Automática e a Manual. Na primeira Rede as concentrações de vários poluentes são mensuradas de forma contínua e a segunda opera com periodicidade de seis dias e registra apenas os níveis de material particulado (PM₁₀). Os dados da Rede Automática têm sido utilizados em estudos²⁹ dos efeitos da poluição do ar na saúde da população, diferentemente da Rede Manual, embora esta tenha uma cobertura mais abrangente que a primeira.

Deve-se destacar que diversos estudos mostram que o efeito do material particulado no indicador de saúde é quase sempre estatisticamente significativo e em alguns casos, seu efeito na saúde pode ser maior se comparado a outros poluentes. Em São Paulo, Saldiva e colaboradores realizaram um estudo sobre o efeito da poluição do ar na mortalidade por doenças do aparelho respiratório em idosos e o poluente PM₁₀ foi o que apresentou efeito estatístico mais significativo⁴³.

Em outro estudo similar, Clarice Freitas e colaboradores mostraram que o material particulado foi o poluente que apresentou a associação mais significativa com as contagens de internações hospitalares por doenças respiratórias, tanto em idosos, como em crianças na cidade de São Paulo¹⁵. Um estudo realizado para 36 cidades dos Estados Unidos sobre o efeito dos poluentes PM₁₀ e O₃ também mostrou um efeito mais significativo para o material particulado na contagem de internações de emergência por infarto do miocárdio²⁸.

Em um estudo realizado por Daumas¹⁰, sobre a investigação do efeito da poluição do ar na saúde da população carioca, utilizou-se dados de concentrações de poluentes de 1990 a 1993 com periodicidade de 6 dias e verificou-se um efeito positivo de partículas totais em suspensão (PTS) na mortalidade de idosos residentes na cidade do Rio de Janeiro por doenças respiratórias e cardiovasculares, porém, este efeito não foi estatisticamente significativo. Diferentemente, em um estudo mais recente realizado para a mesma cidade²⁹, em que se utilizou dados diários para este mesmo poluente, embora em outro período de tempo, foi encontrado um efeito positivo e estatisticamente significativo das partículas totais em suspensão.

Baseando-se nas diferenças encontradas entre os estudos citados anteriormente e em adição a isso, a incerteza presente na possível utilização de dados de poluição do ar provenientes da Rede Manual (Rio de Janeiro) em investigações futuras, este trabalho tem como principal objetivo averiguar o quão verossímil podem ser estudos que utilizem dados com periodicidade de 6 dias para regiões ainda não cobertas por Redes de monitores automáticos, ou seja, se as estimativas dos efeitos da poluição do ar na saúde encontrados para as séries diárias diferem de forma significativas em relação às mesmas estimativas utilizando séries com periodicidade de 6 dias, uma vez que algumas Redes de Monitoramento da poluição do ar apenas medem a concentração de poluição atmosférica em períodos de 6 dias.

Foram realizadas para tanto, análises com duas abordagens complementares. A primeira consiste em comparar os efeitos estimados a partir da análise de uma série de morbidade diária na cidade do Rio de Janeiro com aqueles obtidos amostrando-se esta mesma série em seis séries distintas, cada qual com periodicidade de seis dias, a fim de analisar como as estimativas de efeito da

poluição no último caso se distribuem ao redor do efeito estimado na análise da série completa, o qual será assumido como o efeito “verdadeiro”.

Para complementar esta análise realizou-se um estudo de simulação abrangente, considerando diferentes cenários quanto aos padrões de poluição das séries temporais com periodicidade de seis dias. Procurou-se não só simular as variáveis de poluição do ar e contagens de internações hospitalares por doenças respiratórias, mas todas as variáveis que influenciariam no desfecho de saúde, como: chuva, temperatura e umidade.

Nesta etapa foi utilizada a simulação de Monte Carlo para construção de séries sintéticas climáticas^(1-2,5-6,23,33,35,37,41,52), de poluição do ar e de contagens de saúde. Séries temporais reais foram usadas como modelos para a geração das séries simuladas, baseado em estratégias descritas com detalhes no capítulo de metodologia.

Em resumo, cada variável climática foi gerada segundo uma distribuição de probabilidade teórica conhecida, preservando também estruturas de variância e autocorrelação das séries reais. Para simulação da série diária de material particulado, simulou-se para cada mês um modelo de regressão dinâmica onde as variáveis explicativas foram as séries diárias de: temperatura, poluição do ar defasada em 1 dia e umidade relativa do ar. A série temporal de respostas (contagens diárias de eventos de saúde) foi gerada a partir do modelo linear generalizado de Poisson^{12,27}, de acordo com o pressuposto que o número diário de eventos de saúde é descrito por um processo estocástico de Poisson. O modelo aditivo generalizado¹⁹ foi utilizado na estimação dos efeitos da poluição do ar nas contagens de internações hospitalares por doenças respiratórias.

O trabalho está organizado da seguinte forma: No capítulo 2 é apresentado o modelo utilizado na estimação dos efeitos da poluição do ar na saúde e como este modelo foi utilizado na validação das análises que utilizam dados com periodicidade de seis dias para estimação dos efeitos da poluição atmosférica na saúde da população. Neste mesmo capítulo são apresentadas as metodologias de simulação das séries de material particulado, contagens de saúde e séries meteorológicas, bem como uma breve descrição do poluente PM₁₀. O capítulo 3 apresenta os resultados para as duas abordagens de validação dos dados com periodicidade de 6 dias: utilizando dados reais e dados simulados. Este mesmo capítulo também apresenta os resultados da estimação dos efeitos de uma série

real de material particulado com periodicidade de 6 dias da Rede Manual para o município do Rio de Janeiro nas contagens de doenças do aparelho respiratório em idosos e crianças, respectivamente. O capítulo 4 conclui o trabalho expondo os principais resultados. O anexo apresenta os códigos escritos em linguagem R⁴⁰ para simulação das séries climáticas, poluição do ar e contagens de saúde, bem como os diagnósticos dos modelos.

1.1

Rede de monitoramento: FEEMA

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro conta com 17 municípios, onde 54% da população vive na cidade do Rio de Janeiro. A Região é a que apresenta a maior densidade demográfica (por volta de 2.285 hab/km²) e possui maior grau de urbanização do país. Também é a segunda Região Metropolitana com maior concentração de veículos, de indústrias e de fontes emissoras de poluentes do país, gerando sérios problemas de poluição do ar¹⁴.

Os veículos, responsáveis por 77% dos poluentes emitidos na Região, são os maiores contribuidores para a degradação da qualidade do ar. Para monitoramento da emissão desses poluentes a Fundação de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA) conta com uma Rede de Monitoramento de poluição do ar que possui 26 estações (4 Automáticas e 24 manuais) distribuídas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro¹⁴. A maior parte da Rede de Monitoramento de poluição do ar da FEEMA é composta por monitores manuais e grande parte dos dados produzidos por estes monitores não foram utilizados ainda em estudos de investigação do efeito da poluição na saúde, uma vez que ainda não se conhece as consequências do uso de dados com periodicidade de 6 dias na estimação desses efeitos. Portanto, o objetivo deste trabalho, sobretudo, é averiguar a consequência do uso desses dados em análises de séries temporais epidemiológicas, ou seja, uma vez que haja indícios plausíveis que dados diários ou dados com periodicidade de 6 dias não produzam resultados muito diferentes, no que se refere às estimativas de efeitos da concentração de poluição do ar na saúde da população, é possível que se aumente a abrangência das análises, com a inclusão de outros locais da Região Metropolitana do Rio, uma vez que a maior parte da Rede de Monitoramento da FEEMA é Manual.

A Figura 1 apresenta a distribuição dos monitores da FEEMA na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Note como a Rede Manual que mede dados de 6 em 6 dias é muito mais abrangente do que a Rede Automática que mede dados horários/ diários. Além disso, é importante destacar que a manutenção da Rede Manual é mais barata para ser mantida do que a Rede Automática, o que corrobora com a importância da utilização dos dados provenientes da Rede Manual.



Figura 1: Distribuição espacial da Rede de monitoramento da qualidade do ar na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro. Fonte: FEEMA

Tabela 1: Listagem dos monitores e parâmetros monitorados.

	Estação	Parâmetros Monitorados						
		Qualidade do Ar						PTS
		SO ₂	NO _x	O ₃	CO	HC	PM ₁₀	
1	Belford Roxo							X
2	Benfica*							X
3	Bonsucesso*						X	X
4	Botafogo*						X	
5	Centro*						X	X
6	Centro Automática *	X	X	X	X	X	X	
7	Coelho Neto*							X
8	Copacabana*						X	X
9	Duque de Caxias*						X	X
10	Engenho da Rainha*							X
11	Itaguaí						X	X
12	Jacarepaguá*						X	X
13	Jacarepaguá Automática*	X	X	X	X	X	X	
14	Maracanã*						X	X
15	Nilópolis						X	
16	Niterói						X	
17	Nova Iguaçu						X	
18	Nova Iguaçu Automática	X	X	X	X	X	X	
19	Realengo*							X
20	Santa Tereza*							X
21	São Cristóvão*						X	X
22	São Gonçalo						X	X
23	São Gonçalo Automática	X	X	X	X	X	X	
24	São João de Meriti						X	X
25	Sumaré						X	X
26	Tijuca*							X

* Monitores localizados na cidade do Rio de Janeiro

1.2

Material particulado (PM₁₀)

O material particulado (PM) é uma mistura de partículas sólidas e líquidas que, devido ao seu pequeno tamanho, se mantém em suspensão no ar. As fontes emissoras desse poluente são em geral: fuligens emitidas por veículos, fumaças expelidas pelas chaminés industriais e poeira depositada nas ruas, levantada pelo vento e pelo movimento dos veículos.³⁰⁻⁵³

Até 1989, a legislação brasileira apenas preocupava-se com as partículas totais em suspensão (PTS), ou seja, com partículas menores que $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (microgramas* por metros cúbico). No entanto, pesquisas recentes⁵³, mostram que as partículas mais finas, em geral as menores que $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM_{10}), penetram mais profundamente no aparelho respiratório e são as que apresentam efetivamente mais riscos à saúde. Assim, a partir de 1990 a legislação brasileira passou também a se preocupar com o PM_{10} ⁵³.

A USEPA (United States Environmental Protection Agency) para controle de partículas menores ou iguais a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM_{10}), também chamadas de partículas inaláveis se baseia na premissa de que estas partículas podem atingir as vias respiratórias inferiores. O material particulado PM_{10} inalável tem a capacidade de transportar gases absorvidos em sua superfície até as porções mais distais das vias aérea.³⁰

* milésima parte do milímetro